



HENRIQUE COELHO BARBOSA

**CONCEITO DE DISPOSITIVOS REGISTRADORES
DE DADOS PARA VEÍCULOS INTELIGENTES**

LAVRAS – MG

2017

HENRIQUE COELHO BARBOSA

**CONCEITO DE DISPOSITIVOS REGISTRADORES
DE DADOS PARA VEÍCULOS INTELIGENTES**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, área de concentração em Engenharia de Sistemas e Automação, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Arthur de Miranda Neto

Coorientador

Dr. Danilo Alves de Lima

**LAVRAS – MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da
Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a)
autor(a).**

Barbosa, Henrique Coelho.

Conceito de dispositivos registradores de dados para veículos
inteligentes / Henrique Coelho Barbosa. - 2017.

56 p. : il.

Orientador(a): Arthur de Miranda Neto.

Coorientador(a): Danilo Alves Lima.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras,
2017.

Bibliografia.

1. Veículos inteligentes. 2. Registradores de dados. 3.
Homologação/Certificação. I. Neto, Arthur de Miranda. II. Lima, Danilo
Alves. III. Título.

CDD – 004.6

HENRIQUE COELHO BARBOSA

**CONCEITO DE DISPOSITIVOS REGISTRADORES DE DADOS
PARA VEÍCULOS INTELIGENTES**

Dissertação de Mestrado apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Sistemas e Automação, área de
concentração em Engenharia de Sistemas e
Automação, para a obtenção do título de Mestre

APROVADA em 07 de abril de 2017.
Dr. Giovanni Francisco Rabelo UFLA
Dr. Janito Vaqueiro Ferreira UNICAMP

Prof(a). Dr. Arthur de Miranda Neto Orientador

Prof (a) Dr. Danilo Alves de Lima Coorientador

**LAVRAS - MG
2017**

DEDICO,

À minha mãe Luciana pelo apoio,
incentivo e motivação.

Ao meu pai Joel pela força e suporte
proporcionado.

À minha noiva Karine pelo
companheirismo, dedicação e confiança
depositada em mim.

Ao meu irmão Tiago pela amizade e
suporte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que iluminou o meu caminho durante essa caminhada.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade.

À CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado. À Fapemig e ao CNPq.

Ao professor Arthur de Miranda Neto, pela orientação e ensinamentos proporcionados.

Ao professor Danilo Alves de Lima, pelos ensinamentos, paciência e disposição para ajudar.

À Andrea Martinesco pela grande colaboração técnica e empenho em ajudar.

Ao professor Victor Hugo Etagens pelo compartilhamento de seus conhecimentos e apoio nos trabalhos realizados.

À todos os funcionários do DEG/UFLA.

À todos os colegas de departamento pelo companheirismo e amizade.

Aos meus pais, Joel e Luciana pelo apoio e amor e ao meu irmão Tiago.

À minha noiva Karine, pelo amor, apoio em todos os momentos e singular torcida.

MUITO OBRIGADO!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Componentes de um dispositivo caixa-preta utilizados em aeronaves.	18
Figura 2 - Extração de dados de um EDR após acidente de trânsito.	22
Figura 3 – Figura ilustrativa do acidente fatal envolvendo o veículo inteligente da empresa Tesla (PRESSE, 2016).....	26
Figura 4 - Panorama geral dos sistemas de veículos convencionais.....	31
Figura 5 - Modelo de um sistema de navegação de um veículo inteligente.	33
Figura 6 - Modelo de um sistema de percepção de um veículo inteligente.	34
Figura 7 - Modelo de um sistema de navegação de um veículo inteligente.	35
Figura 8 - Modelo de um sistema de controle de um veículo inteligente.	36
Figura 9 – Distinção entre um registrador de dados padrão e um específico para veículos inteligentes (VIs).	39
Figura 10 – Modelo de pista utilizado para a simulação.....	41
Figura 11 – Ilustração do modelo de controle do ângulo de direção utilizado. ...	43
Figura 12 – Ciclo completo de operação do veículo inteligente sem ruído. A linha vermelha representa a trajetória desejada e o sombreado preto o caminho real realizado.....	45
Figura 13 – Ciclo de operação do veículo inteligente com a presença de sinais ruidosos no GPS.....	46
Figura 14 - Imagem obtida pela câmera do veículo durante a simulação.....	47
Figura 15 - Ciclo de operação do veículo inteligente com a perda de sinal do GPS.	48

LISTA DE SIGLAS

3D -Three Dimensions

CAN - Controller Area Network

CCD - Charge-Coupled Device

CVR - Cockpit Voice Recorder

DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency

EDR - Event Data Recorder

FDR - Flight Data Recorder

GPS - Global Positioning System

IST - Instrumented Sensor Technology

LMT - Laboratório de Mobilidade Terrestre

NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration

SMS – Short Message Service

UFLA - Universidade Federal de Lavras

UniBW - Bundeswehr University Munich

VI - Veículos Inteligentes

RESUMO

O número de acidentes de trânsito aumentou consideravelmente nos últimos anos. Esse aumento é justificado pelo elevado número de veículos em circulação, negligência dos condutores, má condições das vias públicas, entre outros fatores. Junto a isso, o interesse da indústria, da academia e do Estado têm aumentado em relação aos veículos inteligentes. Eles são vistos como uma alternativa para reduzir o número de acidentes de trânsito. No entanto, sua inserção nas vias públicas ainda carece de mecanismos de suporte técnico e jurídico ao Estado e à legislação de trânsito vigente, visto que esses veículos também são suscetíveis a provocar acidentes e carecem de homologação/certificação. Diante disso, um dispositivo registrador de dados desenvolvido especificamente para veículos inteligentes torna-se uma alternativa para proporcionar o suporte necessário em caso de acidentes. O presente trabalho se concentra em discutir a importância de se especificar esse tipo de dispositivo, com um estudo comparativo entre os sistemas que compõem os veículos convencionais e os inteligentes, com foco nos tipos de dados produzidos. Uma concepção de um dispositivo registrador de dados padrão para veículos inteligentes também foi apresentada como forma de validar a proposta. Foi realizada uma discussão sobre sua importância no entendimento das causas de acidentes envolvendo veículos inteligentes e como esse dispositivo poderia auxiliar no processo de homologação/certificação destes veículos inteligentes e sua expansibilidade a outros setores. Além disso, um experimento em ambiente simulado mostrou a viabilidade de um registrador de dados na análise e reconstituição de um cenário de falha operacional envolvendo um veículo inteligente.

Palavras-Chave: registrador de dados; veículos inteligentes; homologação/certificação.

ABSTRACT

The number of traffic accidents has increased recently. This can be justified by the higher number of vehicles on public roads, driver's negligence, poor road conditions, and other factors. In face of this, industries, academia, and the State has increased the interest in intelligent vehicles. They are an alternative to minimize traffic accidents. However, its insertion on public roads still requiring mechanisms to provide support to the State, once these vehicles are also susceptible to accidents and require an homologation/certification. Thus, a data recording device developed specifically for intelligent vehicles becomes a viable alternative to provide the necessary support in case of accidents. The present work focuses on discussing the importance of specifying this device, with a comparative study between the systems compounding the conventional road vehicles and the intelligent ones, addressing the different data produced. A concept of a standard data recording device for intelligent vehicles was also presented to validate this proposal. A discussion was held about its importance in understanding the accident causes involving intelligent vehicles and how this device could help us in the process of homologation/certification of the intelligent vehicles and its expandability to other sectors. Experiments in a simulated environment showed the viability of a data recording device in the analysis and reconstruction of scenarios with an operational fault.

Keywords: data recording device; intelligent vehicles; homologation/certification.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Motivação	11
1.2	Objetivo.....	13
1.3	Relevância e contribuições.....	14
1.4	Estrutura do trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Breves aspectos sobre dispositivos registradores de dados	16
2.1.1	Dispositivos caixas-pretas no setor aéreo.....	16
2.1.2	Dispositivos caixas-pretas no setor ferroviário.....	19
2.1.3	Dispositivos caixas-pretas no setor rodoviário	20
2.2	Veículos inteligentes	23
2.3	Acidentes envolvendo veículos inteligentes	24
2.3.1	Acidente envolvendo o veículo autônomo da Google.....	25
2.3.2	Acidentes com veículo inteligente da empresa Tesla.....	25
2.4	Homologação/Certificação de veículos inteligentes.....	27
2.5	Considerações finais.....	29
3	METODOLOGIA	30
3.1	Descrição dos sistemas de veículos convencionais.....	30
3.2	Descrição dos sistemas de veículos inteligentes	32
3.2.1	Sistema de localização.....	32
3.2.2	Sistema de percepção	33
3.2.3	Sistema de navegação.....	35
3.2.4	Sistema de controle	36
3.3	Registradores de dados para veículos inteligentes	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	Análise funcional dos registradores de dados para veículos inteligentes	40
4.2	O ambiente simulado	41
4.3	Resultados experimentais	44
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

O Brasil, em 2015, registrou mais de 230 mil acidentes de trânsito (DATASUS, 2016). Justifica-se este índice elevado, entre outros fatores, pelo aumento considerável de veículos em circulação. Diante disso, os órgãos responsáveis por monitorar e controlar os acidentes encontram dificuldades para gerar ações preventivas para a proteção do cidadão e também agir em suporte ao Estado, uma vez que as informações sobre o estado do veículo e do ambiente, normalmente, não estão disponíveis.

Neste contexto, verifica-se um maior incentivo no número de pesquisas com o intuito de reduzir esse elevado índice de acidentes e também identificar as causas relacionadas a eles. Os veículos inteligentes vêm se tornando uma alternativa extremamente viável para contribuir com a diminuição desse número. O conceito de veículos inteligentes se estende desde veículos com assistência ao condutor (ADAS) até veículos totalmente autônomos. Eles são equipados com sensores capazes de coletar informações do ambiente e do próprio veículo. As informações são tratadas mediante dispositivos microprocessados e, como consequência, os veículos inteligentes são capazes de tomar decisões a nível de navegação (SAE, 2016).

No entanto, a inserção dos veículos inteligentes em vias públicas é algo que exige cautela e análise prévia, devido ao fato de que ele pode operar em modo totalmente autônomo, sendo capaz de tomar decisões por conta própria. Portanto, identificar o responsável por um determinado incidente pode se tornar uma tarefa difícil. Além disso, as possibilidades de falhas no sistema de navegação e possíveis ações irregulares de terceiros podem dificultar ainda mais estes processo (FRANKE; GAVRILA; GOERZIG, 1999).

Nos últimos anos, a inserção dos veículos inteligentes em vias públicas de circulação aumentou. A empresa Tesla já comercializa carros com sistemas de condução automática. Esses sistemas permitem que o veículo tome decisões próprias em situações específicas, como frear mediante a identificação de obstáculos, realizar manobras de direção em casos de possíveis colisões, entre outras. A empresa Google também está avançando no processo de inserção dos veículos inteligentes em vias públicas apresentando carros totalmente autônomos capazes de percorrer longas distâncias sem a necessidade de intervenção humana (GUIZO, 2011).

Junto a isso, mesmo com os avanços tecnológicos nos sistemas que compõem tais veículos, eles também estão sujeitos a acidentes. Os veículos da Google e Tesla se envolveram em acidentes recentemente (GUARDIAN, 2016), (HARS, 2016). Apesar da justificativa apresentada mediante análise dos responsáveis técnicos e perícias, não foi possível ter certeza sobre as causas apresentadas do acidente, visto que tais veículos não foram equipados com um dispositivo registrador de dados desenvolvido especificamente para seus sistemas.

A utilização de um dispositivo capaz de armazenar informações, conhecidos também como dispositivos caixa-preta, vem ganhando espaço e se tornando cada vez mais importantes. No setor rodoviário, por exemplo, ele proporciona suporte às entidades responsáveis pela análise de acidentes (PARK, 2014). Esses dispositivos registradores de dados devem apresentar robustez suficiente para garantir a integridade das informações neles contidas, as quais devem ser armazenadas em locais seguros e seu acesso restrito a grupos qualificados e autorizados para realizar a extração destas informações. Além disso, os dispositivos caixa-preta devem armazenar um conjunto mínimo de informações, para que seja possível realizar o entendimento de um dado evento após a análise de seus dados (CHAKLADER et al., 2014).

Neste projeto será abordado um novo conceito sobre registradores de dados para veículos inteligentes. Portanto, foi levantado o conjunto de informações ditas ‘relevantes’ para serem armazenadas, uma análise de sua importância no contexto dos veículos inteligentes e na reconstrução de acidentes e erros graves. Com isso, espera-se auxiliar no entendimento dos fatos ocorridos em uma determinada cena, reconstruindo-a, mesmo que parcialmente, a fim de inferir sobre as causas do acidente.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo discutir o que seria a nova geração de dispositivos registradores de dados para veículos inteligentes, com foco nas informações necessárias para proporcionar amparo jurídico, por exemplo, nos casos de acidentes. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar quais informações são importantes para serem armazenadas pelo registrador de dados;
- Avaliar a importância de um dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes no processo de homologação/certificação desse tipo de veículo;
- Realizar experimentos em ambiente simulado a partir da implementação de algoritmos de navegação autônoma e conjunta inserção de ruídos, de modo a induzir um acidente;
- Avaliar os dados registrados pelo conceito de dispositivo proposto com o intuito validar a importância desses dados na identificação de um acidente e possíveis falhas operacionais de um veículo inteligente.

1.3 Relevância e contribuições

Não foi encontrado na literatura atual qualquer especificação de um dispositivo caixa-preta desenvolvido especificamente para veículos inteligentes, capaz de integrar informações do próprio veículo e do seu entorno. Além disso não existe um dispositivo que considere as decisões de cada módulo "inteligente" (decisão do algoritmo), a fim de permitir a realização de perícia e consequente amparo jurídico. A inserção dos veículos inteligentes em vias públicas, junto a outros veículos, pedestres e obstáculos, é algo que exige muitos estudos e análises para garantir a segurança e confiabilidade. Entender as causas e identificar os responsáveis por um determinado acidente nem sempre é uma tarefa simples. Por isso, o estudo para se obter um dispositivo capaz de armazenar informações que possam levar ao entendimento de um acidente é sem dúvida relevante para a sociedade.

O dispositivo poderá impulsionar a difusão dos veículos inteligentes, já que pode colaborar para a elaboração de ações corretivas e de monitoramento. Além disso, pode permitir a identificação da causa e do responsável por um determinado acidente. A proposta contribuirá também para a melhoria de ações de socorro, otimização do fluxo de informações relacionadas ao setor rodoviário e também para a manutenção adequada das vias de navegação.

A pesquisa realizada até o momento subsidiou outros projetos desenvolvidos na Universidade Federal de Lavras (UFLA), proporcionou o encaminhamento de dois pedidos de patentes já com as devidas diferenciações e originalidade comprovada, sendo o primeiro definido como “A nova geração de registradores de dados aplicados a veículos inteligentes”, e o segundo como “A nova geração de registradores de dados aplicados a sistemas industriais”. Além disso, embasou a elaboração de um artigo em conferência internacional IEEE (BARBOSA et al., 2016).

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura a respeito dos principais conceitos e trabalhos relacionados; em seguida, o Capítulo 3 descreve a metodologia que foi utilizada no desenvolvimento desta pesquisa; o Capítulo 4 traz os resultados encontrados com os experimentos realizados; por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões e propostas para trabalhos futuros

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta conceitos teóricos e concepções com base em pesquisas relacionadas aos seguintes pontos de abordagem: aspectos gerais e características dos dispositivos registradores de dados nos setores de transporte aéreo, ferroviário e rodoviário; evolução histórica e características gerais sobre veículos inteligentes; descrição de alguns acidentes envolvendo veículos inteligentes e contextualização relacionada aos dispositivos registradores de dados no processo de homologação/certificação dos veículos inteligentes.

2.1 Breves aspectos sobre dispositivos registradores de dados

Ao longo dos anos, com os avanços da indústria e da tecnologia, a inserção de sistemas automatizados para o benefício humano foi intensificada. No entanto, apesar de seus benefícios, esses sistemas estão sujeitos a falhas, e compreendê-las é o caminho para melhor aperfeiçoá-los. Nesse cenário evolutivo surgem os registradores de dados com a finalidade de armazenar dados e fornecer informações mais precisas sobre o ambiente e sistemas que o compõe. Hoje, estão presentes nos mais diversos setores de transporte, como, por exemplo, no aéreo, ferroviário e rodoviário (BONNEFON; SHARIFF; RAHWAN, 2016).

2.1.1 Dispositivos caixas-pretas no setor aéreo

Os primeiros dispositivos caixa-preta surgiram no setor aéreo, por volta de 1930, como forma de ajudar a entender as causas dos acidentes envolvendo aeronaves. Inicialmente, estes dispositivos armazenavam um número pequeno de informações e apresentavam restrições de funcionamento. Com o aumento do

número de aeronaves em circulação, surgiu a necessidade de se aprimorar tais dispositivos, visto a sua importância no entendimento de um acidente. Assim, os dispositivos caixa-preta passaram por modificações no decorrer dos anos até que se obteve a tecnologia utilizada nos dias atuais (GORLICK, 1991).

As características de um dispositivo caixa-preta variam em função do modelo da aeronave e de sua aplicação. Porém, existem certos parâmetros que são comumente utilizados nos modelos de tais dispositivos. Estes parâmetros, estão relacionados à construção e localização do dispositivo na aeronave e informações mínimas que devem ser gravadas. Sua especificação é feita por agências reguladoras e órgãos responsáveis pelo setor aéreo (IAC, 2002).

A construção de um dispositivo caixa-preta deve respeitar alguns requisitos de projeto para garantir robustez e eficiência. Sua construção envolve a presença de três materiais distintos. Primeiramente, há uma camada de alumínio que protege os dados contra interferências magnéticas. Depois, utiliza-se uma camada de sílica de 2 cm para proteger o dispositivo contra altas temperaturas. E finalmente, uma camada de 0,5 cm feita de metais inoxidáveis para proteger o dispositivo contra altas pressões e labaredas de fogo. Toda essa cautela envolvida na construção do dispositivo, faz com que ele seja capaz de suportar condições extremas de temperatura, pressão e impacto (MIN; RASTILAV; HILL, 2003). A Figura 1 ilustra a estrutura interna da caixa-preta para veículos aéreos.

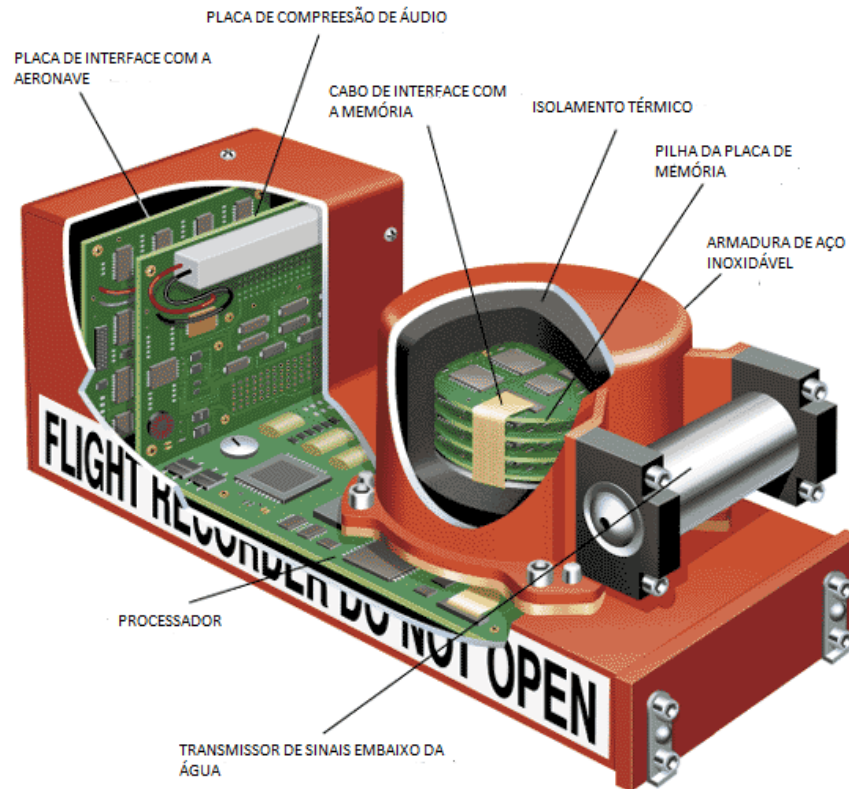


Figura 1- Componentes de um dispositivo caixa-preta utilizados em aeronaves.

As informações armazenadas nos dispositivos caixa-preta são obtidas a partir de sensores que coletam informações da aeronave e do ambiente em que ela está inserida. As informações armazenadas no dispositivo são divididas em duas categorias distintas. A primeira categoria é armazenada em um aparelho denominado *Flight Data Recorder* (FDR) e está relacionada com as operações feitas pelo sistema da aeronave de acordo com as especificações de projeto da empresa responsável. Ela também considera os aspectos mínimos exigidos pelos órgãos de controle aéreo. Os FDRs atuais registram cerca de 80 parâmetros, porém alguns são capazes de registrar até 700 parâmetros. Dentre todos os parâmetros registrados, vale citar como exemplo: tempo, pressão, altitude,

velocidade do ar, aceleração vertical, orientação magnética, posição dos controles (*manches*), posição dos estabilizadores horizontais, entre outros. A segunda categoria é armazenada em um aparelho denominado *Cockpit Voice Recorder* (CVR), sendo relacionada ao registro das vozes do piloto e co-piloto durante o voo. No momento em que o piloto inicia sua conversa com o co-piloto, o CVR inicia o processo de gravação. As informações de áudio somente podem ser apagadas através de um botão específico (*Erase*) no momento em que a aeronave retorna ao solo e encerra o voo (MIN; RASTILAV; HILL, 2003).

A cauda de uma aeronave, geralmente, é a região de menor deterioramento após um determinado acidente. Portanto, os dispositivos caixa-preta são localizados, na maioria das vezes, nessa região. Isso aumenta as chances de o dispositivo se manter íntegro após o acidente. Porém, muitas vezes a caixa-preta é perdida, e como consequência, a identificação das causas e reconstrução do acidente ficam impossibilitadas de serem estabelecidas com coerência. Diante disso, algumas aeronaves militares, e até mesmo algumas comerciais, possuem a tecnologia de ejetar a caixa-preta antes da queda. Isso proporciona um aumento considerável nas chances de se encontrar o dispositivo. Outro fator que vem sendo fruto de estudos e se difundindo cada vez mais, é a transferência de dados via satélite. Isso minimiza efeitos de perda de informações nos casos em que o dispositivo não é encontrado, ou quando o mesmo é danificado (GORLICK, 1991).

2.1.2 Dispositivos caixas-pretas no setor ferroviário

No setor ferroviário, a caixa-preta é capaz de registrar informações sobre a operação da locomotiva, sendo de grande importância para análises de desempenho, logística e manutenção (FABRIS; LONGO; MEDEOSSI, 2010). Como exemplo de parâmetros tem-se: velocidade; aceleração; temperatura do

motor; etc. Esses elementos são muito importantes para supervisionar o modo como a locomotiva é operada e, com base nessas medições, mantém o desempenho desejado. Ela também auxilia na conservação da via férrea e presta apoio jurídico em caso de danos ao ambiente e à sociedade.

Um acidente envolvendo uma locomotiva gera custos altíssimos para a empresa responsável. O custo elevado é consequência da mão de obra necessária para o reestabelecimento dos padrões operacionais, elevado tempo de parada, perda da produtividade e interrupção da linha férrea. Diante disso, um dispositivo registrador de dados proporciona subsídios para que sejam elaboradas ações de melhoria do plano operacional mediante o entendimento das causas do acidente baseado na análise dos dados registrados (FABRIS; LONGO; MEDEOSSI, 2010).

2.1.3 Dispositivos caixas-pretas no setor rodoviário

A utilização dos dispositivos caixa-preta em veículos terrestres, iniciou-se por volta de 1930 em competições de Kart, como forma de entender as causas dos acidentes, monitorar as ações do piloto e proporcionar melhorias nos projetos dos veículos. Somente no início do século XXI, empresas, como FORD e GM, começaram a desenvolver estes dispositivos (também conhecidos nesse meio como *Event Data Recorder* (EDR) para veículos rodoviários de uso comercial, policial e pessoal (IST, 2010).

Os EDRs são muito parecidos com os dispositivos caixa-preta utilizados no setor aéreo em relação ao sistema de armazenamento de dados. Porém, em função da menor complexidade dos veículos rodoviários e de sua aplicação, os EDRs armazenam um menor número de informações. Estas informações são armazenadas a partir de mecanismos de disparo de acidente ou por meio da gravação contínua dos dados (PARK; KO, 2012).

Os mecanismos de disparo de acidentes dos EDRs tradicionais estão relacionados a mudanças bruscas de velocidade e a detecção de falhas no motor. A partir destes eventos, detectados por sensores, inicia-se a gravação dos dados por um intervalo de tempo estipulado, com base em análise estatística de caracterização de acidentes. Geralmente, a gravação de dados dura em torno de 2 minutos. Os mecanismos de disparo em situações de falha no motor estão relacionados a paradas súbitas de funcionamento, baixa pressão de óleo e perda de refrigeração. Já em situações de indicação de acidente por mudanças bruscas de velocidade, os mecanismos de disparo estão relacionados ao uso da embreagem, aceleração do veículo e uso repentino dos freios (NHTSA, 2006). O armazenamento de informações a partir da gravação contínua dos dados, também é um tipo de configuração dos EDRs. Nesse caso, o dispositivo grava os dados durante todo o tempo de operação. Como forma de evitar o armazenamento desnecessário de informações em memória não volátil, esses dados são substituídos em intervalos de 2 minutos (tempo estimado de duração de um acidente) (NHTSA, 2006).

Para ambos os casos de armazenamento de informações citados, os dados são armazenados na memória do sistema, que geralmente vem associada ao módulo eletrônico do veículo. De acordo com o Departamento Nacional de Trânsito americano (do inglês *National Highway Traffic Safety Administration*) (NHTSA, 2006), existe um conjunto mínimo de dados a serem armazenados. Estes dados estão relacionados à variação de velocidade, ângulo de direção, acionamento dos *airbags* e outros dados correlatos que em conjunto proporcionam informações sobre um determinado acidente. Porém, a empresa fabricante pode acrescentar informações ao dispositivo de acordo com suas necessidades. A norma também estabelece um padrão para a formatação e retirada dos dados dos dispositivos através de cabeamentos específicos e pessoas

autorizadas. A Figura 2 ilustra um cenário de extração de dados após um acidente.

Apesar dos EDRs terem evoluído de forma considerável a nível de projeto, os estudos relacionados ao assunto ainda são vastos. Diante disso, verifica-se o surgimento de dispositivos cada vez mais complexos, robustos e funcionais. Estes dispositivos caixa-preta vêm ganhando cada vez mais importância no cenário atual, devido ao notável amparo proporcionado a órgãos competentes de trânsito (PATIL, 2013).



Figura 2 - Extração de dados de um EDR após acidente de trânsito.

A caracterização desses dispositivos caixa-preta se vale de componentes eletrônicos adicionais que proporcionam a aquisição de um número maior de informações. Dentre esses componentes, vale citar a presença de câmeras para capturar imagens de baixa resolução do ambiente, GPS para monitorar a posição do veículo, equipamentos de comunicação SMS para notificar centros médicos em casos de acidentes, além de sensores adicionais para monitoramento da

temperatura da cabine, consumo de combustível e outros parâmetros do veículo (KIM; NAM; JANG, 2014).

2.2 Veículos inteligentes

Na década de 1980, iniciaram-se os primeiros ensaios com veículos de condução autônoma, com experimentos realizados pela Universidade de Carnegie Mellon, e pela UniBw de Munique, demonstrando resultados iniciais em alta velocidade em autoestradas (THORPE et al., 1991). Esses veículos foram capazes de percorrer longos percursos em rodovias com grande nível de autonomia (DICKMANNNS; ZAPP, 1987).

No decorrer da década de 90, a ideia de utilizar veículos de navegação autônoma em centros de grandes cidades começou a ser fruto de pesquisas no meio industrial e acadêmico. Assim, surgiu a necessidade de se desenvolver sistemas de navegação mais robustos e de se agregar um maior número de sensores, além de algoritmos de decisão específicos, de modo a contornar as dificuldades presentes no cenário urbano. As especificações de projeto com mapas digitais 3D, reconhecimento de símbolos de navegação e identificação e correção de padrões caóticos das vias começaram a se desenvolver a nível de pesquisa e implantação (FRANKE; GAVRILA; GOERZIG, 1999). Na demonstração final do projeto EUREKA-PROMETHEUS em 1994, a Daimler-Benz e a UniBw Munique expuseram a condução autônoma em autoestradas francesas de três pistas com velocidades até 130 km/h. No entanto, mudanças de faixas ainda necessitavam de intervenção humana (THORPE et al., 1991).

Uma grande quantidade de publicações acadêmicas e testes significativos envolvendo veículos inteligentes aconteceram a partir da metade do ano 2000, nos desafios DARPA (*Defense Advanced Research Projects*

Agency). Estes desafios envolveram testes rigorosos de operações relacionados aos ambientes no deserto e em meio urbano (GRABOWSKI, 2006).

Atualmente, verifica-se um notável avanço em pesquisas com veículos inteligentes e interesse da indústria automobilística em investir nesses automóveis. Com isso, surge a necessidade de uma legislação específica para proporcionar amparo jurídico, garantia de operações adequadas e melhor aceitação da sociedade. Nesse sentido, a homologação/certificação dos veículos inteligentes torna-se imprescindível, visto que, ao serem legalizados significa que foram aprovados pelos órgãos e autoridades competentes para o tráfego em vias públicas nos mesmos paradigmas de quaisquer outros produtos e de veículos convencionais. Mesmo que os veículos inteligentes tenham o potencial de trazer benefícios ao mundo, aumentando a eficiência do tráfego, redução da poluição e eliminação de até 90% dos acidentes, nem todas as falhas serão evitadas (BONNEFON; SHARIFF; RAHWAN, 2016).

2.3 Acidentes envolvendo veículos inteligentes

Os veículos inteligentes também estão expostos a riscos de acidentes em decorrência de inúmeros fatores. As vias públicas são um desafio constante para esses veículos, uma vez que existem situações complexas onde os sensores do veículo e algoritmos podem falhar. Para ilustrar esta informação, pode-se mencionar: lidar com interseções; estimar as ações de outros veículos; identificar problemas relacionados com a estrada; calcular a localização com boa precisão e baixa variância; identificação de informações presentes em placas de trânsito (IAGNEMMA; BUEHLER; SINGH, 2008).

A análise de acidentes é a chave para a compreensão das causas. Com esse intuito, serão apresentados e discutidos três acidentes envolvendo veículos inteligentes. O primeiro caso descreve o acidente com o veículo da Google, hoje

conhecido como Waymo, que ocorreu em março de 2016 (GUARDIAN, 2016). O segundo e o terceiro descrevem dois acidentes com a empresa Tesla, um fatal ocorrido nos estados Unidos, (HARS, 2016) e o outro na China (SPRING; NEWSROOM, 2016), ambos em 2016.

2.3.1 Acidente envolvendo o veículo autônomo da Google

Neste acidente, o veículo da Google estava no lado direito da estrada, tentando voltar para a estrada principal. O veículo trafegava de acordo com o limite de velocidade da estrada. Um ônibus vinha na via principal respeitando a velocidade limite. De acordo com o condutor responsável pelo veículo da Google, o sistema detectou que não havia espaço suficiente para o ônibus continuar no seu caminho. Assim, o algoritmo de navegação concluiu que o ônibus iria parar e o veículo da Google poderia entrar na estrada principal. O resultado dessa análise ocasionou o acidente com o ônibus (GUARDIAN, 2016). Supondo-se que não havia espaço suficiente para o ônibus, a colisão aconteceria de qualquer maneira. Neste caso, não é possível saber se a causa do acidente foi uma falha nos sensores, hardware ou interpretação de algoritmos. Resta apenas aceitar a declaração da Google.

2.3.2 Acidentes com veículo inteligente da empresa Tesla

O primeiro acidente fatal com o veículo da Tesla ocorreu em uma via pública dividida por um canteiro central. O tempo estava bom e o sol estava atrás do veículo da Tesla, proporcionando boa visibilidade da estrada. Um caminhão que seguia em sentido contrário ao veículo da Tesla, realizou uma manobra de modo a cruzar a pista. O caminhão estava ocupando toda a via e sua caçamba se tornou um obstáculo ao veículo da Tesla. Como a caçamba possuía

uma lacuna entre o final de sua estrutura e o asfalto, o veículo da Tesla passou por baixo do caminhão causando uma colisão conforme ilustra a Figura 3.



Figura 3 – Figura ilustrativa do acidente fatal envolvendo o veículo inteligente da empresa Tesla (PRESSE, 2016).

O veículo, mesmo após a colisão, continuou seu deslocamento por uma distância considerável, antes de parar e bater em uma cabine telefônica (HARS, 2016). O veículo da Tesla, *Model S*, é equipado com um sistema de auxílio ao condutor, sendo capaz de tomar decisões baseadas em seus próprios sensores e algoritmos. No entanto, o condutor ainda é responsável pelo veículo e deve estar sempre alerta. Este tipo de ADAS, ou seja, em inglês *Advance Driver Assistance System* (Sistema Avançado de Assistência ao Motorista) disponível no veículo Tesla, é classificado como nível 3 pela *Society of Automation Engineers* (SAE), (SPRING; NEWSROOM, 2016). Esse tipo de sistema pode ser questionado devido a tendência dos condutores humanos a confiarem no sistema e não prestar a devida atenção à estrada e ao tráfego. Além disso, há um considerável atraso durante a transição entre o sistema de assistência para o controle do condutor.

Outro acidente envolvendo um veículo Tesla na China proporciona subsídios a essa ideia. Neste caso, o motorista estava olhando para o telefone e

não observou que o veículo iria bater em outro carro estacionado (SPRING; NEWSROOM, 2016). Em ambos os acidentes, as entidades responsáveis pela reconstituição do cenário dos acidentes enfrentaram algumas dificuldades, como por exemplo, se a falha ocorreu no sensor ou no algoritmo do sistema de processamento responsável (RUSSEL, 2016).

2.4 Homologação/Certificação de veículos inteligentes

A partir dos significados dos verbos homologar e certificar tem-se um melhor entendimento da importância desses atos para legalizar os veículos inteligentes. Entende-se como homologação um ato, uma ação referente a homologar, que é o mesmo que confirmar, provar, reconhecer algo de acordo com alguém ou algum órgão competente para provar a legitimidade do que foi oficialmente reconhecido. O termo em sentido jurídico significa aprovar ou confirmar judicial ou administrativamente. Este vocábulo tem origem grega, *homologéo*, tendo o sentido de estar de acordo com algo, ter a mesma opinião, reconhecer ou confessar. A palavra certificação, do verbo certificar, é o ato de emitir uma certidão de que algo está correto, garantido, comprovado, como um produto, por exemplo (PRIBERAM, 2017).

O ato de homologar, de legitimar o que foi oficialmente reconhecido, estende-se também aos veículos, ou seja, a autoridade nacional competente ou de outro Estado membro. A União Europeia trata com conformidade que a certificação de um modelo de veículo baseado nos requisitos técnicos estabelecidos na legislação e que foi submetido aos ensaios e controles exigidos (PORTUGAL, 2008).

No Brasil, o Instituto da Mobilidade dos Transportes, ligado ao Ministério do Transporte e das Infraestruturas, explica que a homologação pode ser: de modelo, se for válida para um número ilimitado de veículos do mesmo

modelo; de pequena série, se for válida para um número limitado de veículos; individual, se for válida apenas para um veículo. As homologações de veículos podem ser: nacionais, quando são válidas apenas para o território nacional ou de um conglomerado de países como é o caso da União Europeia (PORTUGAL, 2008).

Para adequar-se à era dos veículos inteligentes, em algumas localidades no mundo já houve alteração na legislação de trânsito para permitir testes. Nos Estados Unidos são exemplos os estados de Nevada, Flórida e Califórnia. Existe, a permissão para que esses veículos possam ser utilizados nas vias públicas de transportes, porém, exige-se a presença do condutor humano no veículo para que possa intervir em casos de emergência (GUIZZO, 2011).

São de grande importância as regulamentações governamentais para que as indústrias possam crescer, visto que no final de tudo, o governo é quem determina como elas devem atuar ou agir. No que se refere aos carros autônomos, havendo divergências entre os países, a Alemanha é um exemplo de governo que favorece a sua indústria. Os alemães possuem marcas bem-sucedidas como Volkswagen, Daimler e BMW. Seu governo objetiva tornar o país um *player* global de fabricantes de veículos autônomos, e para alcançar essa meta, existe entre o governo e partes envolvidas um consenso sobre o importante papel de se promover esta tecnologia de ponta. Já fizeram mudanças nas regras de trânsito recentemente, e além disso, é obrigatório ter o volante para o motorista intervir quando for necessário. Dentre as inovações, tornou-se obrigatório a instalação da caixa-preta (GERMANY, 2016).

Uma gravação de dados em um registrador de dados desenvolvido para veículos inteligentes seria uma alternativa para dar o suporte necessário nas perícias. Porém, isso não garantirá que o processo de homologação/certificação será mais agilizado.

2.5 Considerações finais

Este capítulo apresentou os diferentes dispositivos registradores de dados nos setores aéreo, ferroviário e rodoviário como forma de contextualizar e fornecer conhecimentos prévios para o entendimento do conceito relacionado a dispositivos registradores de dados para veículos inteligentes que será apresentado a seguir. A pesquisa sobre a evolução histórica dos veículos inteligentes, bem como seus aspectos gerais de construção são base para o entendimento de seus sistemas e subsistemas, os quais serão detalhados, visto sua importância na elaboração de um conceito relacionado a registradores de dados para veículos inteligentes. Os acidentes descritos anteriormente serão analisados em função das informações disponibilizadas por testemunhas, órgãos periciais e também sob um ponto de vista técnico. Uma abordagem sobre os aspectos gerais relacionados ao processo de homologação/certificação de veículos inteligentes foi realizada com o intuito de contextualizar o leitor para a importância desse dispositivo nesse contexto.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreverá os sistemas componentes de um veículo inteligente a fim de compreender suas possíveis fontes de falhas e como elas devem integrar um dispositivo registrador de dados. Para isso, levou-se em consideração os diagnósticos dos responsáveis técnicos e órgãos periciais responsáveis. Após analisar os laudos referentes aos acidentes, verificou-se a necessidade de se estabelecer um conceito sobre um dispositivo registrador de dados desenvolvido especificamente para veículos inteligentes.

3.1 Descrição dos sistemas de veículos convencionais

Os veículos convencionais são dotados de sistemas eletrônicos capazes de proporcionar subsídios no gerenciamento, comunicação e diagnóstico das informações disponíveis. Essas informações estão relacionadas a parâmetros operacionais e itens de segurança que compõe o sistema veicular.

As informações disponíveis são divididas em duas categorias. A primeira, denominada informações proprioceptivas, é composta por dados relacionados aos parâmetros internos do veículo. As informações relacionadas ao ambiente que circunda o veículo durante sua operação se enquadra na segunda categoria, denominada informações exteroceptivas.

As informações proprioceptivas podem ser acessadas via barramento CAN (do inglês Controller Area Network). Ele pode ser caracterizado como um protocolo de comunicação serial síncrono que apresenta padronização no formato dos dados e mensagens, sistema de detecção de falhas e normas para a especificação de sua arquitetura. Uma outra forma de se obter informações proprioceptivas dos veículos é por meio de sensores adicionais que podem ser

instalados no veículo de acordo com a sua aplicação específica. Dentre os sensores proprioceptivos, pode-se citar:

- odômetros;
- acelerômetros;
- GPS;
- etc.

As informações exteroceptivas podem ser acessadas por meio de sensores embarcados no veículo e também mediante à adição de sensores extras, que são especificados de acordo com a aplicação ou critérios de fabricação. Dentre os diversos sensores exteroceptivos, pode-se citar:

- câmeras;
- sonares;
- etc.

As informações provenientes dos sensores podem apresentar erros associados a parâmetros de calibração e medidas de seus componentes. A Figura 4 ilustra um panorama geral sobre os sistemas de veículos convencionais.

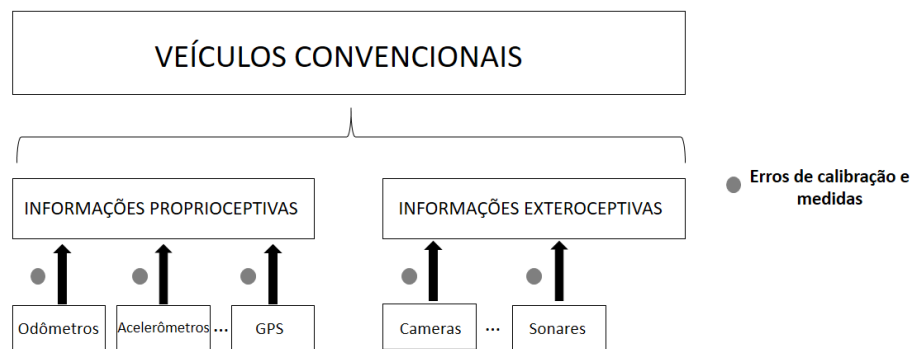


Figura 4 - Panorama geral dos sistemas de veículos convencionais.

3.2 Descrição dos sistemas de veículos inteligentes

Os veículos inteligentes são dotados de sistemas microprocessados que vão desde o auxílio inteligente ao condutor até o modo de operação totalmente autônomo conforme apresentado na Seção 2.2. Assim como nos veículos convencionais, eles também compartilham de informações proprioceptivas e exteroceptivas. Porém, possuem algoritmos especialistas responsáveis por processar dados e, mediante suas características de projeto, fornecer sinais de saídas, que influenciam de forma direta ou indireta na decisão tomada pelo veículo. No geral, um sistema de um veículo inteligente pode ser dividido em quatro sub-sistemas: localização, percepção, navegação e controle. Esses sistemas estão interligados, onde um mesmo sensor e um sub-sistema podem fornecer dados para outros sub-sistemas do veículo, porém o processamento dessas informações e a saída produzida serão condizentes com o algoritmo utilizado.

3.2.1 Sistema de localização

O sistema de localização de um veículo inteligente é responsável por fornecer sua pose (posição e orientação) em relação ao ambiente em que ele está inserido. Esse sistema recebe informações de sensores proprioceptivos e exteroceptivos instalados no veículo. Os sensores proprioceptivos geralmente utilizados são: acelerômetro, bússola, giroscópio, que podem ser concentrados em uma IMU (do inglês, Unidade de Medida Inercial), além do GPS. Já os sensores exteroceptivos mais utilizados são as câmeras (para realizar odometria visual). Além dos sensores citados, outros sensores podem ser utilizados conforme a necessidade e em função da aplicação do veículo.

Esses sensores podem apresentar erros associados a seus componentes eletrônicos, parâmetros de calibração e também estão sujeitos a interferências do ambiente. Dentre as várias interferências externas, vale citar: grandes centros urbanos, árvores, campos magnéticos, luz solar, etc. O conjunto de erros e interferências geram incertezas que podem produzir efeitos negativos nos dados de saída. Com a pose, saída geral de um sistema de localização, o veículo é capaz de seguir trajetórias pré-definidas. A Figura 5 ilustra um modelo do sistema de localização de um veículo inteligente.

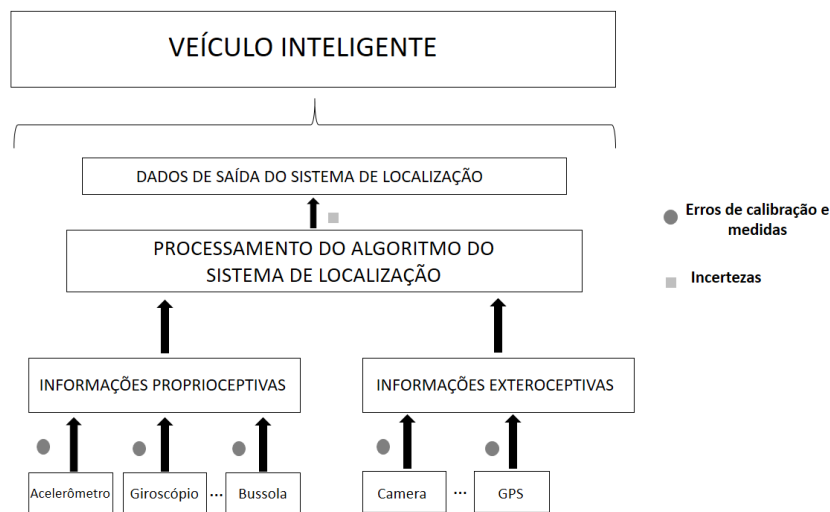


Figura 5 - Modelo de um sistema de navegação de um veículo inteligente.

3.2.2 Sistema de percepção

O sistema de percepção de um veículo inteligente faz com que este tenha a capacidade de identificar características do ambiente em que ele está inserido. Os sensores exteroceptivos mais utilizados são: LIDAR, radar, câmeras monocular e estéreo, sensores ultrassônicos, entre outros. A inserção de outros tipos de sensores pode ser realizada caso seja necessário obter maior precisão e

exatidão (por meio de uma fusão sensorial), ou até mesmo em função da aplicação do veículo.

Os sensores que compõe o sistema de percepção também podem apresentar erros e incertezas. Além dos erros presentes em seus dispositivos eletrônicos e parâmetros de calibração, algumas interferências do ambiente em que o veículo está inserido devem ser consideradas. As câmeras podem sofrer interferências de reflexão de luz, sombras, etc. Enquanto os lasers podem ter problemas na identificação de distâncias a objetos metálicos, os sensores ultrassônicos geralmente não possuem precisão e exatidão adequadas para determinar a dimensão de um objeto de interesse. Os dados de saída de um sistema de percepção (após processamento das informações e erros associados) trazem informações tridimensionais de obstáculos estáticos e móveis, os quais o veículo deverá evitar para garantir segurança no movimento. De modo geral, ele descreve semanticamente a cena, de forma que seja possível se distinguir um carro de uma pessoa ou demais elementos, definir as marcações no solo e encontrar sinalizações de trânsito. A Figura 6 ilustra um modelo de sistema de percepção de um veículo inteligente.

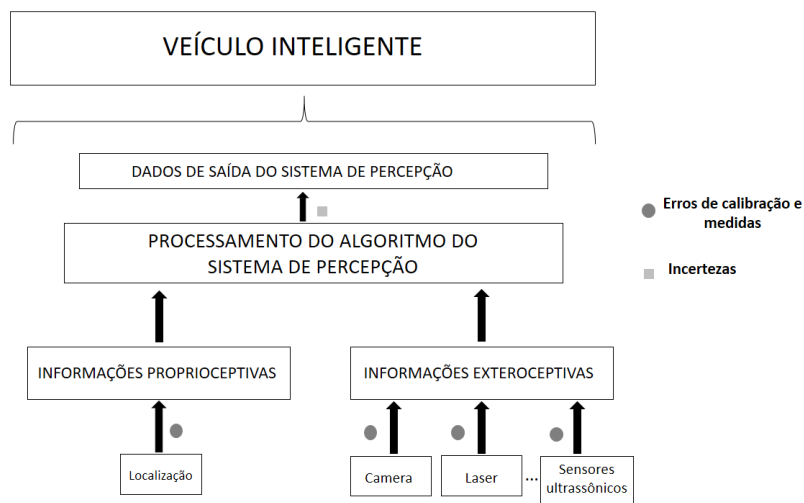


Figura 6 - Modelo de um sistema de percepção de um veículo inteligente.

3.2.3 Sistema de navegação

O sistema de navegação de um veículo inteligente permite que o veículo se locomova em ambientes diversos baseado nas informações proprioceptivas e exteroceptivas fornecidas pelos sistemas de localização e percepção. As informações são processadas mediante algoritmos especialistas de navegação que são projetados em função da aplicação do veículo, seu nível de autonomia, entre outros fatores. Os erros associados às informações recebidas são propagados após o processamento e produzem dados de saída que devem ser tratados pelo sistema de controle (apresentado na Subseção 3.2.4). O sistema de navegação fornece informações de alto nível para garantir que o veículo seja capaz de sair de um ponto inicial e chegue com sucesso até um ponto final. Ele, por exemplo, permite definir se em uma interseção o veículo deve virar à direita, à esquerda ou seguir em frente. Ele também pode recalcular rotas e procurar formas alternativas de se chegar ao destino. A Figura 7 ilustra um modelo do sistema de navegação de um veículo inteligente.

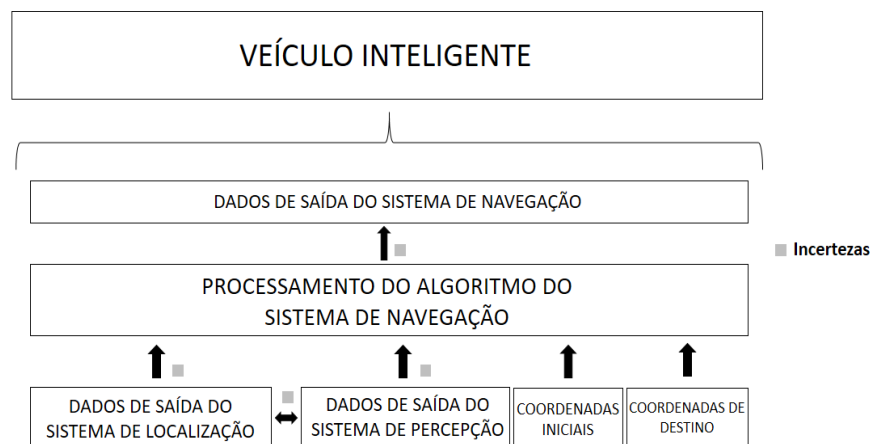


Figura 7 - Modelo de um sistema de navegação de um veículo inteligente.

3.2.4 Sistema de controle

O sistema de controle de um veículo inteligente deve ser capaz de tratar os dados de saída de um sistema de navegação e minimizar os erros propagados. Existem diversas técnicas de controle utilizadas em veículos inteligentes. Dentre as técnicas, vale citar os controladores: clássicos, adaptativos, baseados em inteligência computacional e os referenciados em sensores. Após o processamento dos dados de um sistema de controle, tem-se como saída os comandos de velocidade linear e angular do veículo (que são aplicados em controladores de mais baixo nível que definem a posição dos atuadores, como por exemplo, pedais de acelerador e freio e ângulo do volante). A Figura 8 ilustra um modelo do sistema de controle de um veículo inteligente.

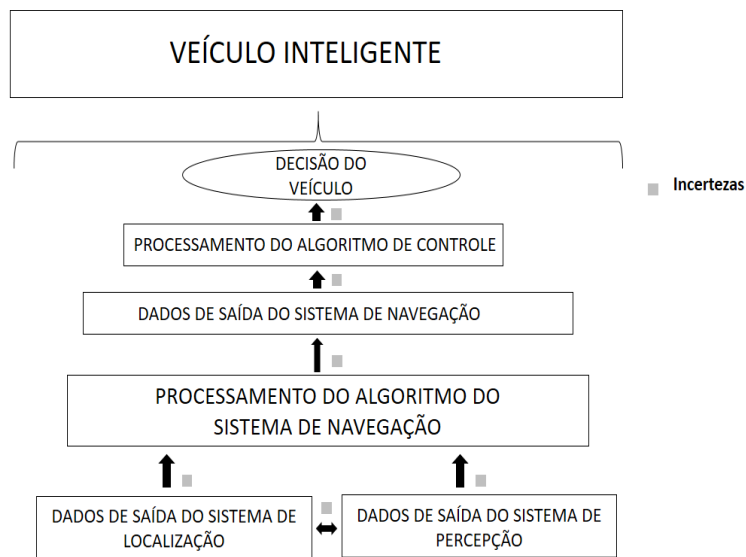


Figura 8 - Modelo de um sistema de controle de um veículo inteligente.

3.3 Registradores de dados para veículos inteligentes

O estudo realizado sobre os dispositivos registradores de dados nos diversos setores de transporte demonstrou a grande importância desses para a análise de acidentes. Esses dispositivos são desenvolvidos de modo específico para o tipo de veículo (aéreo, ferroviário ou rodoviário) e de acordo com sua aplicação conforme apresentado na Seção 2.1.

Os veículos inteligentes são dotados de sistemas inteligentes, que podem variar seu nível de complexidade em função das especificações de projeto. Portanto, se diferenciam dos veículos convencionais devido a quantidade de sensores, módulos eletrônicos, microprocessadores embarcados e, principalmente, pela presença de algoritmos capazes de processar os dados coletados e produzir dados de saída que influenciem na decisão do veículo. A diferença entre os sistemas dos veículos inteligentes em relação aos convencionais foi apresentada nas Seções 3.1 e 3.2.

Essa diferença exige que os veículos inteligentes (VIs) possuam um registrador específico capaz de armazenar dados não processados e também os processados. Os dados não processados são os dados brutos provenientes de diferentes sensores (câmera, odometria, GPS, IMU, etc.) e atuadores (acionamento dos freios, variação no ângulo de direção, etc.). Associa-se a esses os parâmetros de calibração e eventuais erros de medidas, sem que nenhum tipo de processamento tenha acontecido ainda. Os registradores de dados utilizados nos veículos convencionais (EDRs) são capazes de armazenar esses dados e possibilitar uma análise limitada. No entanto, os dados fornecidos pelo processamento dos algoritmos, ou simplesmente dados processados, também deveriam ser armazenados em um registrador específico, a fim de uma melhor compreensão dos eventos relacionados a um acidente possam ser analisados e reconstruídos de forma coerente.

A proposta de um novo registrador de dados consiste em se estabelecer um conceito sobre um dispositivo com interface padrão para a entrada dos dados processados ou não, independentemente do fabricante do veículo. Esse conceito visa uma futura implementação do dispositivo que poderá ser utilizado em quaisquer níveis de autonomia de veículos inteligentes, conforme definido pela SAE, e qualquer interface de operação. No entanto, dados internos de cada sub-sistema também podem ser armazenados dependendo do nível de detalhamento necessário. Estes dados são relativos, por exemplo, à saída de uma função específica, e não ao sistema como um todo.

O conceito do dispositivo é fundamentado no entendimento do funcionamento de cada sensor, atuador e sub-sistemas. Cada veículo inteligente terá uma arquitetura de *hardware* e *software* específica projetada em função de sua aplicação. Os dados dos sensores e atuadores serão armazenados e passivos de comparação com valores esperados mediante as especificações de projeto do veículo. Os sub-sistemas funcionam baseados em sinais de entrada, processamento e conseqüente sinal de saída. As características dos sinais de entrada e saída serão registradas, e mediante análise por uma equipe técnica pericial, será possível identificar se a falha ocorrida foi devido aos sensores e atuadores (dados não processáveis), ou devido ao processamento dos dados realizado pelos algoritmos de cada sub-sistema (dados processáveis). A Figura 9 ilustra um panorama geral do registrador de dados padrão para veículos inteligentes (VIs).

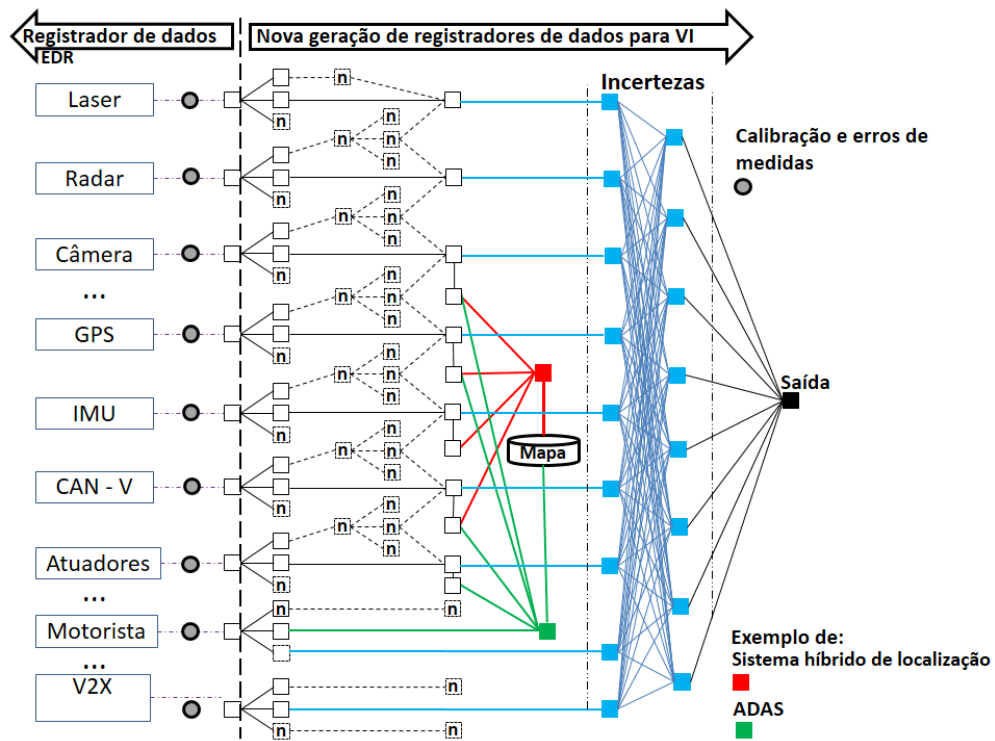


Figura 9 – Distinção entre um registrador de dados padrão e um específico para veículos inteligentes (VIs).

Com o intuito de ilustrar a importância dos registradores de dados para veículos inteligentes, foi realizado um experimento em ambiente simulado. A ideia por trás deste experimento e seus resultados estão descritos no Capítulo 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresentará uma análise funcional do conceito da nova geração de registradores de dados para veículos inteligentes com base no que foi apresentado no Capítulo 3 e um experimento simulado com a finalidade de ilustrar a importância do novo registrador de dados para a análise de acidentes.

4.1 Análise funcional dos registradores de dados para veículos inteligentes

Os acidentes envolvendo os veículos das empresas Google e Tesla, conforme descritos na Seção 2.3, não apresentaram análises sólidas sobre as causas reais que levaram aos acidentes. A análise foi feita apenas baseada em depoimentos dos envolvidos e de terceiros, e em diagnósticos técnicos fornecidos pelas empresas. A NHTSA, responsável por investigar as causas do acidente, concluiu que o veículo da Google não foi o responsável pelo mesmo. De acordo com o relatório final, o sistema de condução semiautônoma não exclui a necessidade de que o condutor esteja atento a possíveis imprevistos, já que nesse modo de operação o veículo pode percorrer trajetórias com certas limitações como velocidade e tempo de navegação (SÃO PAULO G1, 2017). Porém, isso não exclui a necessidade de um dispositivo registrador de dados, visto que a reconstituição do cenário foi baseada somente no conhecimento prévio do sistema e não em dados armazenados.

Mesmo que os veículos inteligentes já sejam realidade, o Estado ainda carece de novas legislações, programas de conscientização social (treinamentos sobre direção defensiva, instruções sobre o funcionamento dos veículos inteligentes, etc.) e mecanismos que favoreçam o processo de homologação/certificação desses veículos. O conceito de registrador de dados para veículos inteligentes proposto proporciona subsídios às entidades

envolvidas, já que é uma ferramenta importante para a análise de acidentes, identificação de melhorias nos sistemas dos veículos e fonte de informações para a elaboração de legislações específicas.

4.2 O ambiente simulado

O experimento foi realizado em um ambiente simulado desenvolvido em software *Matlab* por (Lima, 2015) e adaptado como forma de ilustrar a importância de um dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes na análise de acidentes e falhas operacionais. O simulador permite escolher o modelo de robô que será utilizado, implementar e inserir sensores (laser, câmera, GPS, etc.), implementar algoritmos de localização, navegação, detecção e controle para a realização de tarefas específicas e criar modelos de pistas diversas com ou sem a inserção de obstáculos. Ele também apresenta algumas limitações quanto a apresentação do resultado (ilustração do modelo do robô primitiva) e também a criação de pistas mais complexas que incluem múltiplos elementos e maior quantidade de robôs em operação. Inicialmente, foi elaborado um modelo de pista como apresentado na Figura 10.

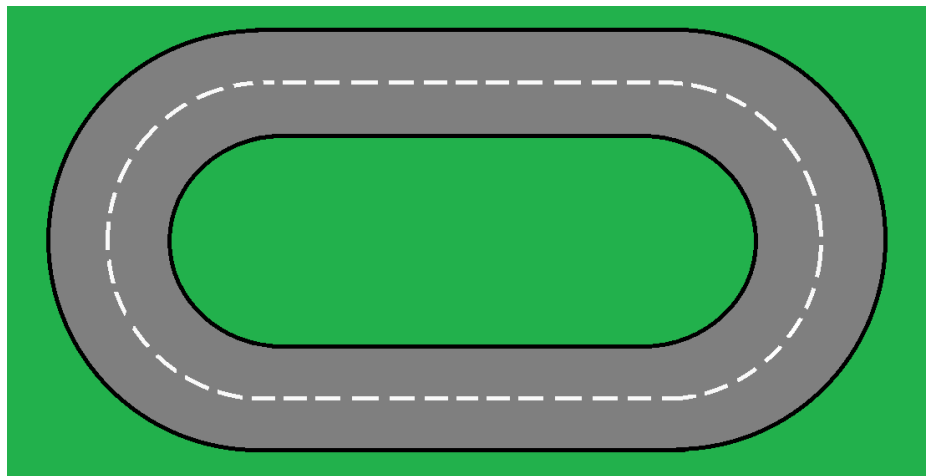


Figura 10 – Modelo de pista utilizado para a simulação.

Após a escolha do modelo de pista, foi implementado um veículo com restrições de movimento, com ângulo máximo de esterçamento das rodas baseado em veículos terrestres reais, limites de aceleração, frenagem e dimensões condizentes. O veículo também recebeu alguns sensores simulados, como velocímetro, acelerômetro, câmera e GPS.

O objetivo do experimento foi de implementar um algoritmo de navegação baseado em uma trajetória pré-definida e uma função matemática capaz de receber os dados da pose atual do veículo (fornecido pelo sistema de localização) a uma taxa de amostragem de 0.05 s. A função escolhida foi a mesma utilizada pelo veículo Stanley, vencedor do desafio DARPA. A função do algoritmo de navegação é fornecer como saída o ângulo de direção do veículo representado na equação por $\delta(t)$. Como entrada, o controlador recebe o erro transversal $x(t)$ que mede a distância lateral entre o eixo das rodas dianteiras do veículo e o ponto mais próximo da trajetória. Além disso, tem-se como entrada um ganho de ajuste k , a velocidade linear do veículo $u(t)$ e também o ângulo $\Psi(t)$ que representa a orientação de segmento do percurso mais próximo medido em relação a própria orientação do veículo conforme ilustrado na Figura 11.

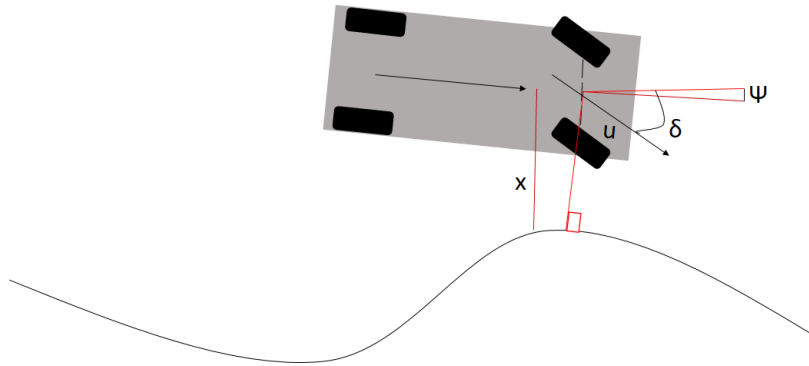


Figura 11 – Ilustração do modelo de controle do ângulo de direção utilizado.

A ideia é fazer com que o parâmetro de entrada $x(t)$ se converta a zero para que se obtenha um bom nível de operação do veículo (THRUN et al., 2007). A Equação 1 representa o modelo matemático do sistema de navegação proposto.

$$\delta(t) = \Psi(t) + \arctan \frac{kx(t)}{u(t)} \quad (1)$$

Posteriormente, definiu-se dois tipos de ruídos inseridos de forma determinística nos dados do sensor GPS como forma de ilustrar uma possível situação de falha real. O primeiro ruído consistiu em corromper os dados do GPS por meio da inserção de valores aleatórios durante um curto intervalo de tempo. O segundo ruído foi definido a partir da indução de uma perda de sinal do GPS fazendo com que ele congelasse seu último valor sem que este fosse atualizado.

O experimento consistiu em três simulações relacionadas a operação do veículo em percurso previamente especificado, sendo a primeira sem a presença de ruídos e mais duas simulações para cada ruído específico. Todos os dados fornecidos pelos sensores foram registrados como forma de representar o dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes. No final de cada experimento, gerou-se uma matriz de dados salvos em disco, contendo: coordenadas da trajetória pré-definida, dados do GPS, velocidade linear, velocidade angular, imagens da câmera e o resultado do processamento do algoritmo Stanley.

4.3 Resultados simulados

Após a implementação do algoritmo de navegação e controle do veículo na pista, baseado em (THRUN et al., 2007) conforme apresentado na subseção 4.2, iniciou-se a primeira simulação. A Figura 12 representa um ciclo completo de operação do veículo em condições normais. O veículo é representado pelo retângulo vermelho e o sombreado preto ilustra o caminho percorrido por ele. A trajetória que o veículo deveria seguir está representada pela linha vermelha contínua. O veículo apresentou erros durante o percurso, porém não foram significativos para que o mesmo fosse capaz de percorrer a trajetória proposta.

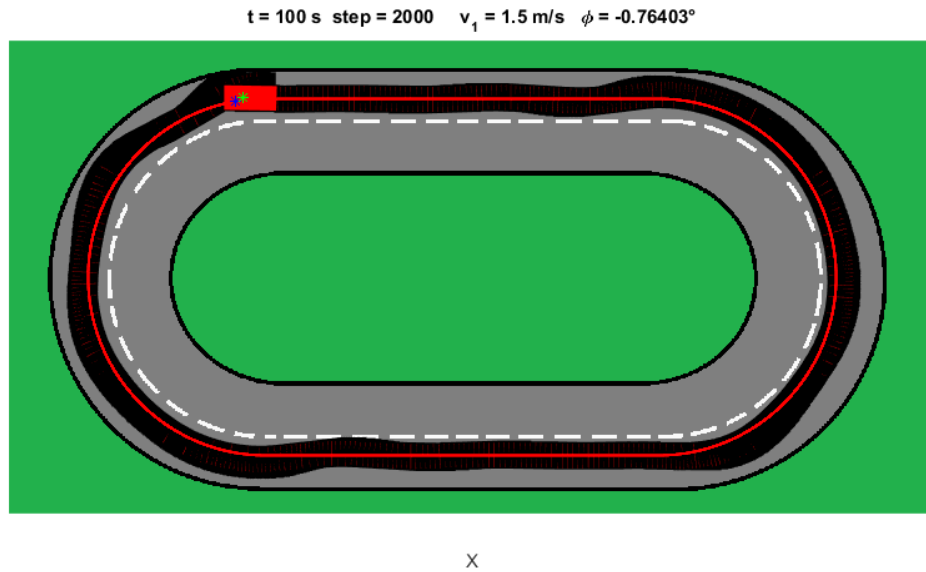


Figura 12 – Ciclo completo de operação do veículo inteligente sem ruído. A linha vermelha representa a trajetória desejada e o sombreado preto o caminho real realizado

A segunda simulação proposta consistiu na inserção de um ruído que altera os dados recebidos pelo GPS conforme descrito na Seção 4.2. A Figura 13 representa o comportamento do veículo após a inserção do ruído.

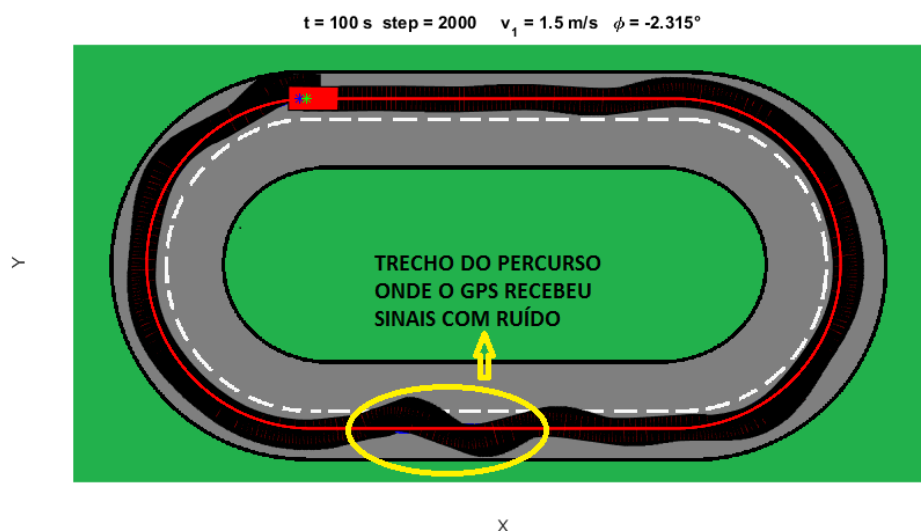


Figura 13 – Ciclo de operação do veículo inteligente com a presença de sinais ruidosos no GPS.

Com a presença desse ruído, no trecho indicado na Figura 13, verificou-se um mal comportamento operacional do veículo. O veículo invadiu a pista vizinha, o que poderia causar uma colisão com outro veículo na direção contrária ou até mesmo durante uma manobra de ultrapassagem. No momento em que o GPS passou a receber os sinais sem ruído, o veículo retomou sua operação e terminou o percurso.

O conceito de registrador de dados proposto foi capaz de armazenar os dados não processados do veículo (aceleração linear e angular, GPS, ponto atual da trajetória a ser seguida, imagens da câmera) e dados processados (comandos de controle). Estes dados, como visto na Seção 3.2, são referentes aos quatro sistemas que compõem o veículo inteligente. Analisando os dados registrados, foi possível identificar o sinal ruidoso recebido pelo GPS (comparando com as coordenadas pré-definidas da trajetória) e visualizar o mal comportamento pelas imagens da câmera. O registro dos dados processados (provenientes do sistema de navegação proposto) indicou que, durante o sinal ruidoso, os valores

registrados não foram condizentes com os valores esperados baseado em seu comportamento operacional sem a presença de ruídos. A Figura 14 ilustra a imagem da câmera obtida na simulação descrita.

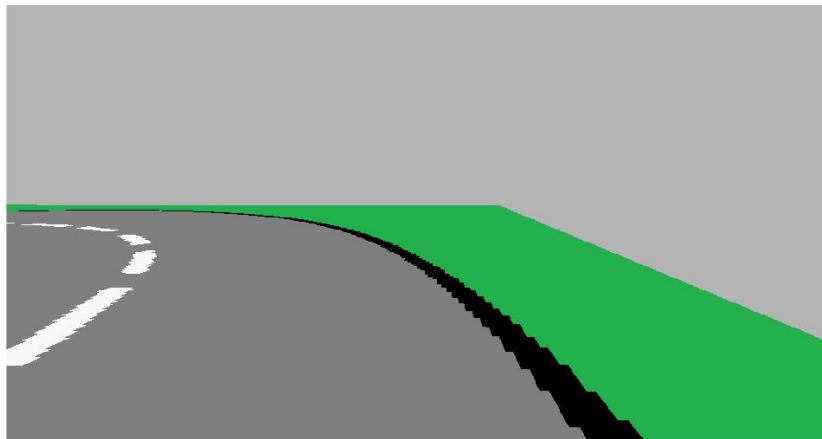


Figura 14 - Imagem obtida pela câmera do veículo durante a simulação.

Neste caso, foi possível verificar que o algoritmo de navegação proposto não foi capaz de operar de forma adequada quando o ruído foi inserido, porém foi capaz de reestabelecer a sua rota operacional esperada quando o ruído desapareceu. Portanto, é possível concluir que a conduta inadequada de operação do veículo foi devido ao sinal ruidoso recebido pelo GPS e também devido à baixa robustez do algoritmo de navegação para lidar com o ruído gerado. As imagens da câmera subsidiam a análise no processo de reconstrução o cenário.

A terceira simulação proposta consistiu na inserção de um ruído que ocasionou a perda completa do sinal do GPS. A Figura 15 ilustra o comportamento do veículo no momento em que o sinal do GPS foi interrompido.

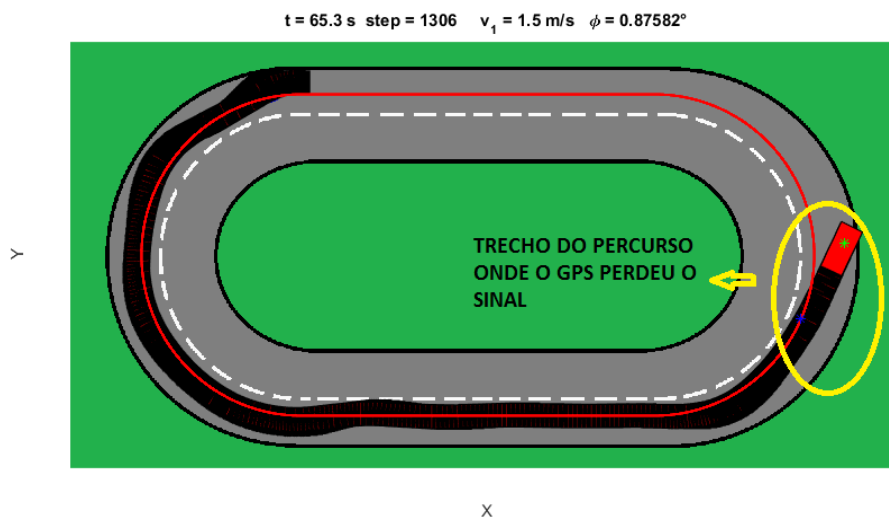


Figura 15 - Ciclo de operação do veículo inteligente com a perda de sinal do GPS.

Com esta falha, que ocorreu durante o trecho indicado na Figura 15, verificou-se um mal comportamento operacional do veículo, o que resultou em uma colisão com o acostamento da pista. Do mesmo modo que na simulação 2, o registrador de dados armazenou todas informações não processadas e processadas do veículo. A análise dos dados registrados permitiu concluir que a causa do acidente foi a perda de sinal do GPS, adicionada à falta de robustez do algoritmo de navegação utilizado.

Ambas as simulações foram realizadas com um veículo inteligente com poucos sensores. Isso implicou em pouca robustez para lidar com eventuais ruídos presentes em ambientes reais. No entanto, a proposta foi de ilustrar a importância e suporte proporcionado pelo registrador de dados para veículos inteligentes no âmbito de reconstruir um cenário, entender as causas de um possível acidente ou mal comportamento operacional. A utilização do dispositivo se estende a veículos mais complexos, desde que se conheça os aspectos construtivos do veículo (sensores, atuadores, algoritmos, etc.) e sua

aplicação. Diante disso, é possível ter um direcionamento sobre quais as informações presentes nos veículos deverão ser armazenadas para que seja possível uma análise eficiente de seu comportamento.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho discutiu-se a importância de um dispositivo registrador de dados padrão para veículos inteligentes. Na revisão da literatura foram apresentados os diversos tipos de registradores de dados existentes nos setores de transporte aéreo, ferroviário e rodoviário. A pesquisa sobre esses dispositivos ilustrou sua importância no processo de reconstrução de um cenário de acidente, no entendimento das causas envolvidas, bem como a possibilidade de gerar ações de melhoria para os sistemas envolvidos. Como por exemplo, tem-se a utilização de algoritmos de navegação mais robustos, maior quantidade de sensores e a implementação de mais sub-sistemas. Além disso, é importante ressaltar que não foi encontrado na literatura nenhum dispositivo com esta característica. A pesquisa também apresentou alguns acidentes envolvendo veículos inteligentes, apontando a ausência de informações para subsidiar uma conclusão transparente.

O processo de homologação/certificação dos veículos inteligentes também foi estudado. A pesquisa nesse campo se concentrou em identificar as dificuldades atuais para concluir esse processo, e na importância de um dispositivo registrador de dados padrão para veículos inteligentes como uma ferramenta capaz de impulsionar a inserção dos veículos inteligentes em vias públicas de circulação.

Na metodologia foi realizado um levantamento com intuito de comparar os sistemas dos veículos convencionais com os sistemas que compõem os veículos inteligentes. Assim, foi possível entender os tipos de dados presentes em cada sistema e justificar a especificação de um dispositivo registrador de dados padrão para veículos inteligentes. Concluiu-se que os dispositivos registradores desenvolvidos para veículos convencionais não atendem as necessidades dos

inteligentes. Isso se justifica pelo fato de que os veículos inteligentes apresentam dados processados de diferentes níveis oriundos de seus sistemas.

Um conceito sobre dispositivos registradores de dados foi apresentado junto a uma análise das diferenças existentes entre os registradores de dados padrão e o registrador específico para veículos inteligentes e também sua abrangência a seus sistemas e subsistemas. Um experimento em ambiente simulado também foi proposto como forma de ilustrar uma possível aplicação dos dispositivos registradores de dados, bem como sua importância na análise de acidentes e comportamento operacional do veículo. De acordo com os dados obtidos, concluiu-se que o dispositivo proposto se mostrou eficiente no processo de análise e, portanto, é uma ferramenta importante para o Estado e órgãos periciais.

O trabalho realizado não contemplou as especificações de projeto a nível de hardware e software para a construção do dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes. Apesar do dispositivo não ter sido desenvolvido, os aspectos motivacionais que circundam o contexto foram amplamente abordados. Portanto, para o futuro, pretende-se realizar os seguintes trabalhos:

- Projeto da arquitetura de hardware do dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes;
- Projeto da arquitetura de software do dispositivo registrador de dados para veículos inteligentes;
- Realização de testes em ambientes simulados com a utilização de veículos contendo maior número de sensores e algoritmos mais eficientes;

REFERÊNCIAS

BARBOSA, H. C., LIMA, D. A., NETO, A. M., VITOR, G. B., MARTINESCO, A., RABELO, G., & ETGENS, V. H. The new generation of standard data recording device for intelligent vehicles. **Intelligent Transportation Systems (ITSC)**, 2016.

BONNEFON, JEAN-FRANÇOIS; SHARIFF, AZIM; RAHWAN, IYAD. The social dilemma of autonomous vehicles. **Science**, v. 352, n. 6293, p. 1573-1576, june, 2016. Disponível em: science.sciencemag.org/content/352/6293/1573.e-letters. Acesso em: 02 fev. 2017.

CHAKLADER, S.; ALAM, J.; ISLAM, M.; SABBIR, A. S. Black Box: An Emergency Rescue Dispatch System for Road Vehicles for Instant Notification of Road Accidents and Post Crash Analysis. **Conference of International on Informatics, Eletronics and Vision**, p. 6, 2014.

DATASUS, Departamento de Informática do SUS. **Anuário estatístico de acidentes de trânsito no Brasil em 2016**. Brasília 2016.

DICKMANN, E. D.; ZAPP, A. Autonomous high speed road vehicle guidance by computer vision. **Congress IIFAC World Congress Munich**, n. 10, p. 232 - 237, 1987.

FABRIS, S.; LONGO, G.; MEDEOSSI, G. Automated analysis of train event recorder data to improve micro-simulation models. **Journal Timetable Planning and Information Quality**, p. 125 - 134, 2010.

FRANKE, U.; GAVRILA, D.; GOERZIG, S. Autonomous Driving approaches Downtown. **Congress of IEEE Intelligent Systems**, v. 13, n. 6, p. 14, 1999.

GERMANY **Tweaks Its Traffic Rules To Include Self-Driving Cars**. 2016. Disponível em: <http://telematicswire.net/germany-tweaks-its-traffic-rules-to-include-self-driving-cars/>. Acesso em: 25 fev. 2016.

GORLICK, M. M. The flight recorder: an architectural aid for system monitoring. **Book ACM SIGPLAN Notices**, v. 26, n. 12, p. 175 - 181, 1991.

GRABOWSKI, R.; WEATHERLY, R.; BOLLING, R.; SEIDEL, D.; SHADID, M.; JONES, A. MITRE Meteor: An Off-Road Autonomous Vehicle for DARPA's Grand Challenge. **Journal of Field Robotics**, v. 23, n.9, p. 811 - 835, 2006.

GUARDIAN, T. **Google self-driving car caught on video colliding with bus.** EUA: The guardian, 2016.

GUIZZO, E. **How Google's Self-Driving Car Works.** IEEE Spectrum: 18 Oct. 2011. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works>>. Acesso em: 5 fev. 2017

HARS, A. **Fatal Tesla accident exposes fundamental flaws in the levels of driving automation framework.** EUA: Driverless Future, 2016.

IAC, **Departamento de Aviação civil divisão de aeronave- habilidade e engenharia de manutenção instrução de aviação civil.** Brasília, 2002.

IAGNEMMA, K. BUEHLER, M. ; . SINGH, S. Special issue on the 2007 DARPA urban challenge. **Journal Field Robot**, v. 25, n. 8, p. 9, 2008.

JUNG, C.; OSORIO, F.; KLEBER, C.; HEINEN, F. Computação Embarcada: Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes. **Anais**. Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, v. 5, p. 1358 - 1406, 2005.

KIM, M.; NAM, J.; JANG, J. Implementation of Smart Car Infotainment System including Black Box and Self-diagnosis Function. **Journal of Software Engineering and Its Applications**, v. 8, n. 1, p. 267 - 274, 2014.

LIMA, D. A. de. Sensor-based navigation applied to intelligent electric vehicles. **Other**. University de Technology of Compiègne, 2015.

MIN, X.; RASTILAV, B.; HILL, M. A "flight data recorder" for enabling full-system multiprocessor deterministic replay. **Book of Computer Architecture**, p. 122 - 133, 2003.

NHTSA, Department Of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. 49 CFR Part 563: **Event Data Recorders**. Washington DC, 2006.

PARK, H.; KO, D. A Design of the Intelligent Black Box using Mining Algorithm. **Journal of mart Home**, v. 6, n. 2, p. 1 - 6, 2012.

PARK, W. D. Forensic Analysis Technique of Car Black Box. **Journal of Software Engineering and Its Applications**, v. 8, n. 11, p. 1 - 10, 2014.

PATIL, C.; MARATHE, Y.; AMOGHIMATH, K.; DAVID, S. Low Cost Black Box for Cars. **Conference of Texas Instruments India Educators**, p. 7, 2013.

PATZ, B.; PAPELIS, Y.; PILAT, R.; STEIN, G.; HARPER, D. A practical approach to robotic design for the DARPA urban challenge. **Journal of Field Robotics**, v. 25, n.8, p. 528 - 566, 2008.

PORTUGAL. Instituto da Mobilidade dos Transportes. **Homologação de veículos Portugal**. 2008. Disponível em: <http://www.imtip.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Aprovacoes/HomologacoesComponentes/Paginas/HomologComponentes.aspx>. Acesso em: 5 fev. 2017.

PRESSE **Acidente com Tesla pode atrasar a chegada de carros autônomos**. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/acidente-com-tesla-pode-atrasar-chegada-de-carros-autonomos.ghtml>

PRIBERAM, **Dicionário**. Disponível em: <https://www.priberam.pt/dlpo/homologa%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 8 fev. 2017.

SÃO PAULO G1 **Investigação conclui que carro da Tesla não falhou em acidente fata**. G1. 19/01/2017 18h18 - Atualizado em 12/04/2017 11h24. Disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2017/01/investigacao-conclui-que-carro-da-tesla-nao-falhou-em-acidente-fatal.html>. Acesso em: 03 mai. 2017.

SPRING J. ; NEWSROOM, B, **The driver in China's first Tesla Autopilot crash claims sales staff told him the car was self-driving**. UK: Business Insider, 2016.

SAE. **Surface vehicle recommended practice**. 2016.

THORPE, C. M. ; HEBERT, T. ; KANADE, ; SHAFER, S.. Toward Autonomous Driving: The CMU Navlab. Part II: System and Architecture. **IEEE Expert**, v. 6, no. 1, p. 44–52, aug. 1991.

THRUN, S.; MONTEMERLO, M.; DAHLKAMP, H.; STAVENS, D.; ARON, A.; DIEBEL, J.; FONG, P.; GALE, J.; HALPENNY, M.; HOFFMAN, G.; LAU, K.; OAKLEY, C.; PALATUCCI, M.; PRATT, V.; STANG. Autonomous Driving in Urban Environments: Stanley: the robot that won DARPA Grand Challenge. **Journal of Field Robotics**, 2007.