

EDVALDO SIMÕES DA FONSECA JUNIOR

Geomática aplicada à navegação de veículos autônomos

São Paulo

2017

EDVALDO SIMÕES DA FONSECA JUNIOR

Geomática aplicada à navegação de veículos autônomos

São Paulo

2017

EDVALDO SIMÕES DA FONSECA JUNIOR

Geomática aplicada à navegação de veículos autônomos

Trabalho de Conclusão de Curso
em Engenharia de Transportes

**Texto apresentado à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
do título de Livre-Docente**

**Área de Concentração:
Engenharia de Transportes**

São Paulo

2017

À minha filha, à minha esposa, aos meus pais e aos meus irmãos e irmãs.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao criador pela vida.

Agradeço a todos os que foram meus alunos de graduação e de pós-graduação pois, com certeza colaboraram para a melhoria do meu desempenho didático.

Agradeço a todos os que foram meus orientados, de pré-iniciação científica, de pré-iniciação tecnológica, de monitoria, de iniciação tecnológica, de iniciação científica, de mestrado e de doutorado pois, auxiliaram de maneira intensa nas pesquisas em que grupo que coordeno está desenvolvendo.

Agradeço ao trio de professores que encontrei ao chegar no LTG e que me receberam de braços abertos.

Agradeço a todos os professores do PTR com os quais tenho convivido desde a minha chegada a este departamento.

Agradeço aos jovens professores que chegaram recentemente por me permitirem compartilhar material, técnicas e experiências das disciplinas que tenho ministrado ao longo da minha carreira acadêmica.

Agradeço a todos os professores, de diferentes instituições, em que estive participando de bancas, de comissões e de orientações e que me ajudaram a enxergar a academia de forma mais ampla.

Agradeço aos professores que partilharam comigo seus alunos do ensino médio do âmbito do projeto de pré-iniciação científica e de pré-iniciação tecnológica por me proporcionarem uma experiência única e gratificante na busca de melhorarmos o nível do ensino médio nas escolas públicas.

Agradeço a todos os funcionários do PTR com quem tive o prazer de trabalhar e aprender, incluindo os funcionários lotados no LTG.

Agradeço todos aqueles funcionários da EPUSP e da USP com os quais mantive contato e que puderam de alguma maneira nos auxiliar nos tramites burocráticos da instituição.

Agradeço ao pessoal técnico das diferentes instituições em que mantivemos convênios e cooperação técnica pois, permitiram ampliar os conhecimentos práticos.

Agradeço ao colegas da época do mestrado e do doutorado que, devido aos estudos, tivemos uma aproximação intensa e que acabaram se tornando amigos.

Agradeço aos amigos e colegas que fiz em minhas viagens de estudo na Inglaterra e no Canadá.

Agradeço as agências de fomento que, por diversas vezes, liberaram recursos para bolsas e para projetos que que coordenei.

Agradeço às bibliotecárias da Engenharia Civil por auxiliar na formatação das referencias e da ficha catalográfica.

Agradeço a competência e o cuidado com que a ex-secretária do PTR e amiga organizou a documentação e o memorial.

Agradeço à minha família que soube entender os meus diversos momentos de ausência e de dedicação intensa à POLI.

Finalmente, gostaria de agradecer à todas as pessoas que contribuíram para a minha formação.

O mestre disse a um dos seus alunos: Yu, queres saber em que consiste o conhecimento? Consiste em ter consciência tanto de conhecer uma coisa quanto de não a conhecer. Este é o conhecimento.

Confúcio

RESUMO

Este texto sistematiza de forma modular uma das linhas de pesquisas em que o autor vem atuando mais intensamente. As pesquisas sobre navegação autônoma realizadas e destacadas neste documento se iniciaram por conta da necessidade de alinhar as pesquisas do autor com as atividades de pesquisa desenvolvidas no Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Este alinhamento provocou a idealização e posterior criação de um grupo de pesquisa denominado de GIGA – Grupo de Investigação em Geomática Aplicada à Engenharia. Este grupo nasceu para aglutinar alunos e professores que estivessem interessados em dois temas específicos: o primeiro navegação autônoma e o segundo monitoramento geodésico de estruturas. Devido ao grande interesse em relação ao primeiro tema o autor resolveu focar no mesmo. Desta forma, este documento retrata as atividades dos últimos sete anos e que estão relacionadas à navegação autônoma. É apresentada uma resenha histórica sobre a evolução das tecnologias aplicadas na navegação autônoma de veículos terrestres. Em seguida é apresentado o resultado das pesquisas realizadas no âmbito do GIGA com a indicação das dissertações e teses defendidas bem como, dos artigos correlacionados ao tema e que foram publicados. Ao final é feita uma breve consideração que tenta antever como será o futuro dos veículos autônomos, indicando os diversos problemas de natureza tecnológica e também os de natureza comportamental da população e que ainda precisam ser analisados, equacionados para posterior resolução.

Palavras-Chave: Navegação autônoma. Veículos Autônomos. Geomática. Geodesia. Sistema de Posicionamento Global (GPS).

ABSTRACT

This text systematizes in a modular way one of the lines of research in which the author has been acting more intensely. The research on autonomous navigation carried out and highlighted in this document was initiated due to the need to align the research of the author with the research activities developed in the Department of Transportation Engineering of the Polytechnic School of the University of São Paulo. This alignment led to the idealization and subsequent creation of a research group called GIGA - Research Group in Geomatics Applied to Engineering. This group was born to bring together students and teachers who were interested in two specific topics: the first is autonomous navigation and the second is structural geodetic monitoring. Due to the great interest in the first subject the author decided to focus on it. In this way, this document portrays the activities of the last seven years that are related to autonomous navigation. A historical review is presented on the evolution of technologies applied in the autonomous navigation of land vehicles. The following is the result of the research carried out within GIGA with the indication of the dissertations and theses defended as well the articles related to the topic and which were published. At the end a brief consideration is made that tries to foresee how the future of autonomous vehicles will be, indicating the various problems of a technological nature as well as those of a behavioral nature of the population and that still need to be analyzed, equated for future resolution.

Keywords: Autonomous navigation. Autonomous Vehicles. Geomatics. Geodesy. Global Positioning System (GPS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Robô Shakey e dois dos pesquisadores envolvidos em seu desenvolvimento	8
Figura 2 - Robô Stanford Cart	9
Figura 3 - Veículo ALV	10
Figura 4 - Veículo VaMP (Mercedes-Benz 500 SEL)	11
Figura 5 - Veículo do projeto ARGO	12
Figura 6 - Exemplo de Vale Urbano – Avenida Paulista - SP	13
Figura 7 - Veículo NAVLAB 11	14
Figura 8 - Veículo Stanley, vencedor no DARPA Grand Challenge 2005.....	16
Figura 9 - Veículo Sandstorm segundo no DARPA Grand Challenge 2005.....	17
Figura 10 - Veículo Highlander terceiro no DARPA Grand Challenge 2005	17
Figura 11 - Veículo KAT-5 quarto no DARPA Grand Challenge 2005.....	18
Figura 12 - Veículo TerraMax quinto no DARPA Grand Challenger 2005	19
Figura 13 - Veículo da equipe Boss – Tartan Racing	21
Figura 14 - Veículo da equipe Junior – Stanford Racing.....	21
Figura 15 - Veículo da equipe Odin - VictorTango	22
Figura 16 - Ambiente de teste na Universidade Keimyung.	24
Figura 17 - Posição de montagem do laser scanner e câmera	25
Figura 18 - Área de detecção de obstáculo para cada um dos laser scanner ..	25
Figura 19 - Veículo UGV RTS-HANNA	26
Figura 20 - Resultados de localização com mapa cadastral e OSM.....	27
Figura 21 - Resultados de planejamento de rota com OSM e a rota executada	28
Figura 22 - O sistema do iRobot Roomba evitando o degrau	30
Figura 23 - Conhecimento do ambiente inicial dado ao iRobot	30
Figura 24 - Representação do ambiente depois do sétimo dia.....	31
Figura 25 - Equipe de competidores que participaram da competição MAGIC 2010 na Austrália	32
Figura 26 - Participantes do Grand Cooperative Driving Challenge	33
Figura 27 - Veículo CaRINa	35
Figura 28 - Veículo CaRINa II.....	37

Figura 29 - Situação, em 01/2014 dos estados americanos quanto a adequação da legislação de trânsito	38
Figura 30 - Situação, em 12/2016 dos estados americanos quanto a adequação da legislação de trânsito	38
Figura 31 - Veículo modelo Lexus RX450 h transitando de forma autônoma...	39
Figura 32 - Veículo Protótipo da empresa Waymo transitando de forma autônoma	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

ADD	<i>Australian Department of Defence</i>
ALV	<i>Autonomous Land Vehicle</i>
ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
AMD	<i>Advanced Micro Devices</i>
CACC	<i>Cooperative Adaptative Cruise Control</i>
CaRINa	<i>Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma</i>
CNPq	<i>Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico</i>
CTB	<i>Código de Trânsito Brasileiro</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DTCMO	<i>Detection, Tracking and classification of Moving Objects</i>
DGP	<i>Diretório dos Grupos de Pesquisas do CNPq</i>
DGPS	<i>Differential GPS</i>
DoD	<i>Department of Defense dos EUA</i>
DSTO	<i>Defence Science and Technology Organization</i>
EESC	<i>Escola de Engenharia de São Carlos da USP</i>
ELROB	<i>European Land Robot Trial</i>
EPUSP	<i>Escola Politécnica da Universidade de São Paulo</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
GCDC	<i>Grand Cooperative Driving Challenge</i>
GIGA	<i>Grupo de Investigação em Geomática Aplicada à Engenharia</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTAS	<i>Dutch High Tech Automotive System</i>

INCT SEC	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MAGIC	<i>Multi-Autonomous Ground-robotic International Challenge</i>
NASA	<i>National Administration Space Agency</i>
NAVLAB	<i>Navigation Laboratory</i>
OSM	<i>OpenStreetMap</i>
PROMETHEUS	<i>PrograMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety</i>
PTR	Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP
RDDF	<i>Route Definition Data Format</i>
RNDF	<i>Road Network Definition File</i>
ROS	<i>Robotic Operating System</i>
RTK	<i>Real Time Kinematics</i>
SLAM	<i>Simultaneous Localization And Mapping</i>
TNO	<i>Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)</i>
UGV	<i>Unmanned Ground Vehicle</i>
USP	Universidade de São Paulo
VaMP	<i>Versuchsfahrzeug für autonome Mobilität und Rechnersehen</i>
VITA	<i>Vision Information Technology Application</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	3
1.1	Objetivos	4
1.2	Justificativa	4
1.3	Estrutura do Trabalho	5
2	Revisão da Literatura	7
2.1	Histórico	7
2.1.1	Os primeiros passos	7
2.1.2	Início do Século XXI	12
2.1.3	Nos últimos 10 anos	23
2.1.4	Atividades no Brasil	34
2.1.5	Adaptação da Legislação de Trânsito	37
3	A pesquisa no âmbito do GIGA.....	41
3.1	Dissertações de mestrado defendidas.....	41
3.1.1	Defesas ocorridas em 2011	41
3.1.2	Defesas ocorridas em 2012	43
3.1.3	Defesas ocorridas em 2013	45
3.1.4	Defesas ocorridas em 2014	46
3.1.5	Defesas ocorridas em 2015	48
3.2	Tese de doutorado defendida.....	49
3.2.1	Defesas ocorridas	49
4	Artigo Publicados a partir das pesquisas realizadas no âmbito do GIGA....	52
4.1	Artigos Publicados em Jornais, Revistas ou Boletins Técnicos Nacionais:.....	52
4.2	Capítulos de Livros.....	53
4.3	Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos Nacionais	53

4.4	Resumos Publicados em Anais de Congressos Nacionais.....	53
4.5	Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos Internacionais.....	54
4.6	Trabalhos Submetidos para Publicação	54
5	Considerações Finais.....	55
	Referências Bibliográficas	59

1 Introdução

Este documento procura sumarizar, de forma organizada, parte da carreira acadêmica do autor a partir da ideia de criar o **GIGA - Grupo de Investigação em Geomática Aplicada à Engenharia**. Este grupo foi idealizado no segundo semestre de 2007 tendo por premissa a preocupação do autor em desenvolver pesquisas relacionadas à Engenharia e em especial à Engenharia de Transportes. Anteriormente as pesquisas estavam voltadas especificamente para a Geodesia e tinham pouca afinidade com as pesquisas desenvolvidas junto ao PTR - Departamento de Engenharia de Transportes da EPUSP - Escola Politécnica da USP - Universidade de São Paulo em que está lotado o autor. Em 2008 ingressou o primeiro aluno interessado no tema e no ano seguinte (2009) houve a formalização do referido grupo e seu cadastramento no DGP - Diretório de Grupos de Pesquisas do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Com a formalização passou-se a direcionar as pesquisas para aplicações em Engenharia. Neste novo paradigma e, lembrando que a formação do autor estava baseada primordialmente no posicionamento por satélites, foram definidas basicamente duas linhas que poderiam ser seguidas: a primeira era a navegação autônoma terrestre e a segunda o monitoramento geodésico de estruturas. Com base nessa nova perspectiva, o autor passou a divulgação do grupo na expectativa de atrair estudantes que pudessem dar corpo as pesquisas que deveriam ser desenvolvidas com base nas duas linhas propostas.

A criação do GIGA coincidiu com a evolução tecnológica que permitiu a determinação da posição (coordenadas) com acurácia crescente e com equipamentos de baixo custo o que abriu novas perspectivas nas pesquisas sobre navegação autônoma. Assim, esta linha teve uma demanda grande de interessados o que acabou, de certa forma, ofuscando a linha de pesquisa em monitoramento de estruturas, que apesar de se beneficiar do desenvolvimento tecnológico, não teve a mesma sorte, pois os equipamentos modernos de monitoramento geodésico continuaram apresentados custos elevados.

Em fase do exposto o autor, focou mais intensamente na linha de navegação autônoma e passou a procurar recursos para fomentar as pesquisas. Em 2009

o CNPq lançou o edital MCT/CNPq 18/2009 P&D&I em Transportes em que foi submetido um projeto de pesquisa denominado: Sistema de Controle, Navegação e Roteirização aplicado à Veículos Autônomos. Em 2010 o projeto de número CNPq 402393/2009-0 foi aprovado com o aporte de recursos da ordem de 257 mil reais. Apesar da grande demora, por parte do CNPq, para liberar os recursos foi possível a aquisição de duas plataformas terrestres para testes, acelerômetro e inclinômetro, receptores **GNSS** - *Global Navigation Satellite System* de baixo custo, sistema inercial de baixo custo além de uma gama de outros equipamentos necessários para o desenvolvimento das pesquisas como por exemplo: bancada, multímetro, osciloscópio, fonte de alimentação regulável, ferramentas e placas do tipo Arduino e Raspberry Pi. Durante este período surgiram vários alunos interessados sendo que destes, sete conseguiram concluir o mestrado e um o doutorado em temas correlacionados a esta promissora linha de pesquisa.

1.1 Objetivos

O trabalho de investigação que vem sendo desenvolvido desde a criação do GIGA, notadamente na linha de pesquisa em navegação autônoma terrestre pode ser resumido nos seguintes objetivos:

- Avaliar a acurácia e a precisão de receptores GNSS de baixo custo;
- Avaliar a eficácia do posicionamento DGPS - *Differential GPS* e RTK - *Real Time Kinematics* com equipamentos de baixo custo;
- Integrar o GNSS com sistemas inerciais de baixo custo;
- Desenvolver sistemas de baixo custo que permitam a navegação com acurácia e precisão.

1.2 Justificativa

Como pode ser visto neste documento e no Memorial Circunstanciado que compõem o conjunto de documentos apresentados é possível inferir que o

autor tem procurado realizar pesquisas que permitam o avanço da ciência em especial, o desenvolvimento de tecnologias que deverão ser incorporadas nos veículos autônomos terrestres. A mídia apresenta em média duas ou três reportagens por semana sobre veículos autônomos levando a crer que essa tecnologia deverá ser realidade ainda na metade deste século.

A expectativa dos pesquisadores é que a grande maioria dos acidentes de trânsito serão evitados pois, é causada por falha do motorista (Cedatt, 2011), (Fronho, 2013). Em relação aos congestionamento, que é um problema bem conhecido e recorrente nas grandes metrópoles deverão ser eliminados ou reduzidos com o uso massivo de veículos autônomos. Este poderão comunicar-se entre si trocando informações sobre a situação do trânsito, de forma a redefinirem a rota a ser seguida e, evitar congestionamentos. Os especialistas passaram a considerar que o veículo autônomo fará parte de um serviço de aluguel de veículos, ou seja: cada veículo não terá um proprietário como ocorre atualmente. Se este serviço for de fato implantado o uso de veículos será otimizado e haverá conseqüentemente menos veículos transitando e haverá mais vagas em estacionamentos. Assim, conduzir o próprio veículo depois de algum treino se torna uma tarefa mecânica que, poderia ser realizada, em parte, por um algoritmo (O'Toole, 2009).

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente texto está estruturado em organizado em seis grandes blocos a saber: Introdução, Revisão da Literatura, A Pesquisa no âmbito do GIGA, Artigos Publicados a partir das pesquisas realizadas no âmbito do GIGA, Considerações Finais e Referências.

O primeiro bloco apresenta os objetivos e as justificativas para a elaboração deste texto e finalmente como está organizado o mesmo.

O segundo bloco apresenta uma revisão da literatura, apresentando um histórico sobre a evolução de veículos autônomos.

O terceiro bloco apresenta as pesquisas realizada no âmbito do GIGA, correlacionadas com a navegação de veículos autônomos e que resultaram em dissertações ou teses.

O quarto bloco apresenta, de forma resumida, os trabalhos publicados e que estão correlacionados com a navegação de veículos autônomos.

O quinto bloco foi dedicando as considerações finais.

O sexto e último bloco apresenta as referências consultadas.

2 Revisão da Literatura

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura relativa ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas aos veículos autônomos terrestres.

2.1 Histórico

O desenvolvimento dos veículos autônomos terrestres remonta à década de 60 do século XX e teve seu início com o desenvolvimento da robótica e da chamada inteligência artificial. Tais pesquisas proporcionaram o desenvolvimento da tecnologia necessária para os veículos autônomos terrestres.

2.1.1 Os primeiros passos

O robô Shakey foi a primeira tentativa de se desenvolver um robô móvel do SRI - Stanford Research Institute (NILSSON, 1969 apud GAGE, 1995) em meados da década de 60 do século XX.

O Shakey era uma plataforma móvel (Figura 1), equipada com rodas, com câmera de TV, sensor ultrassônico e sensores de contato. Através de enlace comunicação por radiofrequência, o robô conectado com o computador (*mainframe* SDS-940), o qual realizava todo o processamento, inclusive das tarefas de navegação e exploração. Apesar de o Shakey ter sido considerado um fracasso, por não ter conseguido ter autonomia de operação, o projeto estabeleceu um patamar funcional e de desempenho, identificando as deficiências tecnológicas e ajudando a inserir a pesquisa em IA – Inteligência Artificial nas áreas de planejamento, visão e processamento de linguagem natural (FLYNN, 1985 apud GAGE, 1995).

Um dos grandes problemas daquela época era a falta de capacidade dos robôs de reconhecerem objetos pois, a visão tridimensional ainda estava incipiente e por conta disso não permitia uma navegação segura.



Figura 1 - Robô Shakey e dois dos pesquisadores envolvidos em seu desenvolvimento

(Fonte: <http://newatlas.com/shakey-robot-sri-fiftieth-anniversary/37668/#p346903/> acesso em dezembro de 2016)

Na mesma época do desenvolvimento do robô Shakey, estava em desenvolvimento o projeto Stanford Cart (Figura 2). Era uma plataforma com rodas de bicicleta, que inicialmente possuía motores para tração, uma câmera de vídeo e bateria de carro para suprimento de energia.

Foi desenvolvido para testes de controle remoto de um veículo autônomo que estivesse na Lua e, portanto, os comandos e movimentos deveriam considerar o tempo de propagação do sinal. Entretanto, com o anúncio do envio de uma missão tripulada à Lua, o desenvolvimento da tecnologia para aplicações em veículos lunares foi descartada em meados do ano de 1963.

Mesmo sem o interesse da **NASA** - *National Administration Space Agency*, o projeto teve continuidade, e entre 1973 e 1981 o veículo foi utilizado para estudos de navegação e desvio de obstáculos, com o uso do sistema de visão estéreo que proporcionava uma reconstrução do ambiente tridimensional em um computador de grande porte dedicado ao processamento do grande volume de dados.



Figura 2 - Robô Stanford Cart

(Fonte: <http://www.stanford.edu/~learnest/cart.htm> acesso em dezembro de 2016)

Em 1977 o Laboratório de Engenharia Mecânica Tsukuba, no Japão, construiu o que foi considerado o primeiro veículo inteligente. O mesmo possuía a capacidade de rastrear marcas brancas colocadas no piso de uma via dedicada. O veículo atingia velocidades de até 30 km/h (DOUGLASS, 1988 apud GAGE, 1995).

Em 1980, na Universidade Bundeswehr Munich (UniBW) na Alemanha Ernst Dickmanns e sua equipe, construíram um veículo inteligente que se utilizava de visão computacional, abordagens probabilísticas como filtro Kalman e computadores paralelos. Este veículo atingiu a velocidade de 96 km/h em estradas sem tráfego (DOUGLASS, 1988 apud GAGE, 1995).

Nesta mesma década, nos Estados Unidos da América, o **DARPA** - *Defense Advanced Research Projects Agency* investiu aproximadamente 1 bilhão de dólares para desenvolver o projeto ALV - *Autonomous Land Vehicle* que tinha como intenção a construção de veículos militares autônomos. que foi construído sobre uma plataforma veicular com quatro eixos e oito rodas (Figura 3). O veículo possuía uma câmera colorida e um scanner laser, sendo capaz de seguir uma via urbana e desviar de obstáculos em velocidades de até 21 km/h, Em vias não pavimentadas transitava com velocidade de até 3km/h e tinha a capacidade de desviar de árvores, pedras, valas e outros obstáculos de pequeno porte (DOUGLASS, 1988 apud GAGE, 1995).



Figura 3 - Veículo ALV

(Fonte: <http://www.gizmodo.com.au/2013/12/darpa-tried-to-build-skynet-in-the-1980s/> acesso em dezembro de 2016)

A Comissão Europeia criou um projeto chamado EUREKA PROMETHEUS - *PrograMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety*. Na área de automóveis não tripulados foi o maior projeto já existente, tendo recebido orçamento equivalente a 1 bilhão de dólares. Dois projetos deste programa atingiram os melhores resultados, sendo eles os veículos gêmeos **VaMP** - *Versuchsfahrzeug für autonome Mobilität und Rechnersehen* e **VITA** - *Vision Information Technology Application* e o veículo ARGO.

Na demonstração final do projeto EUREKA PROMETHEUS, os veículos VaMP (Figura 4) e VITA, que utilizava tecnologias como visão ativa para detecção de obstáculos em movimento e radares. Ambos foram desenvolvidos pela Mercedes Bens, cujo projeto foi liderado por Ernst Dickmanns da Universidade de Munique e, demonstraram seu desempenho em uma via pública de 3 faixas, onde as seguintes tarefas foram executadas (DICKMANNNS, 2004) :



Figura 4 - Veículo VaMP (Mercedes-Benz 500 SEL)

(Fonte: <http://www.mercedes-fans.de/magazin/classic/prometheus-autonomes-fahren-vor-30-jahren.7938> acesso em dezembro de 2016)

- Se manter na mesma faixa de rolamento com velocidade de 130 km/h;
- Monitoramento e estimativa relativa do estado de até 6 veículos ao redor do veículo autônomo e também, nas duas faixas vizinhas;
- Capacidade de adotar comportamento de comboio, mantendo uma distância do veículo à frente proporcional à velocidade;
- Capacidade de mudar de faixa de rolamento, incluindo a tomada de decisão sobre em que momento a mudança de faixa poderia ser realizada com segurança.

O projeto ARGO (Figura 5) foi desenvolvido no Departamento de Tecnologia da Informação da Universidade de Parma – Itália em parceria com a empresa Magneti Marelli. A ideia foi desenvolver tecnologias que poderiam tornar um veículo autônomo. O veículo escolhido foi equipado com um sistema de visão estereoscópica através de duas câmeras preto e branco instaladas dentro do mesmo. Com este sistema o veículo era capaz de se manter trafegando na via. Em junho de 1998, em uma demonstração pública, o veículo realizou uma viagem autônoma de 2.000 km pelas rodovias da Itália.



Figura 5 - Veículo do projeto ARGO

(Fonte: <http://vislab.it/automotive/> acesso em dezembro de 2016)

2.1.2 Início do Século XXI

A partir do ano 2000 houve um grande desenvolvimento tecnológico associado à redução do tamanho e dos custos dos diferentes sensores que podem ser empregados para auxiliar na automação de veículos terrestres. Houve ainda um grande desenvolvimento de algoritmos a serem embarcados nos veículos.

Em 2003 a equipe do Instituto de Robótica da Universidade Carnegie Mellon (Wang, Thorpe, & Thrun, Online Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects: Theory and Results from a Ground Vehicle in Crowded Urban Areas, 2003), publicaram artigo que combinava a técnica SLAM - *Simultaneous Localization And Mapping* e a técnica DTCMO – *Detection, Tracking and classification of Moving Objects*. Na época o artigo dizia que tanto o posicionamento GPS absoluto quanto o posicionamento DGPS apresentavam frequentes falhas devido ao efeito do vale urbano causado pela construção de prédios muito altos (Figura 6) existentes nas grandes metrópoles mundiais. Além disso, naquela época um sistema IMU – Inertial Measurement Unit com a acurácia necessária tinha um custo muito elevado. Como alternativa utilizaram a combinação da técnica SLAM com a técnica DTCMO na tentativa de se estimar a localização. Além disso se esperava obter informações sobre a característica da dinâmica do ambiente onde o veículo estava se deslocando, características estas críticas para um

veículo autônomo. Foram utilizados *laser scanners* e odometria para o problema do SLAM com DTCMO, satisfazendo as demandas de segurança e navegação.



Figura 6 - Exemplo de Vale Urbano – Avenida Paulista - SP

Fonte: (<http://www.tourist-destinations.com/2014/10/top-10-grand-boulevard-in-world.html> acesso em dezembro de 2016)

O ideal seria ter um mapa embarcado, o que facilitaria muito na resolução do problema SLAM mas, sabe-se que o mundo não é estático, mesmo as estruturas mais sólidas podem mudar de forma com o passar do tempo. A alternativa foi incluir um mapa digital no sistema para permitir a localização global de forma topológica (Wang, Thorpe, & Thrun, Online Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects: Theory and Results from a Ground Vehicle in Crowded Urban Areas, 2003).

Por outro lado, não foi fácil resolver o problema do DTCMO em um ambiente urbano sobrecarregado de informações e, considerando um veículo se deslocando em alta velocidade. A cada passagem do *laser scanner*, as características dos objetos podem ser diferentes. Um objeto único, como um trailer, pode ser interpretado como vários objetos, enquanto vários objetos, como pedestres, podem ser interpretados como um objeto único. Os objetos

em movimento podem desaparecer e reaparecer. Para resolver tais dificuldades, foi apresentado um detector baseado em movimentos que estava instalado no NAVLAB 11 (Figura 7) (Wang & Thorpe, Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects, 2002).



Figura 7 - Veículo NAVLAB 11.

Fonte: <http://www.cs.cmu.edu/~bobwang/navlab/> (Wang, Thorpe, & Thrun, Online Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects: Theory and Results from a Ground Vehicle in Crowded Urban Areas, 2003)

O veículo denominado NAVLAB 11 (Figura 7) tinha embarcado os seguintes sistemas:

- Sensores de movimento (IMU, GPS, odômetro diferencial, bússola, inclinômetro, giroscópio);
- Sensores de vídeo (cinco vídeo-câmeras e uma câmera omnidirecional);
- Três telémetros digitalizadores (*scanners*) de eixo único;
- Um telémetro *light-stripe*;
- Cinco computadores Pentium 500 MHz.

Os resultados da pesquisa indicam que a combinação do SLAM como o DTCMO melhora a detecção de objetos. Mesmo com o pavimento com certa irregularidade e com o veículo balançando, o sistema permaneceu em pleno funcionamento e forneceu resultados satisfatórios. De acordo com os autores, o experimento se utilizando de câmeras para detectar objetos em movimento é

mais difícil do que com o *laser scanners*. Entretanto, câmeras fornecem mais informação sobre a localização global, da qual o SLAM poderia se beneficiar porém, 'seria necessário melhorar a capacidade de processamento da massa de dados coletada.

O ano de 2004 marcou o início de uma nova era para os veículos autônomos. A DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency criou o desafio denominado DARPA Grand Challenge. O desafio tinha dois objetivos, um de curto prazo e outro de longo prazo a saber: o objetivo, de curto prazo, era desenvolver um veículo autônomo capaz de atravessar um terreno não pavimentado e não conhecido. O objetivo de longo prazo era de que um terço dos veículos militares fossem não tripulados por volta do ano de 2015.

A primeira competição ocorreu em 13 de março de 2004 e distribuiu uma premiação de um milhão de dólares americanos. O desafio foi que veículos autônomos navegassem por aproximadamente 227 km pelo deserto de Mojave em no máximo 10 horas. Das 107 equipes registradas, 15 competiram mas, nenhuma completou mais do que 5% do percurso.

Em 8 de Outubro de 2005 ocorreu o segundo desafio que distribuiu uma premiação de dois milhões de dólares americanos. Das 195 equipes registradas, 23 competiram e 5 veículos completaram o percurso com sucesso, nesta ordem:

1. Stanley – Universidade de Stanford
2. Sandstorm – Universidade Carnegie Mellon
3. Highlander – Universidade Carnegie Mellon
4. Kat-5 – The Gray Insurance Company
5. TerraMax – Oshkosh Truck Corporation

O percurso foi mantido em absoluto segredo até 2 horas antes do início da corrida, quando cada equipe recebeu um CD-ROM com a rota definida no formato RDDF - *Route Definition Data Format*, contendo uma rota com 2.935 pontos. A largura da via variava entre 3 e 30 metros. O limite de velocidade variava de 8 a 80 km/h. A ideia principal era verificar se os veículos tinham a capacidade de se manter na via, mesmo em alta velocidade, e de desviar de

obstáculos. Todos os veículos competiram na mesma rota e com partidas a cada 5 minutos de intervalo (Thrun, et al., 2006).

O sucesso do veículo Stanley (Figura 8) foi resultado de um intenso esforço de desenvolvimento liderado pela Universidade de Stanford, envolvendo especialistas da Volkswagen, da Mohr Davidow Ventures, da Intel Research e de outras grandes empresas. (Thrun, et al., 2006).



Figura 8 - Veículo Stanley, vencedor no DARPA Grand Challenge 2005

Fonte: http://archive.darpa.mil/grandchallenge05/grandchallengephotos/awardphotos/DSC_5090.jpg
acesso em dezembro de 2016 (Thrun, et al., 2006).

No DARPA Grand Challenge 2005 a Universidade Carnegie Mellon participou com dois veículos a saber: o Sandstorm (Figura 8) e H1ghlander (Figura 8). Os projetos tiveram apoio financeiro da Harris Corporation, da Boeing Corporation e da Caterpillar Inc.

A ideia da equipe da Universidade Carnegie Mellon para conceber os veículos foi robustez e simplicidade. A equipe procurou utilizar componentes simples e testar agressiva e intensamente todo o sistema na medida do possível. (Urmson, Ragusa, & Ray, 2006).



Figura 9 - Veículo Sandstorm segundo no DARPA Grand Challenge 2005

Fonte: <http://www.cs.cmu.edu/~curmson/urmsonRobots.html> acesso em dezembro de 2016

(Urmson, Ragusa, & Ray, 2006)



Figura 10 - Veículo H1ghlander terceiro no DARPA Grand Challenge 2005

Fonte: <http://www.cs.cmu.edu/~curmson/urmsonRobots.html> acesso em dezembro de 2016

(Urmson, Ragusa, & Ray, 2006)

Segundo a equipe da Universidade Carnegie Mellon algumas lições foram válidas para o desenvolvimento de Veículos Autônomos (Urmson, Ragusa, & Ray, 2006):

- Testar o sistema é necessário e essencial mas, os resultados podem enganar;

- Ter confiabilidade é crítico e deve ser exaustivamente perseguida;
- Usar componentes comerciais mas, apenas aqueles que a empresa dá suporte;
- Conhecer bem o problema a ser enfrentado;
- Dimensionar o problema corretamente é a chave do sucesso.

O quarto veículo a completar o DARPA 2005 foi KAT-5 (Figura 8), desenvolvido a partir de uma parceria entre a Gray Insurance Company e a Universidade Tulane (Nova Orleans – Luisiana – EUA).

Foi utilizado componentes comerciais, customizado de acordo com as necessidades. Isso permitiu o desenvolvimento rápido de uma plataforma bastante confiável (Trepagnier, Nagel, Kinney, Koutsougeras, & Dooner, 2006).



Figura 11 - Veículo KAT-5 quarto no DARPA Grand Challenge 2005

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kat-5_\(vehicle\)#/media/File:KAT5BEERBOTTLE0034.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Kat-5_(vehicle)#/media/File:KAT5BEERBOTTLE0034.jpg) acesso em dezembro de 2016

(Trepagnier, Nagel, Kinney, Koutsougeras, & Dooner, 2006)

O veículo TerraMax (Figura 12) foi o quinto colocado no DARPA Grand Challenge 2005. Foi desenvolvido pela Oshkosh Truck em parceria com Rockwell Collins e com a Universidade de Parma - Itália. Foi o único veículo na competição cuja missão era prover suporte logístico de carga.

UM dos pontos notáveis do TerraMax foi a o desenvolvimento de uma aplicação que monitorava o estado do sistema e, entre outras coisas era realizada uma verificação periódica da base de dados para prevenir possíveis erros e para recuperar dados caso algum erro fosse identificado (Braid, Broggi, & Schmiedel, 2006).



Figura 12 - Veículo TerraMax quinto no DARPA Grand Challenger 2005

Fonte: <https://commondatastorage.googleapis.com/low-res/Barstow-7.jpg> acesso em dezembro de 2016

(Braid, Broggi, & Schmiedel, 2006)

Em 2007 ocorreu o último evento patrocinado pela DARPA, denominado DARPA Urban Challenge. Naquele ano, onze veículos competiram sendo que seis completaram o percurso. Desses quatro completaram o percurso dentro do limite de tempo de seis horas e três veículos completaram o circuito em menos de cinco horas.

Os três primeiros colocados e respectivas equipes foram, nesta ordem:

1. Boss – Tartan Racing
2. Junior – Stanford Racing
3. Odin – VictorTango

Antes do início da competição cada equipe recebeu um arquivo em formato RNDF – *Road Network Definition File*, que representava o mapa digital do trajeto a ser percorrido. O arquivo continha: as informações sobre a geometria da via, a sinalização horizontal da pista, a sinalização vertical da pista em especial as placas de PARE, os locais de estacionamento e os pontos de fiscalização. Ao encontrar outros veículos, o veículo deveria respeitar às regras de trânsito (Montemerlo, Becker, Bhat, & Dahikamp, 2008).

Apesar dos resultados, todos os veículos apresentaram algum tipo de problema. O veículo Boss – Tartan Racing por duas vezes determinou incorretamente que precisava fazer uma curva em U; O veículo Junior – Stanford Racing apresentou uma falha e por conta disso, por duas vezes, andou em círculo em uma seção do percurso; o veículo Odin – VictorTango, devido a um erro do sistema GPS trafegou parcialmente fora da estrada em um determinado trecho do circuito. Ainda assim, estes veículos representaram o estado da arte dos veículos autônomos em 2007 (Urmson, Anhalt, Bagnell, & al., 2008).

O veículo Boss – Tartan Racing (Figura 13) foi desenvolvido pela Universidade Carnegie Mellon em parceria com a General Motors, a Caterpillar Inc, a Continental AG e a Intel Research. Nos primeiros testes realizados a equipe de desenvolvimento descobriu um grave problema que gerava um curto-circuito. O problema causava a interrupção total do sistema elétrico e, a consequente parada do veículo. Durante a competição, o veículo Boss passou a não receber os sinais do receptor GPS. Após análise, foi identificado que um telão do evento, próximo à área, bloqueava parcialmente o sinal. Após desligarem o telão, o veículo passou a receber o sinal GPS (Urmson, Anhalt, Bagnell, & al., 2008).



Figura 13 - Veículo da equipe Boss – Tartan Racing

Fonte: https://www.cmu.edu/news/archive/2007/November/nov4_tartanracingwins.shtml acesso em dezembro de 2016 - (Urmson, Anhalt, Bagnell, & al., 2008)

O veículo Junior (Figura 13) foi desenvolvido pela Universidade de Stanford, em parceria com a Bosh Research and Technology Center, a Volkswagen of América e a Intel Research.



Figura 14 - Veículo da equipe Junior – Stanford Racing

Fonte: http://news.stanford.edu/news/2007/november28/gifs/volks_junior.jpg acesso em dezembro de 2016

O veículo Junior – Stanford Racing tomava as decisões se utilizando de um sistema de processamento distribuído, que integrava a percepção do ambiente, o planejamento da rota e o controle de navegação. O veículo teve ótimo desempenho e nunca chegou a se aproximar do acostamento ou realizar uma conversão proibida. (Montemerlo, Becker, Bhat, & Dahikamp, 2008).

O veículo Odin (Figura 15) foi desenvolvido em conjunto pela TORC Technologies, a Embry-Riddle e pela Virginia Tech University.

A equipe gastou um tempo significativo dividindo o problema do Urban Challenge em áreas específicas. O subconjunto de problemas resultante orientou o projeto de arquitetura do programa geral. (Bacha, Bauman, & Faruque, 2008).

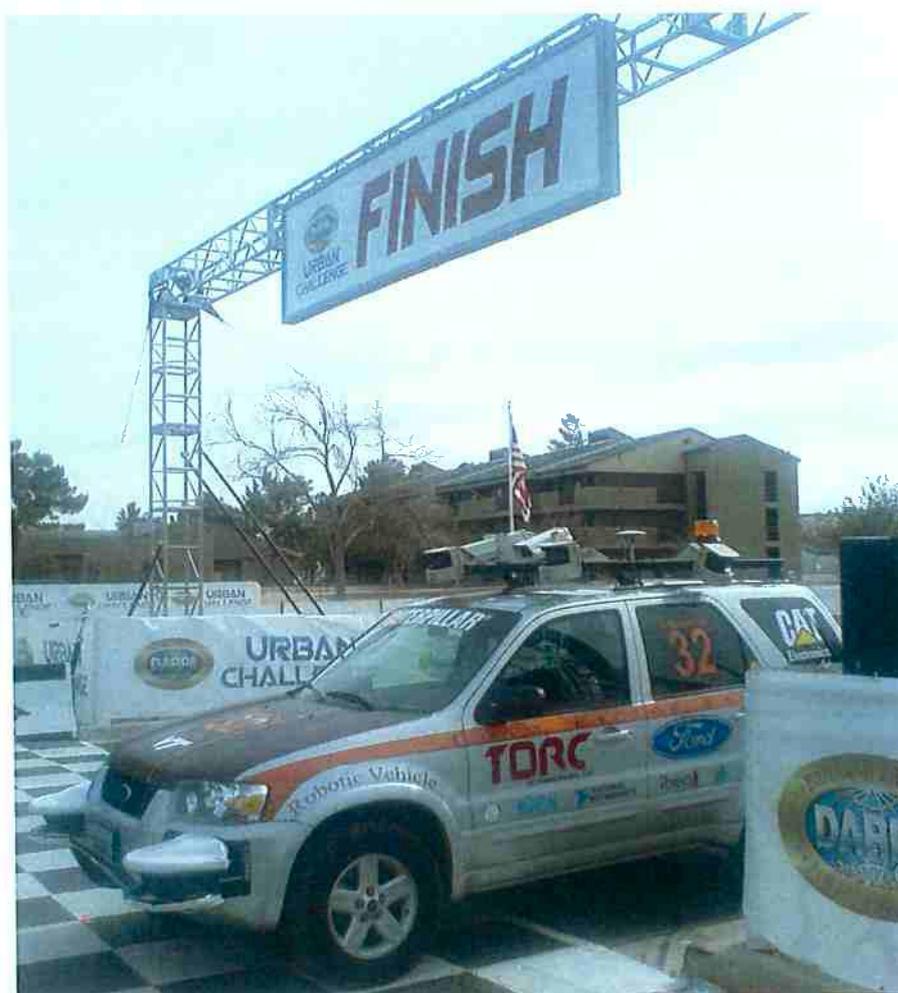


Figura 15 - Veículo da equipe Odin - VictorTango

Fonte: <http://teamvictortango.blogspot.com.br/> acesso em dezembro de 2016

(Bacha, Bauman, & Faruque, 2008)

Durante a competição o veículo Odin apresentou problemas com o alcance do sistema LIDAR - *Light Detection And Ranging*, obrigando o veículo a trafegar com uma velocidade reduzida. Mesmo assim, a equipe VictorTango recebeu ofertas da indústria e de grupos militares interessados em utilizar imediatamente a tecnologia desenvolvida (Bacha, Bauman, & Faruque, 2008).

2.1.3 Nos últimos 10 anos

Nos últimos anos, pós era das competições houve um grande desenvolvimento dos equipamentos e algoritmos utilizados na navegação autônoma assim como no desenvolvimento de veículos híbridos ou puramente elétricos.

Vários conceitos novos surgiram como por exemplo: o conceito de uma abordagem diferente para guiar veículos. O conceito imaginado era de um veículo remotamente controlado e não de um veículo autônomo. A central que controla o veículo também fica responsável pelo aprendizado que se comunica com a central através da internet ou via GPRS - General Packet Radio Service. O foco do artigo é para veículos elétricos mas, nada impede que a ideia seja adotada para outros tipos de veículo (Zhuang Ji-Hui, 2008).

Em Singapura foi desenvolvido UGV - Unmanned ground vehicle que tinha como ponto principal da pesquisa o sistema de navegação e posicionamento e o sistema de detecção e desvio de obstáculos. O sistema embarcado, descrito em (HeeChang Moon, 2009), consistia de quatro partes:

- Sistema de controle do veículo;
- Sistema de navegação do veículo;
- Sistema de detecção e desvio de obstáculos;
- Sistema de tomada de decisão.

No veículo desenvolvido foram testados duas opções para sistema de navegação, a saber: Foi utilizado o posicionamento absoluto e posicionamento diferencial DGPS. A equipe constatou que o posicionamento absoluto tinha alta

taxa de recepção e baixa acurácia na determinação da posição enquanto, o posicionamento diferencial DGPS tinha baixa taxa porém, possuía boa acurácia na determinação da posição (HeeChang Moon, 2009).

Foi realizado um experimento, em ambiente controlado (Figura 17) onde o veículo percorreu um percurso, com obstáculos fixos e móveis, de aproximadamente 500 metros. A condução foi estável devido ao caminho regular.



Figura 16 - Ambiente de teste na Universidade Keimyung.

“Vehicle” representa o veículo, “obstacle” os obstáculos (bolinhas vermelhas), e “START” o ponto de partida.

Fonte: adaptado de (HeeChang Moon, 2009)

O veículo era dotado de um sofisticado sistema integrado de detecção de obstáculos (Figura 17) que permitia monitorar simultaneamente a frente e as laterais do veículo a uma distância máxima de 20 metros (Figura 18).

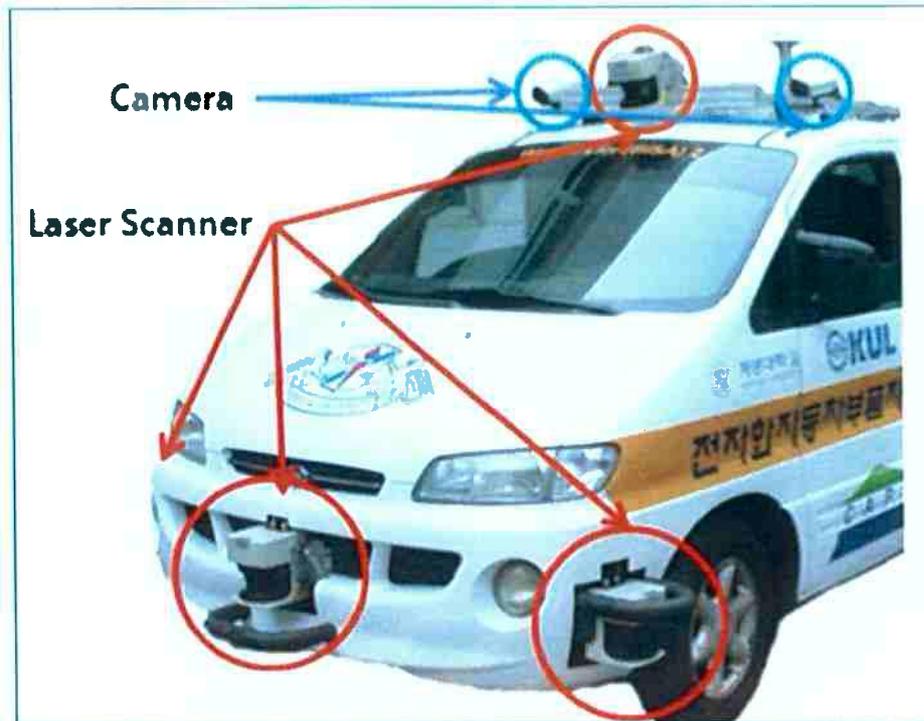


Figura 17 - Posição de montagem do laser scanner e câmera

Fonte: (HeeChang Moon, 2009)

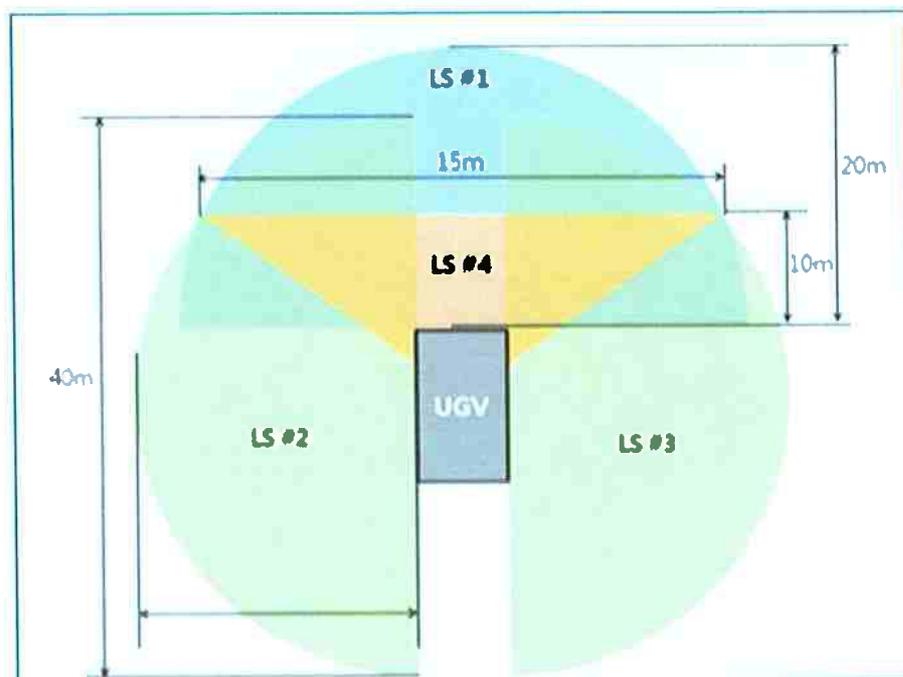


Figura 18 - Área de detecção de obstáculo para cada um dos laser scanner

Fonte: (HeeChang Moon, 2009)

Segundo os autores, os testes realizados demonstraram que o veículo poderia ser autoguiado, em ambiente urbano, com sucesso (HeeChang Moon, 2009).

Na Alemanha, em 2010, (Langerwisch, Reimer, Hentschel, & Wagner, 2010) descreveu um UGV com diversos mecanismos para operação remota. Ao contrário das abordagens comuns que adotam a comunicação via Wi-Fi (IEEE 802.11), a abordagem adotava a comunicação via enlace de rádio e na falta do mesmo, o veículo era capaz de se deslocar de forma semiautônoma.

O artigo apresentou o veículo denominado RTS-HANNA (Figura 19) e propôs a teleoperação como solução para o controle do veículo, quando o mesmo não estava no raio de visão do operador remoto (Langerwisch, Reimer, Hentschel, & Wagner, 2010).

Os sensores utilizados pelo veículo (Figura 19) para identificar o ambiente à sua volta incluíam sensores laser 2D, 3D, e dispositivo GPS e uma câmera. Para diminuir o volume dos dados transmitidos pelos sensores laser, foi utilizada uma técnica chamada Virtual 2D Scan. Para navegação do veículo, o operador definia a rota em um mapa e esta, era submetida ao veículo, que seguia a rota planejada e informava ao operador dados sobre ambiente e sobre a sua posição e estado (Terrence Fong, 2001), (John Ebken, 2005) e (J. Kay, 1995).



Figura 19 - Veículo UGV RTS-HANNA

Fonte: (Langerwisch, Reimer, Hentschel, & Wagner, 2010)

O sucesso da aplicação foi demonstrado no ELROB 2008 - *European Land Robot Trial* (M-ELROB 2008: Results, 2008) e (C-ELROB 2009: Results, 2009).

Em Portugal, (Hentschel & Wagner, 2010) demonstraram a aplicação de um projeto gratuito e de código aberto denominado OSM - *OpenStreetMap*. Os dados do OSM são compostos de informações sobre as ruas, as rodovias, as ferrovias, as hidrovias, os pontos de interesse, o tipo de uso do solo, as construções, entre outros. Este projeto utiliza as informações do OSM para localizar o veículo em ambiente urbano e, para planejar a trajetória do mesmo.

Foram realizados dois experimentos a saber: um para efetuar a localização, utilizando o contorno das quadras/construções e outro focado no planejamento de rotas utilizando os dados das vias.

O veículo utilizado no experimento foi um Kawasaki Mule 3010 que tinha embarcado: um par de laser scanners 3D giratórios, modelo RTS-ScanDriveDuo que cuidavam da percepção do ambiente à volta; e um laser scanner, modelo Ibeo Lux 3D que foi utilizado para detecção frontal de obstáculos. O veículo também carregava três computadores embarcados com sistema operacional Linux para processamento em tempo dos dados dos dados dos sensores.

Na Figura 19 a linha em azul representa o resultado da localização utilizando o mapa cadastral da região e, a linha vermelha representa o resultado utilizando as representações do OSM. Ambos são similares na forma, mas não coincidentes. Segundo os autores, as informações incorretas na construção da base do OSM foram responsáveis pelas diferenças encontradas.

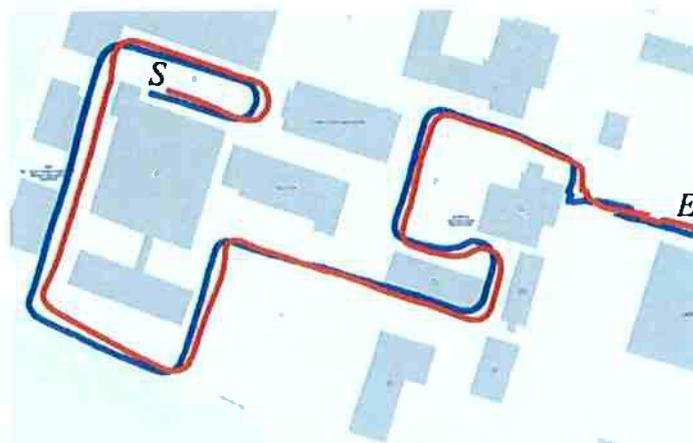


Figura 20 - Resultados de localização com mapa cadastral e OSM

Fonte: (Hentschel & Wagner, 2010)

Dado os pontos de partida e de chegada (Figura 19) pode-se observar o caminho planejado (em azul) e o caminho executado pelo veículo (em vermelho). Segundo os autores, os resultados indicam que os dados do OSM não são tão detalhados como em produtos comerciais similares mas, apresenta um bom nível de detalhamento. Citam ainda, que um benefício seria a possibilidade do próprio veículo explorar o ambiente e contribuir com informações para alimentar o OSM.



Figura 21 - Resultados de planejamento de rota com OSM e a rota executada

Fonte: (Hentschel & Wagner, 2010)

Na mesma época, nos Estados Unidos da América Thrun (2010) estabeleceu um novo paradigma para o desenvolvimento de veículos autônomos, e detalhou os pontos chave restantes para esta tecnologia. O autor cita que há mais de 800 milhões de carros nas ruas ao redor do mundo e, mesmo com a importância dos automóveis, não houve grandes inovações nas últimas décadas. Além disso, cita que nos EUA morrem mais de 42 mil pessoas por ano em mais de 6 milhões de acidentes de trânsito. Os congestionamentos consomem 3,7 bilhões de horas e aproximadamente 8,69 bilhões de litros de gasolina. Para finalizar constata que, em média, cada carro é usado menos de 4% do seu tempo de vida útil. Diz ainda, que o futuro aparenta ser de carros mais seguros e convenientes e que o verdadeiro potencial está no

compartilhamento, alugar um carro com o clique de um botão, e não precisar procurar vagas em estacionamentos será possível, mas que para isso, muito avanço ainda é necessário. (Thrun, Toward Robotic Cars, 2010).

Na Alemanha, (Hentschel & Wagner, 2011) apresentaram um modelo adaptativo de memória para navegação de longo prazo de robôs autônomos. Os autores definem navegação autônoma como a combinação das seguintes tarefas: localização, planejamento de rota e controle do veículo. Afirmam que para solucionar o problema da navegação, consideram necessário o conhecimento prévio sobre o ambiente, sendo este geralmente dado (Urmson, Anhalt, Bagnell, & al., 2008) ou construído usando abordagens SLAM (Sprickerhof, Nüchter, Lingemann, & Hertzberg, 2009). No projeto que desenvolveram, foi assumido um mundo estático para tanto, os objetos do ambiente foram divididos em três tipos:

- Dinâmicos (como pessoas ou veículos em movimento);
- Semi-estáticos (como árvores ou carros estacionados);
- Estáticos (objetos que não se movem).

Definiram ainda, três tipos de armazenamento, seguindo o mesmo conceito da memória do ser humano, a saber:

- Memória sensorial;
- Memória de curto prazo;
- Memória de longo prazo.

Para o experimento utilizaram o iRobot Roomba (Figura 19).



Figura 22 - O sistema do iRobot Roomba evitando o degrau

Fonte: <http://www.irobot.com/For-the-Home/Vacuuming/Roomba.aspx> acesso em janeiro de 2017

A aquisição de dados, e o processamento dos algoritmos de navegação foram realizados por um computador embarcado, modelo *AMD Geode LX800* rodando o sistema operacional *Linux/Xenomai*.

O mapa do ambiente (Figura 23) foi carregado na memória do sistema. As linhas pretas delimitam a área para localização, a linha azul representa a rota a ser executada, e os quadrados vermelhos indicam marcadores no chão para referência.

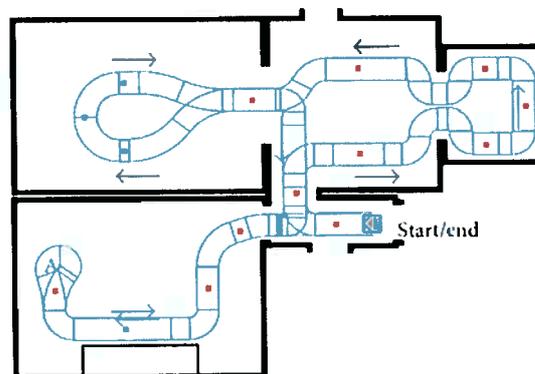


Figura 23 - Conhecimento do ambiente inicial dado ao iRobot

Fonte: (Hentschel & Wagner, 2011)

Os obstáculos deverão ser aprendidos automaticamente.

O iRobot realizou a operação por 28 dias neste ambiente, de forma completamente autônoma. No início do experimento o ambiente estava completamente estático e, ao passar dos dias, a equipe realizou mudanças no ambiente como por exemplo: a inserção de obstáculos, a presença de pessoas e, a mudança de posição de alguns obstáculos existentes. O resultado é apresentado na Figura 24, onde pode-se notar que a memória de longo prazo (LTM – Long Term Memory) é limitada pelos obstáculos estáticos. Pode-se notar as faixas brancas onde não havia obstáculos ou que os mesmos tenha sido removidos, indicando o que o iRobot detectou no ambiente as obstruções e as regiões livres e registrou em sua memória de longo prazo.

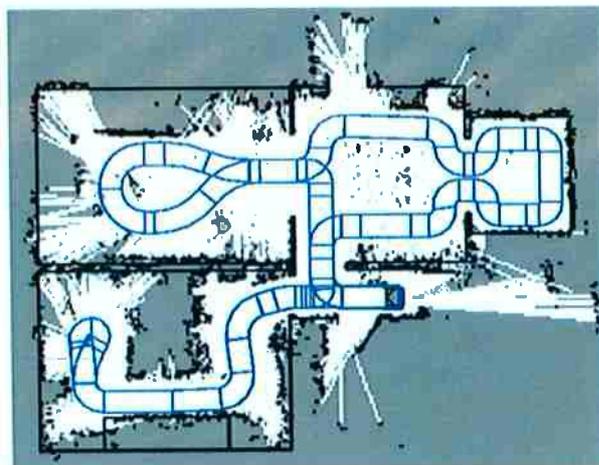


Figura 24 - Representação do ambiente depois do sétimo dia

Fonte: (Hentschel & Wagner, 2011)

Um outro trabalho publicado em 2011 foi o da competição realizada em 2010, na Austrália, denominada *MAGIC – Multi-Autonomous Ground-robotic International Challenge* patrocinada em conjunto pelo *ADD - Australian Department of Defence* e o *DoD - Department of Defense* dos EUA. A competição foi organizada pelo *DSTO - Defence Science and Technology Organization, divisão científica do ADD* para demonstrar os avanços no desenvolvimento de veículos autônomos não tripulados para propósitos de defesa. O objetivo principal dos veículos seria o de auxiliar as forças terrestres no reconhecimento de áreas urbanas. Os veículos deveriam, de forma colaborativa, mapear o local com segurança e eficiência, e detectar, classificar e possivelmente neutralizar objetos estáticos e móveis de interesse. Para tanto,

havia veículos de dois tipos. O primeiro tipo tinha como missão a identificação do ambiente, o mapeamento e o reconhecimento da situação; e o segundo, os chamados *disruptors*, para neutralização de objetos de interesse (alvos inimigos). Outra regra era que os veículos do segundo tipo (*disruptors*) não poderiam contribuir com o mapeamento.

Antes da competição a equipe organizadora divulgou edital internacional convidando as equipes a se inscreverem. Foram selecionados 10 projetos que receberam o valor de 50 mil dólares para desenvolver o conceito. Em seguida, foram selecionados cinco projetos que receberam mais 50 mil dólares para desenvolver o projeto. (Autonomous technologies work wonders at MAGIC 2010, 2011).

A competição em si levou um total de cinco dias sendo que a principal regra foi: altos níveis de autonomia eram recompensados e, a intervenção humana penalizada (Autonomous technologies work wonders at MAGIC 2010, 2011).

Ao final foram distribuídos prêmios de 750 mil, 250 mil, e 100 mil aos vencedores (Figura 24) para investirem no desenvolvimento de seus projetos.



Figura 25 - Equipe de competidores que participaram da competição MAGIC 2010 na Austrália

Fonte: (Autonomous technologies work wonders at MAGIC 2010, 2011)

Em Maio de 2011, foi organizado o GCDC - Grand Cooperative Driving Challenge pela Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) em conjunto com o programa de inovação da Dutch High Tech Automotive System (HTAS) na Holanda. O foco estava em desenvolver veículos capazes

de seguir outro de forma cooperativa (Figura 24), conhecido como CACC - Cooperative Adaptive Cruise Control (PLOEG, 2012).

O conceito de veículos que seguem outros existe há décadas, uma das primeiras publicações data de 1966. Uma abordagem frequentemente adotada é a de pelotão, onde os veículos têm dinâmica conhecida e um líder. Para o GCDC, um líder natural não precisa estar presente, um mecanismo de negociação pode determinar o líder. O verdadeiro desafio a ser resolvido é o alto grau de confiabilidade e segurança, com baixo investimento (PLOEG, 2012).

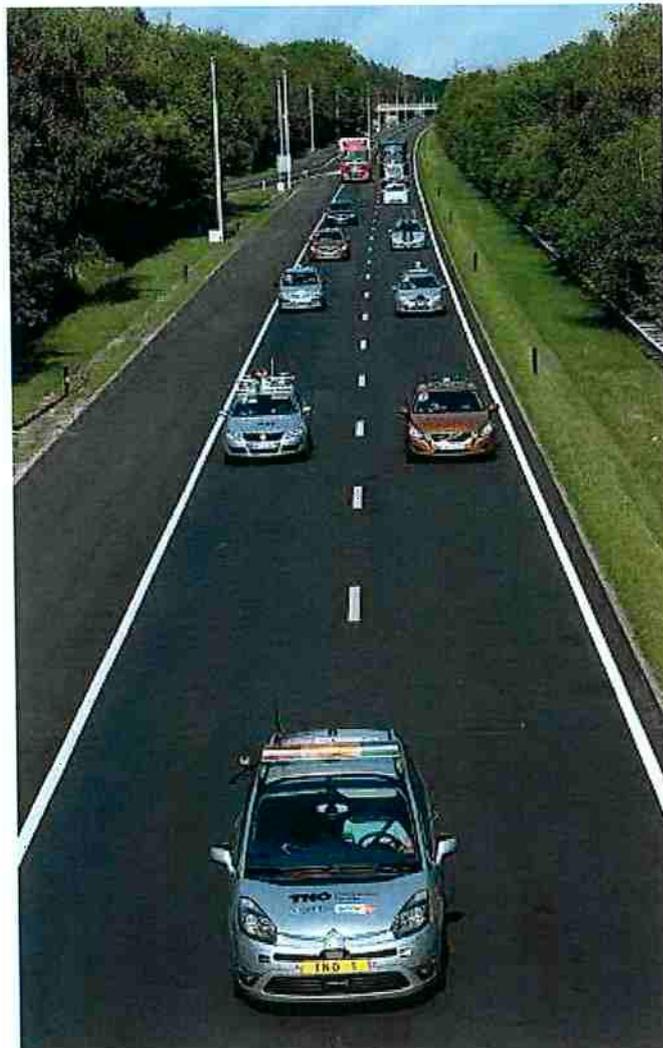


Figura 26 - Participantes do Grand Cooperative Driving Challenge

Fonte: (PLOEG, 2012)

O conceito de veículos que seguem outros existe há décadas, uma das primeiras publicações data de 1966. Uma abordagem frequentemente adotada é a de pelotão, onde os veículos têm dinâmica conhecida e um líder. Para o GCDC, um líder natural não precisa estar presente, um mecanismo de negociação pode determinar o líder. O verdadeiro desafio a ser resolvido é o alto grau de confiabilidade e segurança, mantendo os custos baixos. Estes, no GCDC, foram especificados apenas a nível funcional, deixando a implementação para os participantes, o que levou a várias soluções diferentes (PLOEG, 2012).

O evento mostrou que era possível projetar e implementar um sistema de cooperação entre veículos em cenários de tráfego. A avaliação das várias soluções foi percebida como útil, por permitir a interação direta entre os pesquisadores. Entre as falhas identificadas, uma das mais importantes seria a habilidade para lidar com dados falhos ou perdidos de outros veículos (PLOEG, 2012).

2.1.4 Atividades no Brasil

No Brasil também existem iniciativas de grupos de pesquisa que se envolveram com veículos autônomos. Os grupos mais citados estão na UFES - Universidade Federal do Espírito Santo, na Universidade Federal de Minas Gerais e na EESC - Escola de Engenharia de São Carlos - USP - Universidade de São Paulo.

Será dado destaque ao grupo da EESC-USP que através do INCT SEC - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos tem reunido um grande grupo de instituições e de pesquisadores.

O grupo da EESC-USP usou como plataforma um Carryall 232 da companhia Clubcar (Figura 24) que foi denominado **CaRINa** - Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma. Entre as razões da escolha estava a boa dinâmica e cinemática do veículo e a facilidade para realizar modificações mecânicas. Foram realizadas alterações mecânicas para permitir o controle da direção, do acelerador e do freio pelo computador de bordo. O controle de velocidade é

determinado por um sistema criado pelo fabricante do veículo, que mapeia a posição do acelerador, convertendo em variação de voltagem para o motor elétrico. Após sucessivas falhas para gerar esse sinal artificialmente, o melhor resultado foi atingido utilizando um potenciômetro analógico. O sistema de freio utiliza um atuador linear LINAK LA12 200N. Além disso, o veículo está equipado com dois lasers Sick LMS 291, um suporte para câmara, e mais dois lasers de suporte Hokuyos UTM-30LX, cujos raios cobrem as laterais traseiras do veículo. Outros dispositivos incluem GPS, bússola e um *encoder* HEDS 5700, responsável por prover os dados utilizados para odometria. (Fernandes, et al., 2012)



Figura 27 - Veículo CaRINa
Fonte: (Fernandes, et al., 2012)

O framework¹ utilizado foi o Player, um programa para pesquisas em robótica que oferece um modelo cliente/servidor, um ambiente de simulação e bibliotecas para localização, mapeamento e controle. Um *plugin* foi criado para o CaRINa I dentro do *Player* para controlar e monitorar o veículo. Devido a limitações do framework Player foi utilizado em conjunto o ROS - *Robotic Operating System*. Apesar do nome, trata-se de um *middleware*² orientado a

¹ Conjunto de códigos comuns entre vários projetos, fornecendo uma funcionalidade mais genérica.

² Um programa de computador que faz a mediação entre software e demais aplicações.

serviço. Um dos objetivos seria desenvolver os componentes de software de maneira modular, permitindo a execução em sistemas distribuídos. Apesar da importância de testes reais, ferramentas de simulação permitiram verificar o funcionamento do sistema em circunstâncias muito próximas às reais, e sem riscos de segurança. Com essa justificativa, foram criados modelos 2D e 3D do veículo CaRINa I para simulação utilizando os programas Stage e Gazebo, ambos compatíveis com Player e ROS - *Robotic Operation System*. (Fernandes, et al., 2012).

Entre as funcionalidades necessárias ao sistema, estão:

- Reconhecer sinais de trânsito, pedestres e outros veículos;
- Corrigir sua localização e manter-se na via;
- Fazer qualquer manobra de forma segura.

Em resumo, seguir integralmente o CTB - Código de Transito Brasileiro. Para o desenvolvimento destas tarefas complexas, inspirado por (Montemerlo, Becker, Bhat, & Dahikamp, 2008) e (Urmson, Anhalt, Bagnell, & al., 2008), foi criada uma arquitetura de referência. Na data da publicação do artigo (2012), alguns elementos, em especial os de alto nível ainda estavam na fase de desenvolvimento.

Em julho de 2011 foi adquirido o CaRINa II (Fiat Palio Adventure Dualogic) que, segundo a equipe, possibilitará testes experimentais em situações de transito urbano e em maior velocidade. Em abril de 2012 foram realizados os primeiros testes de controle computacional (*drive by wire*) do CaRINa II (*Figura 24*), com a pretensão de explorar técnicas mais avançadas como por exemplo; o uso de redes neurais artificiais (ANN – *Artificial Neural Network*) indicando, em testes preliminares, a possibilidade do veículo autônomo replicar o comportamento humano (Souza, Pessin, Shinzato, Osorio, & Wolf, 2011).



Figura 28 - Veículo CaRINA II

Fonte: (Projeto CaRINA, 2014)

2.1.5 Adaptação da Legislação de Trânsito

Nos anos mais recentes, devido ao envolvimento das grandes montadoras (Mercedes, Volvo, Ford, Audi, Tesla, etc.) e da Google no desenvolvimento de veículos autônomos foi necessário iniciar um processo de adequação da legislação. Vários países estão discutindo a adequação da legislação. Nos Estados Unidos vários estados já aprovaram mudanças na referida legislação. A **Error! Reference source not found.** mostra a situação em janeiro de 2014, quando teve início a adequação da legislação americana e a **Error! Reference source not found.** mostra a situação em dezembro de 2016 para os diferentes estados americanos. Pode-se observar que houve um aumento considerável de estados que aprovaram modificações na legislação para atender a demanda.

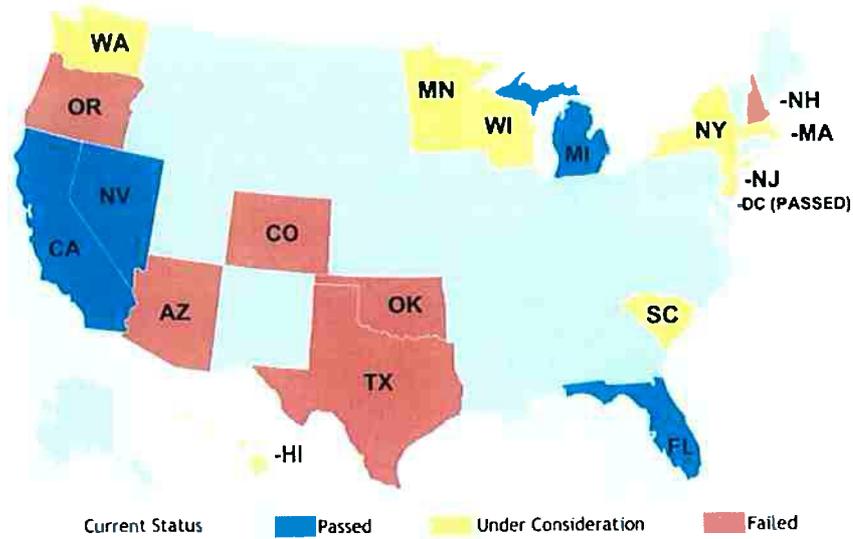


Figura 29 - Situação, em 01/2014 dos estados americanos quanto a adequação da legislação de trânsito

Fonte: <http://cyberlaw.stanford.edu/wiki/index.php/File:Statusmap14small.jpg> acesso em dezembro de 2016

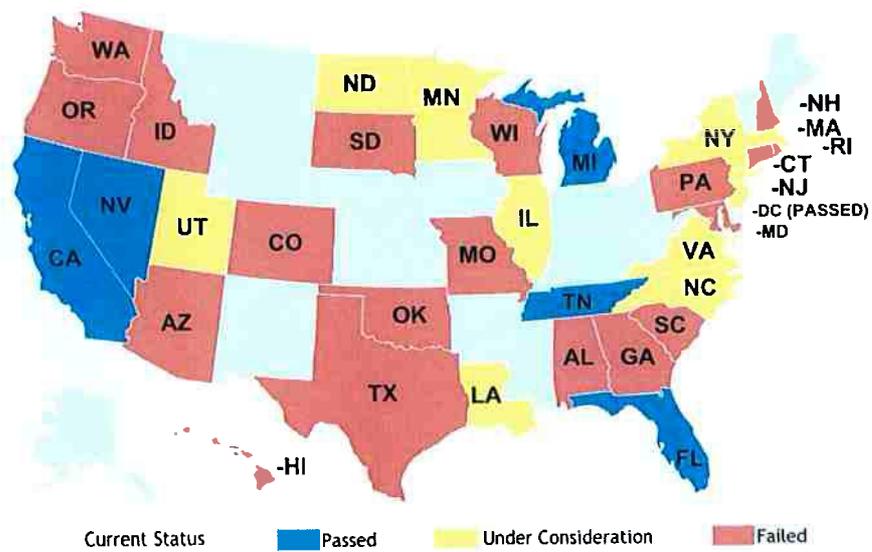
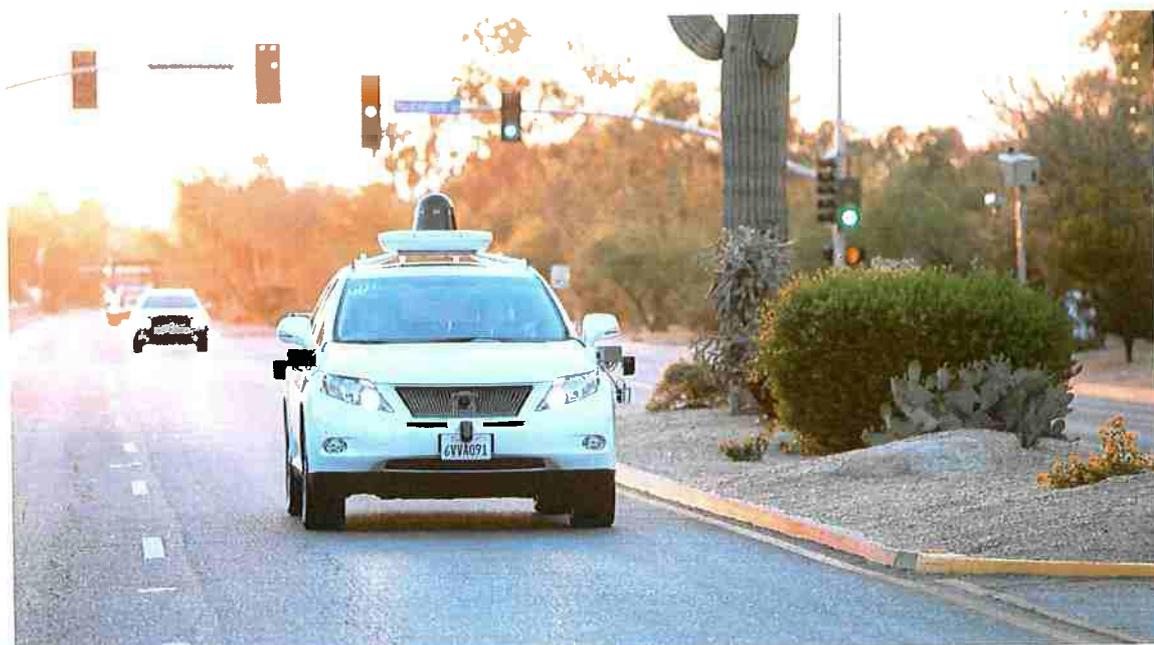


Figura 30 - Situação, em 12/2016 dos estados americanos quanto a adequação da legislação de trânsito

Fonte: <http://cyberlaw.stanford.edu/wiki/images/0/06/Statusmap14small.jpg> acesso em dezembro de 2016

Cabe dizer, para fechar este capítulo que as grandes montadoras de veículos estão investindo pesadamente nas tecnologias que tornarão os veículos autônomos. Muitas das tecnologias necessárias já estão disponíveis no mercado porém, por uma questão de concorrências entre as montadoras não são divulgados os desenvolvimentos que estão alcançado para que o mesmo não seja copiado. Assim, não foi possível detalhar o que cada montadora está investindo par tornar os seus veículos autônomos. Até mesmo a Google, que havia iniciado o desenvolvimento de veículos autônomos acabou de repassar esta iniciativa para uma nova empresa denominada Waymo. Tal empresa continua realizando testes nas cidades de Mountain View - Califórnia, desde 2009 e na cidade de Austin - Texas desde 2015. Em 2016 a empresa passou a realizar testes em mais duas cidades americanas a saber: Kirkland - Washington e Metro Phoenix - Arizona. Em geral eles estão realizando experimentos com dois veículos distintos, sendo o primeiro um veículo comercial da marca Lexus (**Error! Reference source not found.**) adaptado e o segundo um protótipo de veículo autônomo (**Error! Reference source not**



found.)

Figura 31 - Veículo modelo Lexus RX450 h transitando de forma autônoma
Fonte: <https://waymo.com/ontheroad/> acesso em janeiro de 2017



Figura 32 - Veículo Protótipo da empresa Waymo transitando de forma autônoma
Fonte: <https://waymo.com/ontheroad/> acesso em janeiro de 2017

Segundo informações obtidas no sítio da Waymo (<https://waymo.com/>) os veículos em testes já percorreram mais de 3.704.000 km entre 2009 e 2016. No mesmo sítio pode-se encontrar informações sobre o número de morte no mundo que em 2014, alcançou o número de 1, 25 milhões. Nos Estados Unidos da América, no mesmo ano, morreram 32675 pessoas. Outra informação alarmante é o aumento do número de mortes em 2015 de 7,2% que o maior incremento dos últimos 50 anos. Nos Estados Unidos da América 94% dos acidentes são causados por escolhas erradas ou mesmo por erro do motorista. Em 2014 o número de mortes por erro humano foi causado pelos seguintes fatores: por excesso de velocidade morreram 9262 pessoas; por causa da ingestão de bebidas alcoólicas morreram 9967 pessoas; Morreram ainda 3179 pessoas devido a distração do motorista e 846 pessoas perderam a vida devido ao sono do motorista. Tais números podem ajudar em uma justificativa para se desenvolver veículos autônomos.

3 A pesquisa no âmbito do GIGA

Neste capítulo será apresentado o resumo das dissertações ou teses que resultaram das pesquisas realizadas na área de navegação autônoma no âmbito do GIGA.

3.1 Dissertações de mestrado defendidas

Neste item serão apresentados: o nome do autor, a data da defesa, o título da dissertação, o resumo da pesquisa desenvolvida e o link onde a mesma pode ser encontrada.

3.1.1 Defesas ocorridas em 2011

- Autor: Fabio Luiz Albarici

Data da defesa: 08 de abril de 2011

Título:

Posicionamento Relativo: Análise dos Resultados Combinando as Observáveis L1 dos Satélites GPS e SBAS

Resumo:

Veículos autônomos são objeto de crescente estudo em todo o mundo. Face à Engenharia de Transportes, é tema que deve provocar uma revolução nas próximas décadas, pois é concreta a tendência ao uso destes veículos na sociedade. Podem-se citar como grandes beneficiados a segurança, a logística, o fluxo de trânsito, o meio ambiente e também os portadores de deficiências. Com o objetivo de fazer um veículo atingir um ponto com coordenadas conhecidas de forma autônoma, uma plataforma veicular terrestre em escala foi utilizada, a qual recebeu um sistema computacional micro controlado e tecnologias para proporcionar mobilidade através de motores elétricos para tração e servo-motores para direcionamento; posicionamento por satélite através de receptor GNSS e bússola eletrônica para orientação;

sensoriamento por ultrassom para evitar colisões; e comunicação sem fio, a fim de se realizar remotamente monitoramento e instrução em tempo real através de um aplicativo para computador pessoal (PC). Foi desenvolvido um algoritmo de navegação que, fazendo uso dos recursos disponíveis, proporcionou autonomia ao veículo, de forma a navegar para pontos com coordenadas conhecidas sem controle humano. Os testes realizados visaram avaliar a capacidade de autonomia do veículo, a trajetória de navegação realizada e a acurácia de chegada aos pontos de destino. O veículo foi capaz de atingir os pontos em todos os testes realizados, sendo considerado funcional seu algoritmo de navegação e também os sistemas de mobilidade, posicionamento, sensoriamento e comunicação.

Palavras-chave:

Veículos autônomos. Veículos terrestres não tripulados. GNSS. Sistemas de navegação autônoma.

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01062011-135146/pt-br.php>

- Autor: Luiz Felipe Sartori Gonçalves

Data da defesa: 15 de abril de 2011

Título:

Desenvolvimento de Sistema de Navegação Autônoma por GNSS

Resumo:

Veículos autônomos são objeto de crescente estudo em todo o mundo. Face à Engenharia de Transportes, é tema que deve provocar uma revolução nas próximas décadas, pois é concreta a tendência ao uso destes veículos na sociedade. Podem-se citar como grandes beneficiados a segurança, a logística, o fluxo de trânsito, o meio ambiente e também os portadores de

deficiências. Com o objetivo de fazer um veículo atingir um ponto com coordenadas conhecidas de forma autônoma, uma plataforma veicular terrestre em escala foi utilizada, a qual recebeu um sistema computacional micro controlado e tecnologias para proporcionar mobilidade através de motores elétricos para tração e servo-motores para direcionamento; posicionamento por satélite através de receptor GNSS e bússola eletrônica para orientação; sensoriamento por ultrassom para evitar colisões; e comunicação sem fio, a fim de se realizar remotamente monitoramento e instrução em tempo real através de um aplicativo para computador pessoal (PC). Foi desenvolvido um algoritmo de navegação que, fazendo uso dos recursos disponíveis, proporcionou autonomia ao veículo, de forma a navegar para pontos com coordenadas conhecidas sem controle humano. Os testes realizados visaram avaliar a capacidade de autonomia do veículo, a trajetória de navegação realizada e a acurácia de chegada aos pontos de destino. O veículo foi capaz de atingir os pontos em todos os testes realizados, sendo considerado funcional seu algoritmo de navegação e também os sistemas de mobilidade, posicionamento, sensoriamento e comunicação.

Palavras-chave:

Veículos autônomos. Veículos terrestres não tripulados. GNSS. Sistema de navegação autônoma.

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072011-162537/pt-br.php>

3.1.2 Defesas ocorridas em 2012

- Autor: Caio Domingues Reina

Data da defesa: 13 de abril de 2012

Título:

Roteirização de Veículos com Janela de Tempo utilizando Algoritmo Genético

Resumo:

O componente de planejamento faz parte do projeto de desenvolvimento dos veículos autônomos, e é responsável por gerar rotas para o sistema como um todo. Em aplicações em que o veículo deve visitar pontos em intervalos de tempo pré-determinados, o componente de planejamento se enquadra em um problema de roteirização conhecido da literatura, denominado problema de roteirização de veículos com janelas de tempo. Tal problema é uma generalização do problema clássico de roteirização de veículos classificado no grupo de problemas NP-*Hard*. Esse trabalho apresenta uma proposta de solução para o problema baseada na metaheurística algoritmo genético. Os cromossomos foram representados pela ordem de atendimento dos clientes sem delimitadores de rota. Para quebrar os cromossomos em rotas, foi utilizado um procedimento adaptado baseado em Prins (2004). A população inicial se constitui por uma parte construída com cromossomos criados aleatoriamente e outra parte construída através da heurística de inserção I1 de Solomon (1987), com quatro formas diferentes de inserir o primeiro cliente de cada rota. Na fase de recombinação, foram utilizados quatro tipos de crossover: uniforme, dois pontos, heurístico e PMX, e um operador de mutação baseado em uma busca heurística. A cada geração foram aplicados princípios de elitismo e pós-otimização utilizando a heurística λ -*interchange* de Osman (1993). O algoritmo foi testado nos conjuntos C1, C2, R1, R2, RC1 e RC2 de Solomon (1987) e os resultados foram comparados com os melhores resultados encontrados na literatura.

Palavras-chave:

transporte rodoviário, roteirização, algoritmos genéticos.

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-06062013-162636/pt-br.php>

3.1.3 Defesas ocorridas em 2013

- Autor: Anderson Morais Mori

Data da defesa: 17 de maio de 2013

Título:

O uso de Sistema Inercial para apoiar a Navegação Autônoma

Resumo:

A proposta deste trabalho é contribuir com a construção de uma plataforma de veículo autônomo para viabilizar as pesquisas na área pelo Departamento de Engenharia de Transportes da USP.

Até o momento o departamento dispõe de uma plataforma que, a partir de sua posição conhecida, consegue navegar autonomamente até um ponto de destino utilizando apenas uma solução GNSS, no caso, GPS.

Para ampliar a mobilidade da plataforma, está sendo sugerida aqui, a adição de sensores inerciais ao veículo, para que ele consiga obter uma solução de posição mesmo em áreas sem cobertura GNSS. Um Sistema de Navegação Inercial não depende de infraestrutura externa, exceto para inicializar suas variáveis, o que neste caso pode ser feito com auxílio de um receptor GPS.

Sensores inerciais de alto desempenho são caros, tem alta complexidade mecânica e em geral são de grande porte. A alternativa é o uso de sensores do tipo MEMS que são pequenos, fáceis de serem manipulados e apresentam baixo consumo de energia. A contrapartida é que a solução é mais susceptível a ruído do que seus pares que custam na faixa de centena de milhões de dólares.

Palavras-chave:

Navegação Inercial, Veículo Autônomo, INS, IMU, Sensores MEMS

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-26062014-114414/pt-br.php>

3.1.4 Defesas ocorridas em 2014

- Autor: Rodrigo de Sousa Pissardini

Data da defesa: 15 de setembro de 2014

Título:

Veículos Autônomos de Transporte Terrestre: Proposta de Arquitetura de Tomada de Decisão para Navegação Autônoma

Resumo:

Veículos autônomos terrestres são um tipo de veículo motorizado guiado de forma autônoma por um sistema computacional, sem necessidade de intervenção humana. Esta pesquisa analisa a Tomada de Decisão autônoma necessária para este tipo de veículo, assim como os processos de navegação e as estruturas de dados que a suportam. Sobre esta análise propõe-se uma arquitetura de Tomada de Decisão para navegação autônoma baseada em dois ideias principais: a sistematização das fontes de dados com as quais o veículo deve interagir em sua navegação em uma hierarquia de prioridades de tratamento e o desenvolvimento de uma estrutura de dados chamada de Grade de Prioridades que permite definir para qual região do ambiente o veículo deve se locomover. Para suportar a arquitetura, formaliza-se um conjunto de processos recomendados de navegação robótica (percepção, posicionamento, planejamento e estratégia de movimento), organizados para suportar a integração com recursos de outras pesquisas do segmento da Robótica Móvel. Para validação da arquitetura, desenvolve-se um sistema de navegação robótica, integrada à uma plataforma robótica real, e realiza-se um conjunto de testes para simular o comportamento da arquitetura em situações de navegação específicas.

Palavras-chave:

Robótica. Veículos especiais. Carros robóticos. Navegação autônoma.

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-26082015-161805/pt-br.php>

- Autor: Lucas Juliano Spinola Costa

Data da defesa: 05 de dezembro de 2014

Título:

Técnica de Localização em Ambientes Fechados Utilizando Padrões de Redes Sem Fio

Resumo:

Localizar objetos ou pessoas no interior de um edifício é de grande interesse. Contudo, diferentemente do que ocorre no exterior de edificações, não há metodologia consagrada para a determinação da posição desses entes nos edifícios. Para o posicionamento em locais abertos existem tecnologias consolidadas, como GNSS (*Global Navigation Satellite System*), a dificuldade em fazê-lo em interiores é maior. Nesses casos, o GNSS não pode ser utilizado, pois os sinais de rádio dos satélites não conseguem penetrar através das estruturas, enquanto que outras tecnologias são apenas incipientes nesse quesito. Abordagens habituais para a resolução dessa demanda têm se baseado na utilização de propagadores das ondas de rádio do GNSS, no uso da potência de sinais de redes sem fio ou, ainda, no emprego de transmissores infravermelhos. No entanto, uma técnica diferente pode ser empreendida para essa finalidade. Usando-se a assinatura das potências de rádio das redes sem fio nas imediações e no interior da edificação, é possível criar um mapa com base nesses sinais, permitindo a determinação da posição de um objeto. No presente trabalho foram desenvolvidos um sistema para geração do mapa de sinais, com critério de parada e um método de cálculo de posicionamento. Procedeu-se, também, à análise de quatro critérios para o cálculo final da posição do objeto, baseados no uso da distância euclidiana com os conjuntos de roteadores disponíveis. Concluiu-se que, quando o mapa de sinais é pequeno, o posicionamento fracassou. Entretanto, quando a quantidade de

sinais geradores do mapa aumenta, os resultados apresentaram melhora significativa, com resultados próximos a 100% de assertividade. Desse modo foi possível determinar uma estimativa boa para o número mínimo de roteadores presentes na base e estabelecer um critério de parada para a fase de criação do mapa de sinais.

Palavras-chave:

Posicionamento em interiores; Indoor Positioning; Wireless Fingerprint; Location Based Services (LBS)

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-13072016-161143/pt-br.php>

3.1.5 Defesas ocorridas em 2015

- Autor: Daniel Chin Min Wei

Data da defesa: 16 de junho de 2015

Título:

Método de desvio de obstáculos aplicado em veículo autônomo

Resumo:

A operação de veículos autônomos necessita de meios para evitar colisões quando obstáculos não conhecidos previamente são interpostos em sua trajetória. Algoritmos para executar o desvio e sensores apropriados para a detecção destes obstáculos são essenciais para a operação destes veículos.

Esta dissertação apresenta estudos sobre quatro algoritmos de desvio de obstáculos e tecnologia de três tipos de sensores aplicáveis à operação de veículos autônomos. Após os estudos teóricos, um dos algoritmos foi testado para a comprovação da aplicabilidade ao veículo de teste.

A etapa experimental foi a realização de um programa, escrito em linguagem de programação Java, que aplicou o algoritmo Inseto 2 para o desvio de obstáculos em uma plataforma robótica (Robodeck) com o uso de sensores ultrassônicos embarcados na referida plataforma.

Os experimentos foram conduzidos em ambiente fechado (*indoor*), bidimensional e horizontal (plano), fazendo o Robodeck executar uma trajetória. Para os testes, obstáculos foram colocados para simular situações variadas e avaliar a eficácia do algoritmo nestas configurações de caminho.

O algoritmo executou o desvio dos obstáculos com sucesso e, quando havia solução para a trajetória, ela foi encontrada. Quando não havia solução, o algoritmo detectou esta situação e parou o veículo.

Palavras-chave:

Veículo Autônomo, Desvio de Obstáculos, sensor ultrassônico.

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-17062016-142254/pt-br.php>

3.2 Tese de doutorado defendida

Neste item serão apresentados: o título da tese, o nome do autor, a data da defesa e o resumo da pesquisa desenvolvida.

3.2.1 Defesas ocorridas

- Autor: Wagner Carrupt Machado

Data da defesa: 20 de junho de 2012

Resumo:

Dentre as técnicas de posicionamento utilizando os sistemas de navegação por satélite globais (GNSS - *Global Navigation Satellite Systems*), merece destaque a que utiliza dados de uma rede de estações GNSS para gerar estações de

referência virtuais. Desde que as estações da rede não estejam separadas por mais de 100 km e o receptor do usuário esteja dentro da região interna à rede de referência, esta técnica de posicionamento pode proporcionar posicionamento com precisão melhor que 10 cm a usuários de receptores de uma frequência. No entanto, o posicionamento em tempo real pode ser inviabilizado caso ocorra problema de comunicação com as estações da rede de referência. Tendo em vista a relação do conteúdo total de elétrons (TEC - *Total Electron Content*) com o atraso ionosférico de primeira ordem, esta pesquisa apresenta uma forma de se prever 72 horas do TEC na direção vertical (VTEC - *Vertical Total Electron Content*) regionalmente com a arquitetura de redes neurais artificiais (RNA) denominada perceptrons de múltiplas camadas (MLP – *MultiLayer Perceptrons*). A metodologia de previsão do VTEC proposta foi empregada na geração de estações de referência virtuais, onde arquivos de previsão do atraso troposférico zenital, produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram utilizados para considerar o atraso provocado pela atmosfera neutra e as efemérides previstas pelo serviço internacional do GNSS (IGS - *International GNSS Service*) foram empregadas para calcular a posição dos satélites. As RNA foram treinadas e avaliadas com dados de VTEC extraídos dos mapas da ionosfera globais (GIM - *Global Ionospheric Map*) produzidos pelo IGS e dos arquivos produzidos com o software Mod_Ion, ambos no formato IONEX (*IONosphere Map EXchange*), mostrando que o VTEC pode ser previsto por 72 horas com diferença média quadrática (RMS – *Root Mean Square*) que varia de 1,2 unidades de TEC (TECU - *TEC Units*) a 12,5 TECU, em baixa e alta atividade solar, respectivamente. Dezoito linhas de base, localizadas no oeste do Estado de São Paulo, foram calculadas utilizando estações de referência virtuais e estações de referência reais, verificando-se que o posicionamento relativo tridimensional empregando a metodologia proposta apresentou RMS de aproximadamente 46 cm. Quando avaliada no posicionamento absoluto preciso (PPP – *Precise Point Positioning*), o RMS relacionado com o posicionamento tridimensional foi de 26 cm.

Palavras-chave:

GNSS, redes neurais artificiais, estação de referência virtual, ionosfera, atmosfera neutra

Link:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08022013-155136/pt-br.php>

4 Artigo Publicados a partir das pesquisas realizadas no âmbito do GIGA

Este capítulo apresenta artigos publicados e/ou apresentados e submetidos que estão correlacionados com a navegação autônoma. Todos os artigos aqui indicados estão apresentados no memorial do autor e por conta disso, não foram aqui reproduzidos.

4.1 Artigos Publicados em Jornais, Revistas ou Boletins Técnicos Nacionais:

TRABANCO, J.L.A.; AMARENTE, R.R.; COSTA, D.C.; FRANCOSE, M.T.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** AVL system with smart transmission rate. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. v. 6, pp. 997-1006, 2012.

MACHADO, W.C.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** Redes neurais artificiais aplicadas na previsão do VTEC no Brasil. *Boletim de Ciências Geodésicas (Impresso)*, v. 19, pp. 227-246, 2013.

MACHADO, W.C.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** Avaliação do modelo de pressão e temperatura global da Universidade de Viena com dados de sensores meteorológicos no Brasil. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 1, pp. 23-28, 2013.

VAZ, J.A.; PISSARDINI, R.S.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** Comparação da cobertura e acurácia entre os sistemas GLONASS e GPS obtidas de uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo. *RBC - Revista Brasileira de Cartografia (Online)*, v. 65, pp. 529-539, 2013.

COSTA, L.J.S.; LOFRANO, F.C.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** A proposition of an indoor positioning system using non-dedicated wireless fingerprint. *Revista IEEE América Latina*, v. 13, pp. 2043-2047, 2015.

ALMEIDA FILHO, F.G.V. de; YOSHIZAKI, H.T.Y.; CUNHA, C.B. da; **FONSECA JUNIOR, E.S.** KIYOTA, A.S.; Aplicação da técnica PPP para a obtenção do posicionamento na cabotagem no Brasil: estudo de caso. *Boletim de Ciências Geodésicas (Online)*, v. 22, pp. 526-541, 2016.

4.2 Capítulos de Livros

MACHADO, W.C.; ALBARICI, F.L.; **FONSECA JUNIOR, E.S.**; MONICO, J.F.G.; POLEZEL, W.G.C. The impact of adding SBAS data on GPS data processing in southeast of Brazil: preliminary results. S. Kenyon et al (eds.) Geodesy for Planet Earth, International Association of Geodesy Symposia 136, 2012, pp. 733-738. DOI 10.1007/978-3-642-20338-1-91, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,

KOPKE, M.H.; MORI, A.M.; WEI, D.C.M.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** Solução para deslocamento de veículos autônomos baseado em GPS-RTK. In: Seção 1 - Gestão de Tráfego, Segurança e Prevenção de Acidentes. Márcio de Almeida D'Agosto, Lísia Carla Almeida Jacques, Cintia Machado de Oliveira. (Org.). 1ed. Rio de Janeiro: ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino e Transportes, 2014, v. 1, pp. 53-63.

4.3 Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos Nacionais

PISSARDINI, R.S.; WEI, D.C.M.; **FONSECA JUNIOR, E.S.** Veículos autônomos: conceitos, histórico e estado-da-arte. In: Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 27, 2013, Belém. Anais da ANPET - Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 27. São Paulo: ANPET, 2013, pp. 1-13.

WEI, D.C.M.; PISSARDINI, R.S., **FONSECA JUNIOR, E.S.** Convergência de veículos inteligentes e veículos autônomos. In: Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 27, 2013, Belém. Anais da ANPET - Encontro Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 27. São Paulo: ANPET, 2013, pp. 1-11.

4.4 Resumos Publicados em Anais de Congressos Nacionais

FONSECA JUNIOR, E.S.; SCHAAL, R.E. Dispositivo para verificação da qualidade de recepção de sinais de GPS. In: XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio

de Janeiro, 1997. SBC - Sociedade Brasileira de Cartografia, 1997, Rio de Janeiro, Livro Resumo dos Trabalhos do XVIII CBC. pp. 1-1.

4.5 Trabalhos Completos Publicados em Anais de Congressos Internacionais

MACHADO, W.C.; FONSECA JUNIOR, E.S. VTEC prediction at Brazilian region using artificial neural networks. In: 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GNSS 2011, 2011, Portland. Proceedings of 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2011. pp. 2552-2560.

4.6 Trabalhos Submetidos para Publicação

PISSARDINI, R.S.; FONSECA JUNIOR, E.S. Informações geográficas voluntárias: conceitos, revisão da literatura e estado-da-arte. In: Revista Brasileira de Cartografia. 2016. pp 1-17.

PISSARDINI, R.S.; FONSECA JUNIOR, E.S. Um modelo de integração de dados e tomada de decisão para veículos autônomos. In: Revista Ciência & Engenharia. 2016. pp. 1-9.

PISSARDINI, R.S.; OLIVEIRA, R.H.; VAZ, J.A.; ALMEIDA FILHO, F.G.V.; FONSECA JUNIOR, E.S. O problema do posicionamento para transporte terrestre no ambiente urbano. In: Revista Brasileira de Geomática. 2016. pp. 1-13.

5 Considerações Finais

O autor procurou reunir neste documento todas as atividades que tratam da aplicação da Geomática na navegação autônomo. Tais atividades se iniciaram com a criação do GIGA mas, de fato os primeiros resultados começaram a surgir apenas em 2011 e portanto, este documento cobre um período de 7 anos e aborda uma porção grande da obra do autor .

Após 7 anos na área de navegação autônoma pode-se perceber que ainda há muitos desafios a serem vencidos para que o veículo autônomo seja uma realidade nas ruas deste Brasil gigante. O maior problema, sem dúvida, é a necessidade de se formar equipes multidisciplinares para que todos os aspectos que envolvem um veículo autônomo sejam analisados e soluções encontradas. Neste sentido será necessário estabelecer parcerias com outros grupos dentro da Escola Politécnica, dentro da USP – Universidade de São Paulo e mesmo com grupos de outras instituições.

Vamos esquecer este problema de natureza política e focar agora em aspectos de natureza técnica e que deverão ser enfrentados para que o veículo autônomo seja realidade no futuro. Hoje já é possível comprar um veículo com vários sistemas que auxiliam o motorista e que podem contribuir para a redução de acidentes. As tecnologias embarcadas nos veículos de hoje atuam como um copiloto eletrônico alertando ao motorista por exemplo; veículo reduzindo a velocidade a frente. Neste caso alguns veículos acionam um alerta sonoro e outros já atuam no freio fazendo com que o veículo reduza a velocidade ou pare, caso seja necessário. Outro exemplo é o fato do veículo permanecer em uma mesma faixa de rolamento e até executar curvas de forma segura e sem a intervenção do motorista. Há ainda o acionamento automático da seta de direção quando o motorista gira a direção para um lado ou para outro com a intenção de mudar de faixa. Uma tecnologia já utilizada em veículos é o sistema automático que realiza manobras para estacionar o veículo. Todos esses desenvolvimentos levarão o veículo a uma total autonomia e conseqüentemente não será mais necessário haver um motorista para conduzir o veículo.

Deve-se ter em mente que todo este desenvolvimento vai necessitar de muitos investimentos do poder público que deverá prover vias com pavimentos adequados, sinalização vertical e horizontal em perfeita ordem, sistema de monitoramento da via e envio de alertas entre tantas outras coisas. Ai, está o maior problema. Como um país que enfrenta uma série de problemas de ordem política, econômica e administrativa poderá garantir um mínimo de serviço. No início se pensava que o veículo autônomo teria embarcado todos os sensores e sistemas necessários para uma navegação autônoma segura. Com o passar dos anos se percebeu que seria necessário que a via também fosse monitorada e que enviasse alertas aos veículos. Já se pode afirmar que o veículo autônomo (sem volante e sem pedais) será uma realidade mas, não é possível afirmar quando eles vão ocupar todas as vias do mundo. É bem provável que em alguns países da Europa e mesmo nos Estados Unidos os veículos autônomos se tornem uma realidade em menos de 10 anos. No Brasil, não se pode dizer isso pois, ainda enfrentamos problemas para manter em boas condições o pavimento de grande parte das estradas para não falar no problema de sinalização vertical e horizontal. Além disso, deverá existir um período onde haverá a convivência de veículos autônomos com veículos com motorista. A pergunta é: como será a convivência entre ambos? Pode-se imaginar que não será nada tranquila considerando que o veículo autônomo será programado para obedecer todas as regras de trânsito e isso poderá irritar motoristas apressados que poderão causar acidentes. Para que essa transição ocorra de forma ordenada será necessário investir em educação para que o motorista entenda e respeite as regras de trânsito.

Passado o período de transição imagina-se que o veículo autônomo reinará absoluto nas vias de todo o mundo mas, ainda assim teremos problemas que deverão ser enfrentados.

Pode-se imaginar uma montadora europeia que desenvolveu um veículo que, ao identificar pedestres, realiza um procedimento de parada total. Como esse veículo vai se comportar no Brasil, onde as pessoas atravessam a via fora da faixa e até com o sinal fechado para elas. Imagine ainda a situação de uma quadrilha se põe no meio da via sabendo que os veículos vão parar, poderão

realizar arrastões e provocar medo nos passageiros ou mesmo provocar acidentes.

Uma outra situação ainda não bem esclarecida e que poderá ocorrer é a possibilidade de e uma situação iminente de acidente e considerando que o veículo autônomo está programado para proteger seus passageiros que decisão ele vai tomar: colidir diretamente com um outro veículo de grande porte ou desviar e atropelar pessoas na calçada?

Uma via com sinalização horizontal adequada faz com que o veículo trafegue sem maiores problemas mas, se um trecho da via foi recapeada e a sinalização vertical ainda não foi refeita como o veículo vai proceder?

Em um cruzamento com semáforo basta o veículo respeitar a sinalização mas, se o semáforo estive apagado e o pior se o semáforo estiver com as luzes vermelha e verde acessas ao mesmo tempo qual atitude tomar?

Continuando com situações extremas poderíamos imaginar que caso um veículo entre em pane no meio da via como será o comportamento dos outros veículos e o que os passageiros vão fazer: permanecer no interior do veículo ou vão sair do mesmo e provocar um acidente.

Vários problemas vão ocorrer e alguns podem nem ter sido cogitado pelas equipes multidisciplinares que desenvolveram os veículos autônomos. Haverá um novo problema que é: identificado uma nova situação e que a mesma necessite ser incluída no programa que gerencia o veículo. Para tanto os veículos deverão ter o seu programa atualizado. Como garantir que todos vão receber a atualização do programa?

Há muitos desafios a serem enfrentados e a maior parte deles não é de natureza tecnológica e sim, de natureza jurídica e que deverão ser enfrentados.

No âmbito do GIGA as pesquisas devem continuar e deverão estar, na medida do possível, focadas no posicionamento do veículo. Para tanto o grupo está desenvolvendo pesquisas com receptores GNSS de baixo custo e que já rastreiem as novas constelações de satélites. Pretende-se também, incluir

sistemas inerciais do tipo IMU – Inertial Measurement Unit e também avançar nas pesquisas para o posicionamento *indoor*.

O desafio é enorme mas o grupo tem o compromisso de continuar pesquisando com vistas a formar pessoal capaz de atuar nesta área e que sabe desenvolver tecnologia nacional que poderá apoiar a navegação autônoma.

Referências Bibliográficas

A small list of IMU / INS / INU. (2013). Acesso em 16 de 10 de 2013, disponível em Damien Douxchamps: <http://damien.douxchamps.net/research/imu/>

A8: Tecnologia. (s.d.). Acesso em Julho de 2013, disponível em Audi: http://www.audi.com.br/br/brand/pt/models/a8/A8_new/equipment.html

Assis, P. d. (2009). *O que são Redes Neurais?* Acesso em 16 de 05 de 2014, disponível em TecMundo: <http://www.tecmundo.com.br/programacao/2754-o-que-sao-redes-neurais-.htm>

Autonomous technologies work wonders at MAGIC 2010. (2011). *DEFENCE SCIENCE AUSTRALIA*, 2 (1).

Bacha, A., Bauman, C., & Faruque, R. (2008). Odin: Team VictorTango's Entry in the DARPA Urban Challenge. *Journal of Field Robotics*, pp. 467-492.

Braid, D., Broggi, A., & Schmiedel, G. (2006). The TerraMax Autonomous Vehicle. *Journal of Fields Robotics*, pp. 693-708.

Cedatt, C. E. (Ed.). (2011). *Todos por um trânsito mais seguro* (1ª edição ed.). São Paulo: BB Editora.

C-ELROB 2009: Results. (2009). Acesso em 14 de 07 de 2013, disponível em ELROB: The European Robot Trial: <http://www.elrob.org/celrob/celrob2009/service/results.html>

Coelingh, E., & Solyom, S. (2012). All Aboard the Robotic Road Train. *IEEE Spectrum*, 49 (11), 26-31.

Fernandes, L. C., Souza, J. R., Shinzato, P. Y., Pessin, G., Mendes, C. C., Osório, F. S., et al. (2012). Intelligent Robot Car for Autonomous Navigation: Platform and System Architecture. *Second Brazilian Conference on Critical Embedded Systems*, pp. 12-17.

Fronho, J. (2013). *90% de acidentes são causados por falha humana.* Acesso em 15 de 04 de 2014, disponível em Portal de notícias de Três Lagoas: <http://www.hojemais.com.br/tres-lagoas/noticia/geral/90-de-acidentes-sao-causados-por-falha-humana>

Gonçalves, L. F. (2011). DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA POR GNSS. *Universidade de São Paulo* .

HeeChang Moon, J. L. (14-17 de 07 de 2009). Development of Unmanned Ground Vehicles available of Urban Drive. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics* , pp. 786-790.

Hentschel, M., & Wagner, B. (2011). An Adaptive Memory Model for Long-Term Navigation of Autonomous Mobile Robots. *Journal of Robotics* , pp. 1-9.

Hentschel, M., & Wagner, B. (19-22 de 09 de 2010). Autonomous Robot Navigation Based on OpenStreetMap Geodata. *Annual Conference on Intelligent Transportation Systems* , pp. 1645-1650.

Hernandez, E. D. (08 de 2005). Inteligência Computacional e Redes Neurais em Engenharia Elétrica. *Dep. de Eng. de Sistemas Eletrônicos PSI-EPUSP* .

Inertial measurement unit. (2013). Acesso em 14 de 10 de 2013, disponível em Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_measurement_unit

J. Kay, C. T. (1995). Operator Interface Design Issues In A Low-Bandwidth And High-Latency Vehicle Teleoperation System. *International Conference on Environmental Systems*.

John Ebken, M. B. (2005). Applying unmanned ground vehicle technologies to unmanned surface vehicles. *SPIE Proc. 5304: Unmanned Ground Vehicle Technology VII* , 29-31.

Jones, J. L. (2006). Robots at the Tipping Point: The Road to the iRobot Roomba. *IEEE Robotics & Automation Magazine* , 13 (Março de 2006), 76-78.

KITTI Vision Benchmark Suite. (2013). Acesso em 20 de 05 de 2014, disponível em cvlibs: <http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/>

Langerwisch, M., Reimer, M., Hentschel, M., & Wagner, B. (5-8 de 10 de 2010). Control of a Semi-Autonomous UGV using Lossy Low-Bandwidth Communication. *Second IFAC Symposium on Telematics Applications - TA2010* , pp. 43-49.

M-ELROB 2008: Results. (2008). Acesso em 14 de 07 de 2013, disponível em ELROB: The European Robot Trial: <http://www.elrob.org/melrob/melrob2008/service/results.html>

Montemerlo, M., Becker, J., Bhat, S., & Dahikamp, H. (2008). Junior: The stanford entry in the urban challenge. *Journal of Field Robotics* , 25, 569-597.

O'Toole, R. (2009). *Gridlock: Why we're stuck in traffic and what to do about it.* Washington, D.C. - EUA: Cato Institute.

PLOEG, J. e. (13 de 08 de 2012). Introduction to the Special Issue on the 2011 Grand Cooperative Driving Challenge. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* , pp. 989-993.

Pomerleau, D. A. (1989). ALVINN, an autonomous land vehicle in a neural network. *Advances in Neural Information Processing Systems 1* , pp. 305-313.

Projeto CaRIa. (2014). Acesso em 04 de 2014, disponível em Laboratório de Robótica Móvel - ICM/USP - São Carlos: http://www.lrm.icmc.usp.br/?page=projetos&projeto=carina_home

Shinzato, P. Y. (10 de 2010). Sistema de identificação de superfícies navegáveis baseado em visão computacional e redes neurais artificiais. *Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC-USP)* .

Shinzato, P. Y., Jr, V. G., Osorio, F. S., & Wolf, D. F. (3-7 de 06 de 2012). Fast visual road recognition and horizon detection using multiple artificial neural networks. *Intelligent Vehicles Symposium* , pp. 1090-1095.

Souza, J. R., Pessin, G., Shinzato, P. Y., Osorio, F. S., & Wolf, D. F. (2011). Vision based autonomous navigation using neural networks and templates in urban environments. *I Brazilian Conference on Critical Embedded Systems* , 55-60.

Sprickerhof, J., Nüchter, A., Lingemann, K., & Hertzberg, J. (2009). An explicit loop closing technique for 6D SLAM. *Proceedings of the 4th European Conference on Mobile Robots (ECMR'09)* .

Terrence Fong, C. T. (2001). Advanced Interfaces for Vehicle Teleoperation: Collaborative Control, Sensor Fusion Displays, and Remote Driving Tools. *11*, 77-85.

Thrun, S. (2010). Toward Robotic Cars. *Communications of the ACM*, 53 (4), 99-106.

Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., et al. (2006). Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge. *Journal of Fields Robotics*, pp. 661-692.

Trepagnier, P. G., Nagel, J., Kinney, P. M., Koutsougeras, C., & Dooner, M. (2006). KAT-5: Robust System for Autonomous Vehicle Navigation in Challenging and Unknown Terrain. *Journal of Field Robotics*, pp. 509-526.

Urmson, C., Anhalt, J., Bagnell, D., & al., e. (2008). Autonomous driving in urban environment: boss and the urban challenge. *Journal of Field Robotics*, 25 (8), 425-466 1556-4959.

Urmson, C., Ragusa, C., & Ray, D. (2006). A Robust Approach to High-Speed Navigation for Unrehearsed Desert Terrain. *Journal of Fields Robotics*, pp. 467-508.

Wang, C.-C., & Thorpe, C. (05 de 2002). Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects. *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*.

Wang, C.-C., Thorpe, C., & Thrun, S. (14-19 de 09 de 2003). Online Simultaneous Localization And Mapping with Detection And Tracking of Moving Objects: Theory and Results from a Ground Vehicle in Crowded Urban Areas. *International Conference on Robotics & Automation*, pp. 842-849.

Zhuang Ji-Hui, X. H. (3-5 de 09 de 2008). Remote Self-Learning of Driving Cycle for Electric Vehicle Demonstrating Area. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*.