

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JULIANE GONÇALVES LOPES

**DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS PARA NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS
TERRESTRES AUTÔNOMOS EM AMBIENTES SEMI-ESTRUTURADOS**

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA
FEVEREIRO - 2015

JULIANE GONÇALVES LOPES

**DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS PARA NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS
TERRESTRES AUTÔNOMOS EM AMBIENTES SEMI-ESTRUTURADOS**

Monografia apresentada ao Curso de
Ciência da Computação da
Universidade Estadual do Sudoeste da
Bahia – UESB, como pré-requisito
parcial para obtenção do Grau de
Bacharel em Ciência da Computação.
Orientador(a): Prof Dr. Roque Mendes
Prado Trindade

VITORIA DA CONQUISTA - BA

FEVEREIRO - 2015

JULIANE GONÇALVES LOPES

**DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS PARA NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS
TERRESTRES AUTÔNOMOS EM AMBIENTES SEMI-ESTRUTURADOS**

Monografia apresentada ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, como pré-requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação, sob orientação do professor Dr. Roque Mendes Prado Trindade.

Aprovado em ____ de _____ de 20__.

BANCA EXAMINADORA

ORIENTADOR: _____
Prof. Dr. Roque Mendes Prado Trindade - UESB

MEMBRO: _____
Prof^a Msc. Clênia Andrade Oliveira de Melo - UESB

MEMBRO: _____
Prof^a Dr^a Alexsandra Oliveira Andrade - UESB

Dedico este trabalho à minha família e às pessoas
que acreditaram na conclusão desse ciclo.

AGRADECIMENTOS

Sou eternamente grata a minha família, em especial à minha mãe pelo seu companheirismo e parceria, sem os quais certamente, o caminho seria bem mais difícil.

A todos os professores e professoras que contribuíram de alguma forma para minha formação.

Aos meus colegas e amigos que direta ou indiretamente, tornaram possível o fechamento desse ciclo.

Aos pesquisadores cujos trabalhos me ajudaram na construção desta pesquisa.

A Celina, que gentilmente simplificou todas as questões burocráticas inerentes à vida acadêmica.

Ao professor Roque, pela sua paciência, compreensão, estímulo, auxílio e exemplo de como se formar pesquisadores.

“Continue com fome, continue bobo.”

Steve Jobs

RESUMO

A robótica móvel e autônoma traz inúmeros desafios aos pesquisadores que se interessam por essa área. Capacitar um robô para tomar decisões sozinho é uma tarefa que inclui a análise de várias situações inerentes ao ambiente no qual os equipamento será inserido. Quando essas máquinas são destinadas a trafegar em ruas e locais onde o fluxo de veículos e pessoas é intenso, uma questão se torna relevante: a detecção de obstáculos. Inúmeros estudos foram realizados com o intuito de encontrar soluções para que veículos autônomos consigam trafegar de forma livre de colisões. As tecnologias usadas na implementação das soluções quase sempre estão associadas a alto custos financeiros. Encontrar uma alternativa ao mesmo tempo confiável e com baixo custo financeiro, para ser aplicada no robô que está sendo projetado pelo projeto VANT, incluiu pesquisa e estudo a fim de conhecer as tecnologias que foram e são mais utilizados pelos pesquisadores dessa área. O método de Visão Computacional Estéreo, foi o que demonstrou estar mais de acordo com as necessidades e prioridades do referido projeto. Como resultado desse esforço o presente trabalho é apresentado.

Palavras-chaves: Robótica Móvel. Veículos Autônomos. Detecção de Obstáculos. Visão Computacional. Visão Estéreo.

ABSTRACT

The mobile and autonomous robotics brings many challenges to researchers who are interested in this area. Enable a robot to make decisions alone is a task that includes analysis of various situations inherent to the environment in which the equipment will be inserted. When these machines are designed to travel in streets and places where the flow of vehicles and people is intense, a question becomes relevant: the detection of obstacles. Many studies have been conducted in order to find solutions for autonomous vehicles able to traffic collisions freely. The technologies used in the implementation of the solutions are almost always associated with high financial costs. Find an alternative at the same time reliable and low financial cost, to be applied to the robot that is being designed by the VANT project included research and study to know the technologies that have been and are mostly used by researchers in this field. The method of Computer Vision Stereo, which was shown to be more in line with the needs and priorities of the project .As a result of this effort the present work is presented.

Keywords: Mobile Robotics. Autonomous vehicles. Obstacle Detection. Computer Vision. Stereo vision.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Sensores para SLAM

31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CBT	Companhia Brasileira de Tratores
CTA	Centro Tecnológico da Aeronáutica
IA	Inteligência Artificial
CCD	<i>Charge Coupled Device</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Laser	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
Nasa	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PMR	Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos
Poli-USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Sonar	<i>Sound Navigation And Ranging</i>
SRI	<i>Stanford Research Institute</i>
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UnIFEI	Universidade Federal de Itajubá
VTA	Veículo Terrestre Autônomo
VTNT	Veículo Terrestre Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 OBJETIVO GERAL.....	15
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	16
2 ROBÓTICA MÓVEL.....	17
2.1 SENSORES.....	21
2.1.1 Sonar.....	21
2.1.2 Laser.....	21
2.1.3 Sensores de Imagem.....	22
2.2.3.1 CCD.....	22
2.2.3.2 CMOS.....	22
2.2 DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS.....	23
2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
3 VISÃO COMPUTACIONAL.....	27
3.1 VISÃO ESTÉREO.....	28
3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

O ser humano se diferencia no reino animal, entre outras características, pela sua capacidade de criação e de desenvolver alternativas que o auxiliem em suas necessidades. Sejam elas de lazer, locomoção, comunicação, o homem encontra possibilidades para driblar as dificuldades que lhe são apresentadas.

O ato de criar e utilizar as ferramentas foi e é de fundamental importância para a evolução humana, pois o homem cria as ferramentas e estas o modificam a medida que alteram suas possibilidades de interação entre si e/ou com o mundo que o cerca.

No início a roda, a tração por animais, posteriormente os motores, os automóveis dirigidos por pessoas e, atualmente veículos que sejam conduzidos de forma autônoma caminham para se tornar uma realidade. Muitos esforços vêm sendo direcionados para essa finalidade, pesquisas são realizadas e tem sido crescente o interesse de vários pesquisadores para encontrarem as soluções mais aplicáveis para que a condução autônoma se torne viável.

Para tanto, funcionalidades até então realizadas pelo condutor do veículo passarão a ser executadas pelo próprio robô móvel. Caberá ao sistema de condução embarcado no veículo, por exemplo, encontrar a melhor rota, identificar os sinais de trânsito, as faixas da pista, desviar de obstáculos, parar para evitar acidentes. Todas essas tarefas tem complexidade relevante, tendo em vista que os veículos deverão ser capazes de tomar decisões e que muitas delas podem incluir risco à vida dos que estiverem a bordo, bem como às pessoas que estiverem no ambiente.

Algumas pesquisas se encontram em estado avançado e testes estão sendo realizados para trazer os veículos autônomos terrestres para as ruas e estradas. Para que esses robôs possam trafegar algumas regras de trânsito precisaram ser adequadas. Algumas iniciativas, nesse sentido estão sendo viabilizadas.

Por serem, na maioria das vezes, construídos a partir de tecnologia de ponta e equipamentos sofisticados os custos financeiros ligados a produção desses veículos é alto. Por isso, podem demorar algumas décadas para que carros equipados com essa tecnologia estejam à venda e disponíveis para a maioria da população.

Os ambientes nos quais os robôs, normalmente, são inseridos podem ser: estruturados, não estruturados ou semi-estruturados. Estruturados são cenários dos quais as características são conhecidas, por exemplo, um laboratório. Não estruturados são locais onde pouca ou nenhuma informação é conhecida, exemplo, floresta. E semi-estruturados que são regiões das quais, segundo Pereira (2006), as características não são conhecidas por completo, por exemplo, uma estrada.

Quanto menos estruturado for o ambiente maior a possibilidade de que colisões aconteçam. Pois, num local estruturado as características são conhecidas e a rota do robô pode ser traçada de forma que os elementos do ambiente não se tornem obstáculos. Já em cenários não estruturados ou semi-estruturados elementos podem surgir com maior frequência e se tornarem obstáculos a trajetória do veículo.

A capacidade de desviar de obstáculos e evitar colisões sejam com outros veículos, pessoas, animais ou qualquer outro elemento, é muito útil, pois incorpora autonomia de deslocamento e de trajetória ao veículo.

Algumas alternativas existem para equipar os veículos para realizar essa tarefa. Cada uma delas se enquadra nas especificidades dos projetos como custo, robustez e precisão. E selecionar a que é mais apropriada à realidade do projeto é um trabalho que exige conhecimento das técnicas empregadas.

Entretanto, existe a possibilidade de buscar reduzir os custos de produção a partir do uso de tecnologias que possam substituir as que são mais caras. Nesse âmbito o atual trabalho se enquadra.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Veículos são usados há muitos anos para ajudar o ser humano nas suas tarefas referentes a transporte. Com o advento dos robôs no século XX as tecnologias que dotam essas máquinas de autonomia tiveram considerável ascensão. Esse desafio começou a ser resolvido em meados da década de quarenta. Alguns modelos já foram desenvolvidos e em alguns países o estudo das leis para regê-los está em andamento.

Por ser uma área tão abrangente e interdisciplinar desperta o interesse de inúmeros pesquisadores ao redor do mundo. No Brasil não é diferente, várias instituições estão envolvidas na construção de seus próprios veículos autônomos.

Nesse intuito foi criado o Projeto de Pesquisa em Veículo Autônomo Não Tripulados (VANT) do qual fazem parte docentes e discentes de instituições de ensino superior de Vitória da Conquista, UESB, FAINOR e IFBA, e da UFBA de Salvador.

Com o desafio de desenvolver um veículo terrestre autônomo de baixo custo, pesquisas estão sendo desenvolvidas pelo grupo a fim de encontrar as tecnologias mais adequadas. Uma parte importante na autonomia de um veículo é a sua capacidade de navegar sem que ocorram colisões com possíveis objetos que estejam à sua frente. Nesse sentido, qual a melhor tecnologia para detecção de obstáculos a ser implementada no veículo do Projeto de Pesquisa em Veículo Autônomo Não Tripulados (VANT)? Qual demandaria menores custos e melhores resultados?

É importante destacar que o presente trabalho visa contribuir com a base teórica da seleção de uma tecnologia para detecção de obstáculos. O presente estudo, não visa encerrar todas as possibilidades existentes na literatura, tendo em vista que esse seria um trabalho extenso e foge ao escopo de ser um trabalho de conclusão de curso de graduação. Entretanto, através da revisão bibliográfica, pretende-se apresentar uma alternativa teoricamente viável.

Como a implementação não faz parte do escopo desse trabalho, na prática a solução apresentada pode não ser tão apropriada e deve levar em consideração o tempo entre a construção deste estudo e a implementação no veículo, pois esse é um campo de estudo em franca expansão e novas tecnologias podem surgir.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para os robôs móveis é importante que o mesmo seja capaz de identificar os elementos que possam interferir no seu trajeto evitando assim possíveis colisões. Essa importância se torna ainda mais relevante quando se trata de equipamentos que estão sendo projetados para transporte de pessoas e para trafegarem em ambientes urbanos. O tamanho desses veículos também influencia, pois quanto maior a sua estrutura maiores os danos que podem causar, caso ocorra uma colisão.

Portanto, a detecção de obstáculos é crucial para um sistema de veículos autônomos, pois é um dos fatores que definem o quão segura e viável pode ser sua

utilização. Encontrar alternativas que possam ser eficazes e com custos financeiros menores é um desafio a qual o presente trabalho se propõe.

1.3 METODOLOGIA

A tarefa foi encontrar soluções que pudessem ser adequadas para auxiliar na detecção de obstáculos para um veículo terrestre autônomo que está sendo projetado a partir de materiais de baixo custo ou reuso de materiais. Foi uma atividade que demandou várias consultas a materiais disponíveis de forma física e virtual.

Na busca para encontrar a técnica mais viável foi realizada pesquisa exploratória bibliográfica, que não se restringiu a robôs móveis terrestres, a fim de conhecer as metodologias usadas em modelos diversos, e também para ter uma visão de como a robótica móvel está e como começou, para ter base para sugerir algo que fosse realmente significativo e viável.

A pesquisa de materiais que foram previamente avaliados e considerados coerentes por bancas de doutorado e mestrado, bem como por comissões de eventos e revistas científicas, nacionais e internacionais, proveu materiais com informações precisas e confiáveis para serem utilizadas no atual trabalho.

1.4 OBJETIVO GERAL

Selecionar entre as tecnologias disponíveis para detecção de obstáculos aquela que demandaria menores custos e melhores aproveitamentos para ser implementada no veículo do Projeto de Pesquisa em Veículo Autônomo Não Tripulados (VANT).

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar as tecnologias usadas para a detecção de obstáculos em veículos autônomos terrestres não tripulados;
- Selecionar aquelas que mostraram resultados satisfatórios para ambientes semelhantes;
- Escolher uma tecnologia que possa ser futuramente implementada.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 2 possui um breve histórico sobre a evolução da robótica móvel e algumas informações sobre os sensores mais utilizados para detecção de obstáculos. Na seção 2.2 é apresentado um panorama sobre a detecção de obstáculos citando artigos de diversos países.

No capítulo 3 estão dados considerados relevantes sobre a Visão Computacional e sobre a Visão estéreo.

2 ROBÓTICA MÓVEL

As primeiras ferramentas foram criadas pelo ser humano, na pré-história, com o intuito de encontrar formas menos difíceis para executar suas tarefas cotidianas. A busca continuou e hoje é possível ver, uma gama de ferramentas que auxiliam o ser humano nas mais diversas atividades. No último século, com o avanço da mecânica e da informática foi observado um salto da quantidade, bem como na qualidade e autonomia com as quais as ferramentas foram dotadas.

Segundo Hata (2010, p.1) é “interessante automatizar essas ferramentas de forma a adquirirem um alto grau de independência do homem”. Afinal, quanto mais autônomas as máquinas forem mais poderão contribuir para que o ser humano se desprenda de tarefas repetitivas; tornando-o mais livre para realizar o que o diferencia dos outros animais que é a capacidade de raciocínio.

Uma das ferramentas que surgiram no século XX foram os robôs e conforme Couto (2012, p.1) “apesar de sua popularização acelerada, a robótica é uma ciência relativamente recente.” A primeira máquina capaz de executar tarefas sem auxílio imediato do ser humano foi usada na indústria em 1961. O Unimate era “um braço robótico de quase duas toneladas que obedecia a sequências de comandos gravados para tarefas repetitivas e perigosas” (COUTO, 2012, p.1).

Essas “[...] máquinas flexíveis capazes de controlar suas próprias ações em uma variedade de tarefas utilizando uma programação armazenada”(GEVARTER, 1984 apud VIEIRA, 1999, p.10) são tão versáteis que ajudam o humano nas mais diversas áreas como, por exemplo, na indústria, medicina, nanotecnologia, agricultura, turismo, entre outras. Esse argumento é confirmado em Bueno et al. (2014, p.127):

A robótica congrega diferentes áreas do conhecimento e estende-se por diversos setores de aplicação, sendo fator de crescimento, competitividade e contribuindo para a qualidade de vida do ser humano

Com avanço de estudos da Inteligência Artificial (IA), que conforme Conci; Azevedo; Leta (2008, p. 5) trata-se da “área da ciência da computação em que programas de computador são desenvolvidos para simular a cognição”, essas

máquinas puderam ser dotadas cada vez mais de autonomia e mobilidade. Em 1969, foi apresentado pelo Artificial Intelligence Center do SRI Internacional, o Shakey, o primeiro robô móvel (NILSSON, 1984). Isso representou um avanço e foi conquistado pela união de esforços de diversos pesquisadores.

A medida que novos experimentos foram sendo bem-sucedidos novas funcionalidades foram incorporadas aos robôs, dentre elas convém citar o aumento da autonomia e mobilidade. No final da década de noventa, como resultado dos esforços conjuntos, foi lançado o Minerva e o Rhino, robôs usados para conduzir e possibilitar que pessoas que não estejam no museu possam ver as obras à distância. No Museu Nacional de História Americana do Smithsonian em Washington, Estados Unidos da América está o Minerva, e o Rhino atua no Deutsches Museum, em Bonn, Alemanha (THRUN et al., 2000).

Na última década os veículos não tripulados passaram a receber ainda mais atenção dos pesquisadores e vários modelos vem sendo desenvolvidos para os ambientes aéreos, aquáticos e terrestres.

Em 2004, segundo a DARPA Robotics Challenge (2014) foi criado pela Defense Advanced Research Projects Agency, agência do departamento de defesa dos Estados Unidos da América responsável pelo desenvolvimento de novas tecnologias para uso militar, uma competição na qual concorrem veículos terrestres autônomos. Os concorrentes são equipes compostas pelas organizações que possuem pesquisas e desenvolvimento mais avançados na área da robótica móvel.

No Brasil existem pesquisas para desenvolver veículos para os três ambientes e alguns veículos já estão em uso. Como por exemplo, o BQM-1BR, desenvolvido pelo Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) em parceria com a Companhia Brasileira de Tratores (CBT) no ano de 1982. Atualmente, esse veículo, projetado para ser pilotado à distância, se encontra no museu da TAM situado na cidade de São Carlos interior do Estado de São Paulo (MUSEU TAM, 2014). Em 2006, o projeto DRIVInG 4U, iniciado na Universidade Federal de Itajubá (UnIFEI) e continuado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), foi o primeiro no Brasil na área dos veículos terrestres autônomos não (BUENO; et al.; 2014).

O projeto Roaz, segundo Schmitt (2014), já possui protótipos com navegação por controle remoto. Em 2014 começou o desenvolvimento de um sistema de

navegação autônoma (SCHMITT, 2014). E o Pirajuba, projeto do Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos (PMR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), que desde 2008, se dedica ao desenvolvimento de veículo autônomo subaquático (ANDRADE, 2013).

Embora a pesquisa sobre condução autônoma de veículo no Brasil seja recente os avanços tem se mostrado significativos e, conforme Bueno; et al. (2014, p.133), “diferentes grupos têm se dedicado com competência ao tema e contribuído para a formação de profissionais e para o avanço do conhecimento nacional.”

Os robôs móveis podem ser classificados também quanto ao grau de autonomia podendo ser, conforme Couto (2012), autônomos, semi-autônômos ou tele operados. Autônomos não precisam da intervenção humana na condução, tele-operados são conduzidos de forma remota, (BEZERRA, 2007). E os semi-autônômos são controlados de forma remota, porém dispõem de alguma autonomia, por exemplo, podem parar para evitar colisão com algum obstáculo (JUNG et al., 2005).

O termo VANT já esteve associando genericamente a Veículos Autônomos Não Tripulados. Entretanto, nos últimos anos com a ampliação da condução autônoma, em especial no Brasil, esse termo vem sendo usado, segundo Friedmann (2013, p. 84) “para descrever genericamente veículos aéreos não tripulados”. No sítio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) bem como em Camargo e Gimenes (2014); Gardiman (2011); Menezes (2013); Santos (2010) a sigla também é usada para designar os veículos aéreos.

Para se referir aos Veículos Terrestres Autônomos Não Tripulados pode ser usada a sigla VTNT que embora ainda não seja de uso corrente é útil para evitar possíveis ambiguidades no entendimento (FRIEDMANN, 2013). Entretanto, uma redundância existe nessa sigla e pode ser subtraída. Tripulação diz respeito a condução (FERREIRA, 1999), conforme observado no dicionário da língua portuguesa. Um veículo que seja autônomo é um veículo que não depende de condutores. Então podem ser denominados Veículos Terrestres Autônomos (VTAs) essa sigla aparece em Fuccille (2014) na Revista da Sociedade Brasileira de Computação. E será usada nesse trabalho.

As vantagens que os VTAs podem trazer são muitas dentre elas: salvar vidas,

utilização mais eficaz de recursos (economia com o treinamento de motoristas), comodidade e maior autonomia para pessoas idosas, portadoras de necessidades especiais e/ou impossibilitadas de dirigir os veículos convencionais, maior segurança no trânsito (os veículos autônomos serão construídos para seguir as regras e leis de trânsito, evitando assim possíveis acidentes), poder ir onde o ser humano não poderia sem colocar em risco a sua vida, ou seja, em “ambientes inacessíveis ou perigosos” (HATA, 2010, p. 4). Além de todas as vantagens citadas para o meio civil, no âmbito militar esses veículos podem ser úteis em operações de guerra, resgate, etc.

Outro ambiente no qual os veículos autônomos são promissores é a exploração e reconhecimento do universo. Em julho 2003 os modelos Spirit e Opportunity da Nasa que foram enviados para explorar o planeta Marte em janeiro de 2004 e antes deles em 1997, o Sojourner pousou em solo Marciano (JUNG; et al., 1995). Na lua os veículos não tripulados chegaram bem antes, Surveyor começou a explorar o terreno lunar em 1966 (VIEIRA, 1999).

Os diversos benefícios motivam pesquisadores a se dedicarem para tornar viável a utilização desse tipo de tecnologia. Embora as dificuldades de projetos sejam muitas como, por exemplo, a necessidade de fazer com que esse veículo autônomo consiga captar as informações relevantes no meio em que se encontra e processá-la de forma eficiente para efetuar em tempo real uma ação nos seus controles. Segundo Miranda Neto (2011, p. 4) “o desafio de construir métodos robustos, e, na maioria dos casos, sistemas de tempo real, está longe de ser alcançado”.

Um robô é um sistema inteligente e para tomar decisões observa o meio no qual se encontra inserido. Para isso são utilizados sensores como: infra-vermelho, ultrassom, *laser*, sistema de GPS (*Global Positioning System*), CCD, CMOS, etc. (MURPHY, 2000). A forma que um veículo móvel tem para receber informações do ambiente no qual está inserido é a partir de dados coletados pelos sensores exteroceptivo (COUTINHO, 2014; MURPHY, 2000). Logo a atividade de percepção do meio externo será feita por tipos específicos de sensores. Como será visto nos próximos tópicos tanto sensores ativos quanto passivos podem ser utilizados para a tarefa de detectar obstáculos, cada tipo com suas vantagens e limitações.

2.1 SENSORES

Os sensores são partes essenciais nos robôs, pois é através do tratamento dos dados coletados por eles que os robôs podem obter informações a respeito do meio no qual está inserido.

Na literatura, conforme pode ser observado na seção 2.3, foram encontradas alternativas de uso da tecnologia disponível para ajudar robôs autônomos na tarefa de percepção, em especial para a detecção de obstáculos. Dentre as ferramentas encontradas as mais usadas foram sensor laser, sonares e câmeras. Nos próximos subtópicos uma breve explicação sobre eles.

2.1.1 Sonar

Sonar (*Sound Navigation And Ranging*) ou sensor ultrassônico inicialmente utilizado para submarinos, na pesca, na medicina através da ecografia; com o advento da robótica passou a ser usado para navegação de robôs móveis (REIS, 1999). Pode ser passivo, escutam os sons emitidos, ou ativo. O ativo é mais usado para detecção de distâncias e possui funcionamento semelhante ao do laser porém a energia enviada ao ambiente pelo ultrassom é o som. Logo, um pulso sonoro é emitido e o tempo entre essa ação e o retorno do eco é a base para detectar a existência de um obstáculo (HATA, 2010; PEREIRA, 2006).

2.1.2 Laser

Sensores Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é um sensor do tipo ativo, pois emite energia, e o retorno desta é usado para calcular a informação disponível (COUTINHO, 2014). A energia que este tipo de sensor emite é um pulso de luz, e a distância que o objeto está em relação ao sensor é medida, através do tempo gasto para que o feixe de luz seja refletido, ou seja, voltar para o sensor (COUTINHO, 2014; MEGDA, 2011).

Podem realizar leituras planares ou 3D, porém os últimos possuem preços elevados e a precisão é inferior às dos 2D, ou seja, planares (HATA, 2010). A dificuldade em detectar superfícies que não refletem a luz, como o vidro e redes, e a

detecção de folhas e galhos de árvores, que são de fácil transposição (COUTO, 2012; HATA, 2010) e os altos custos financeiros, configuram algumas desvantagens para o uso dessa tecnologia para detecção de obstáculos.

2.1.3 Sensores de Imagem

Nas câmeras digitais comuns são usadas, atualmente, duas tecnologias que são os sensores CCD e CMOS. A seguir serão apresentadas breves descrições desses sensores.

2.2.3.1 CCD

CCD (*Charge Coupled Device*) possui células sensíveis a luz, logo quando um espectro luminoso incide é por elas captado e são produzidas cargas elétricas proporcionais à quantidade de luz recebida. Ou seja, essas células convertem fótons em elétrons (BONATO, 2004). Essas células são dispostas em forma de uma matriz, composta por linhas e colunas (GONZALEZ; WOODS, 2010).

O baixo custo financeiro e a grande quantidade de informações captadas; além de, segundo Buscariollo (2008), qualidade e rapidez para captação de vídeo, poucos ruídos e boa sensibilidade. São algumas das causas para que esses sensores sejam, de acordo com Gonzalez e Woods (2010), bastante utilizados em equipamentos que utilizam sensores de luz. Tais como, câmeras fotográficas digitais e *scanner*.

A iluminação e a temperatura do sensor influenciam na quantidade de ruído, que pode ser gerado na aquisição da imagem (GONZALEZ; WOODS, 2010). E podem representar limitações à sua utilização.

2.2.3.2 CMOS

CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) tem funcionamento semelhante ao CCD, ou seja, convertem fóton em elétron. A diferença é a presença de capacitores, transistores e em cada *pixel* e amplificadores associados a cada coluna da matriz de *pixel*, modelo *passive pixel* ou a cada *pixel* no modelo *active pixel*, conforme Bonato (2004). Por causa disso são bons para captar imagens cujas

cenar tem forte iluminação.

2.2 DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS

A detecção de obstáculos para veículos terrestres é uma área pesquisada há mais de quatro décadas, inicialmente o foco era tornar mais segura a condução por motoristas. Stevens e Nagy (1974) evidenciam o interesse científico para encontrar soluções para tal finalidade. A tecnologia usada por eles foi radar micro-ondas e circuito eletrônico básico. Os resultados encontrados foram satisfatórios, mas o avanço tecnológico e a mudança de escopo impulsionaram novas pesquisas e uso de novas tecnologias.

Nos anos seguintes o interesse passou a ser também, em detectar obstáculos para auxiliar no desenvolvimento da condução autônoma de veículos. E uma das tecnologias precursoras para atingir tal objetivo foi o Sonar (*Sound Navigation and Ranging*). Kuc (1990) a usou para detectar os obstáculos contidos dentro de um raio de atuação do aparelho. Kim e Kim (2012) usaram um anel composto por três sensores ultrassônicos para detecção de obstáculos simples e complexos.

A utilização de sensores de imagem, para capacitar o robô para observar o meio onde está inserido, é comum na literatura. As mais utilizadas são as câmeras monoculares que podem ser usadas sozinhas ou em conjunto para a formação de imagens estéreo binocular ou trinocular, como pode ser visto em Rawashdeh; Alkurdi; Jasim (2012) que utilizaram um sistema composto por três câmeras num veículo autônomo terrestre de baixo custo.

Exemplos da utilização de uma única câmera monocular podem ser vistos em Calderón; Obando; Jaimes (2007), que utilizaram uma câmera CCD monocular para detecção da estrada; os testes foram feitos em várias estradas o que validou a eficácia do método. Li e Chen (2014) também usaram câmera monocular CCD, para detectar e classificar obstáculos. Wei et al. (2010) apresentam dois algoritmos, um para detecção de obstáculos e outro para fluxo óptico usando câmera monocular CMOS.

Lwowski et al. (2014) utilizaram unicamente sensores de imagem, ou seja, uma câmera digital, em um ambiente interno. Conforme citaram os pesquisadores, a técnica desenvolvida por eles é única. Nessa fase da pesquisa apenas obstáculos

de cor vermelha foram abordados. Lin et al. (2013) usaram visão monocular para detecção de obstáculos, moveis ou não, que estejam na parte de trás do veículo.

Uma das limitações apresentadas pela câmera monocular é que o tipo de dados que fornece ao *software* torna muito difícil a identificação da distância entre o objeto e o veículo. A visão estéreo, natural a seres humanos e vários animais, quando emulada em máquina fornece os dados necessários para que essa distância seja calculada. Uma das formas de consegui-la é através da aquisição de uma câmera específica para essa finalidade como pode ser visto em Kumar (2009), que utilizou uma câmera binocular para calcular a área transitável em ambientes internos e externos em tempo real, para um robô de pequeno porte e, em Zhang ; Hong ; Weyrich (2011) que utilizaram uma câmera estéreo para detecção de obstáculos na parte traseira do veículo; o sistema apresentou alta taxa de acertos. DONG-SI et al. (2008) usaram câmera binocular para detecção da área navegável da estrada rural ou urbana, o método apresentado reconhece a sombra como espaço navegável. Khalid; Mohamed; Abdenbi (2013), utilizaram câmera estéreo para detecção da estrada, de obstáculos e rastreamento de obstáculos.

Uma outra forma de conseguir os benefícios da visão estéreo é através da união de duas ou mais câmeras monoculares. Essa técnica pode ser encontrada em Storjohann et al. (1990). Touzene e Larab (2008) também usaram duas câmeras CCD para compor a imagem estéreo. Fazli; Dehnavi; Moallem (2010) apresentaram um algoritmo eficiente para detecção e obstáculos usando visão estéreo composta por imagens capturadas através de duas câmeras monoculares. De acordo com os autores, o método é ideal para ambientes reais, pois funciona bem em ambientes com várias texturas.

Outra possibilidade para utilização de câmeras tanto para detecção de obstáculos quanto para localização dos robôs móveis são os sistemas híbridos. Compostos por dois veículos um terrestre e um aéreo de pequeno porte, podem ser inseridos em ambientes estruturados, como foi descrito em Giakoumidis et al. (2012) que utilizaram seis câmeras na sala de testes e duas no VANT. Ou podem estar em ambientes semi-estruturados, nesses os sensores ópticos são instalados no aéreo.

Nesses sistemas o grau de autonomia do robô aéreo pode ser tele-operado ou autônomo, o terrestre, nas pesquisas elencadas neste trabalho, são autônomos.

Mehta et al. (2006) usaram as imagens para substituir o GPS. Ha e Lee (2013) utilizaram o sistema para obter a localização cardinal de dois componentes. Hui et al. (2013) e Sun (2014) utilizaram o sistema para detectar o veículo em terra, e o último, além disso, identificou outros alvos em movimento. As câmeras usadas foram de modelos monocular, mas Kim; Kwon; Seo (2013) utilizaram uma câmera stereo para fazer o mapa global e detectar obstáculos para o veículo terrestre.

Um outro tipo de sensor usado para auxiliar na navegação do veículo é o Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Yu e Zhang (2007) o utilizaram para detecção de obstáculos e os resultados apresentados foram satisfatórios. Park et al. (2009) usaram o laser para localização do veículo em ambientes externos através do registro 3D de 360° graus. Fang e Duan (2013) utilizaram laser para detecção de obstáculos em veículos terrestres. Duan et al. (2014) usaram um laser de quatro linhas para detecção de obstáculos e de meio-fio.

Uma técnica utilizada para detecção de obstáculos é a fusão de sensores. As combinações podem ser variadas, entretanto as mais encontradas eram compostas por sensor laser e de imagem. Esses se completam na tarefa cada um contribuindo com a sua melhor capacidade; o laser contribui no cálculo das distâncias e o de imagem para identificar os objetos a partir de suas formas. Moon; Kim; Kim (2007) usaram dois scanner laser e uma câmera. Enquanto, Kim; Oh; Kim (2009) usaram scanner laser para detecção de obstáculos e câmera, com lente, para detecção da estrada e de ponto de mira e ainda uniram as informações de ambos para construção do mapa local. Perrollaz et al. (2006) propuseram 3 algoritmos para utilização de laser e visão estéreo. O laser detectou e rastreou os obstáculos e a visão validou as detecções. Entre os sensores laser, o LIDAR é um dos mais eficazes. Yang; Lho; Song (2009) usaram essa tecnologia na fusão de sensores.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os métodos citados, a visão computacional foi selecionada como uma opção implementável no VAT de baixo custo que está sendo projetado pelo projeto VANT. Muitas foram as vantagens que esse método apresentou em relação aos demais. Dentre elas a relação custo-benefício dessa tecnologia foi o mais baixo entre as demais.

A quantidade de informações que podem estar contidas numa única imagem,

a simplicidade dos equipamentos que podem constituir um sistema de visão robótica, também podem ser elencadas como razões que foram base para essa escolha. No próximo capítulo as razões dessa eleição estão mais evidentes.

3 VISÃO COMPUTACIONAL

A visão de máquina, robótica ou computacional, foi inspirada no sistema de visão humano, portanto é dividido em dois blocos. Um responsável pela sintaxe captura da imagem e outro responsável pela semântica por atribuir interpretação a partir de significados pré existentes.

A “visão computacional é a disciplina que investiga as questões computacionais e algorítmicas associadas à aquisição, ao processamento e à compreensão de imagens” (TRIVEDI; ROSENFELD, 1989, apud BIANCHI, 1998, p. 11).

Na maioria das vezes pode não ser algo de fácil percepção, mas os seres humanos recortam, separam, selecionam partes do que está ao redor a partir de significados, ou seja, a atenção é dirigida ao que mais lhe interessa. Esse princípio também constitui a visão de máquina, já que parte do processo é selecionar o que é interessante naquela cena para determinada aplicação. Esse é apenas um dos princípios que, conforme estudos, norteiam a visão natural e é usado para emular essa capacidade em máquinas.

O primeiro modelo completo para a visão de máquina foi proposto por David Marr em 1982, e ficou conhecido como modelo ou paradigma de Marr. Essa metodologia divide a visão em três níveis: nível superior, no qual ocorre a captura, nível intermediário dele fazem parte os algoritmos, e o nível inferior que é composto pelo *hardware* (BIANCHI, 1998). Segundo o autor, “a importância da teoria de Marr para a disciplina de visão computacional é indiscutível” (BIANCHI, 1998, p.12), pois descreveu percepção em termos de computação para extrair experiência visual de alto nível.

Emular a visão humana na máquina é um grande desafio pois, na retina humana existem aproximadamente 100 milhões de células que podem ser comparadas com os sensores que convertem o estímulo da luz em sinal elétrico que é enviado para o nervo óptico e de lá seguem para o cérebro. As câmeras digitais atuais são compostas por 16 milhões de sensores (CONCI; AZEVEDO; LETA, 2008).

Dentre outros motivos o uso das câmeras é muito importante por conseguir

através delas captar várias características do meio e por ser um sensor do tipo passivo ela não interfere no meio (COUTINHO, 2014; SANTOS, 2010). As dificuldades mais comuns são a questão da luminosidade, que interfere muito na qualidade da cena capturada, nebulosidade e o uso da câmera oclusão, sombras.

Assim como a visão humana pode ser dividida em duas partes, a parte física cujo desempenho é de responsabilidade do *hardware* e a parte lógica de responsabilidade do *software*. Nesta primeira análise, será levada em consideração a solução em nível de *hardware*. Pois, a escolha do *hardware* é a base para a seleção de algoritmos, linguagens de programação, técnicas de IA, entre outras partes que compõem o *software*.

As câmeras de vídeo, ou sensores de CCD ou CMOS são importantes para robótica pois, conforme Couto (2012, p. 6) o “uso deste tipo de sensor é essencial para que a robótica possa se tornar cada vez mais ubíqua, comercialmente viável e acessível a uma grande quantidade de pessoas”. Há algum tempo atrás esse tipo de tecnologia tinha seu uso limitado pela ausência de suporte de *hardware*, mas com o avanço tecnológico das últimas décadas seu uso está em larga ascensão.

Entre as técnicas que podem compor um sistema de visão de máquina, a visão estéreo, merece destaque, pois através dela é possível reconstruir de forma tridimensional a cena e pode ser implementada usando câmeras de baixo custo. No próximo tópico será apresentado um pouco mais sobre essa tecnologia.

3.1 VISÃO ESTÉREO

Na natureza é possível observar sistemas de visão nos quais os olhos compartilham o campo de visão permitindo assim que duas imagens da mesma cena sejam obtidas. Esse fenômeno é chamado estereopsia ou visão estéreo (GARDIMAN, 2011; MENEZES, 2013). O sistema visual humano com olhos posicionados lado a lado e com espaçamento entre eles, (LOPES, 2005), é um exemplo de visão estéreo binocular.

Essa capacidade de enxergar a cena em duas imagens em ângulos distintos, mas que compartilham um mesmo foco, conforme Gardiman (2011) capacita o sistema visual desses animais para inferir distâncias entre os objetos observados e ainda, segundo Menezes (2013), possibilita a noção de profundidade. Emular, em

computadores, essa capacidade tem sido uma tarefa que instiga pesquisadores desde o início da computação, pois a visão é um sistema de percepção rico em informações, e de fundamental importância para os seres humanos (MOLZ, 2001).

As pesquisas nessa área por muitos anos ficaram prejudicadas, pois a tecnologia existente não proporcionava, segundo Couto (2012), o alto desempenho exigido para processamento da grande quantidade de informações que as imagens contém. Os processos de captura e análise da informação visual é de importância ímpar para sistemas de tempo real (NASCIMENTO et al., 2014), o que exige ainda mais poder computacional.

Uma forma de contornar essa dificuldade, que embora esteja menor mais ainda existe, é o desenvolvimento de sistemas específicos para cada atividade a qual a visão será destinada. Entretanto, devido a velocidade em que a computação vem evoluindo, breve essa dificuldade deixará de existir.

A associação entre visão computacional e robótica móvel é uma área que proporciona muitos estudos como os citados no capítulo anterior. A visão monocular, estéreo e omnidirecional, fornecem informações diferentes da cena capturada. A omnidirecional, captura 360 graus do ambiente na qual está inserida (KLASER, 2014); a monocular embora exija menor poder de processamento e menores custos financeiros, possui um campo de visão limitado. A visão estéreo, pode ser construída a partir de duas ou mais câmeras monoculares, o que reduz os custos financeiros e proporciona a obtenção de mais informações visuais; e com isso dados como distância e profundidade podem ser inferidos (MENEZES, 2013).

Em ambientes não estruturados a percepção espacial é necessária, pois ajuda na observação de obstáculos e outros elementos que possam influenciar na trajetória do robô (KLASER, 2014). A visão estéreo possibilita o cálculo da distância de elementos dentro do seu campo de visão (OLIVEIRA,2008). Conforme Klaser (2014), existem sensores sofisticados e com maior precisão, que ajudam nessa tarefa de ter uma visão tridimensional(3D) da cena, mas o sistema de visão estéreo é o que pode ser formado a partir de equipamentos mais simples.

Segundo Bezerra (2007), detectar um obstáculo é encontrar a distância entre o elemento e o robô móvel. Como os cálculos precisam ter uma alta confiabilidade é necessário, conforme Menezes (2013), conhecer os parâmetros intrínsecos das

câmeras. Segundo Klaser (2014), esses parâmetros são denominados parâmetros do modelo e indicam como a imagem é formada pela câmera. E assim utilizar a tecnologia com segurança.

Uma vantagem de um sistema de visão em relação a sistemas compostos por outros sensores é a numerosa quantidade de informações espaciais que podem ser encontradas em apenas uma imagem (NASCIMENTO et al.,2014).

O sistema de visão estéreo computacional possibilita a extração de informações 3D, a partir de duas ou mais imagens da mesma cena (GARDIMAN, 2011). Para Pinheiro (2008) estéreo significa a combinação de múltiplas imagens para extrair informações métricas da cena que elas representam.

O processo de transformação de uma cena, naturalmente tridimensional, numa representação bidimensional acarreta na perda de informações geométricas da mesma, (KLASER, 2014). Através da visão estéreo esses dados podem ser calculados, recuperando assim a profundidade da cena (GASPAR, 1994).

A aquisição dessas imagens pode ser feita no mesmo instante de tempo (CORREA, 2013; LULIO, 2011; PINHEIRO, 2008; GASPAR, 1994); ou serem consecutivas em diferentes intervalos de tempo (LULIO, 2011; SANTOS, 2010). Essa última forma requer mais cuidados na associação das imagens. Segundo Mendes (2012), a diferença da posição de um mesmo ponto nas duas imagens, permite conhecer a sua profundidade relativa no cenário

Um fator importante para que duas ou mais imagens sejam usadas num sistema estéreo é conforme, Lopes (2005,p. 57) “conhecer o mesmo ponto nas duas imagens além de um ponto de referência que tenha uma coordenada previamente conhecida”. Emparelhamento ou “*matching*” é o processo de buscar os pontos correspondentes nas imagens, e é importante para calcular a profundidade (GASPAR,1994). A correspondência de pontos que consiste em encontrar o mesmo ponto nas duas imagens é importante para que o ambiente possa ser representado através das duas ou mais imagens, do sistema estéreo

A calibração métrica, ou seja, cálculo dos parâmetros das câmeras e das medidas de suporte, é necessária em sistemas visuais de reconstrução (GASPAR, 1994). Segundo Klaser (2014), é fundamental para que se obtenha a representação tridimensional a partir de duas câmeras, que estas estejam calibradas. E para,

Gardiman (2011), já que as câmeras não se movimentam, uma em relação a outra, só é necessário realizar esse processo uma vez para cada configuração estéreo.

Embora não esteja no escopo desse trabalho, mas diante da aplicação em detecção de obstáculos pareceu importante mencionar, uma técnica que pode ser bastante útil, por demonstrar a profundidade relativa dos elementos da cena, é o mapa de disparidade. Imagens em tons de cinza, mais usadas para essa finalidade, podem fornecer até 255 níveis de profundidade (KLASER, 2014).

Como todas as tecnologias a visão estéreo também possui limitações. Por se tratar de um sistema que utiliza câmeras, está sujeito às limitações inerentes a esses equipamentos, como por exemplo, a dependência da iluminação (MENDES, 2012). Conforme Mendes (2012), distorções causadas pelo uso de lentes, como por exemplo, a distorção radial, são mais comuns nos modelos de câmeras com menores custos financeiros.

3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora existam limitações, as vantagens citadas anteriormente justificam a escolha realizada nesse trabalho. A visão estéreo como tecnologia principal usada para detecção de obstáculos em VATs, em especial naqueles que são projetados com uso de equipamentos com custos financeiros menores.

As vantagens do sistema estéreo como detector de profundidade podem ficar ainda mais evidentes através da tabela apresentada por Assumpção Júnior (2009, p.22), que compara o desempenho dos principais sensores usados para cálculo de profundidade em relação as quatro principais necessidades desses sistemas.

	laser	radar	sonar	câmera estéreo	câmera mono
custo	alto	alto	médio	médio	baixo
precisão	muito alto	alto	baixo	médio	baixo a médio
alcance	curto	médio	curto	médio	médio
processamento	baixo	médio	baixo	alto	alto

Tabela 1: Sensores externos para SLAM. Fonte: Assumpção Júnior (2009, p.22)

Como pode ser observado, dentre os sensores a câmera estéreo mostra ser viável à utilização num veículo de baixo custo. Tendo em vista que Assumpção Júnior (2009), fez a comparação usando como base uma câmera binocular que possui um custo mais elevado em relação ao sistema composto por duas câmeras monoculares; a solução apresentada neste trabalho que é composta por duas câmeras monoculares, representa uma relação custo-benefício ainda mais satisfatória.

4 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho buscou encontrar dentre os sensores mais utilizados para implementar a tarefa de detecção de obstáculos os que mais se enquadram na realidade do projeto VANT. Podendo ser enquadrado como parte do processo de pesquisa de viabilidade de técnicas a serem implementadas no veículo de baixo custo que será desenvolvido pelo projeto. Desta forma, este estudo contribui para a posterior escolha da tecnologia a ser empregada no veículo para que este possa trafegar pelo ambiente livre de colisões.

A relação custo-benefício do sistema de visão estéreo é uma das melhores, se comparada com os outros sensores mais utilizados para cálculo de profundidade. Embora, questões como iluminação e fatores climáticos possam interferir diminuindo a eficácia do sistema, não representam barreiras que inviabilizem a utilização do mesmo, pois o potencial dessa tecnologia é vasto.

Especificações mais profundas a respeito do modelo e características de modelo das câmeras, não foram elucidadas, pois, essa pesquisa deverá preceder a implementação do projeto, ademais os avanços tecnológicos nessa área são rápidos e modelos se tornam obsoletos rapidamente. Soluções em nível de *software*, tais como técnicas e algoritmos poderão fazer parte de trabalhos futuros.

Esse trabalho pode ser visto como parte inicial pra solucionar o problema de detecção de obstáculos do veículo que está sendo desenvolvido pelo projeto VANT, mas não cabe aqui encerrar o tema, tendo em vista, que a implementação traz em si experiências e necessidades peculiares.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. O. **Poli-USP desenvolve veículo autônomo subaquático** . Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/04/25/poli-usp-desenvolve-veiculo-autonomo-subaquatico-2/>>. Acessado em: 28 out. 2014
- ASSUMPÇÃO JÚNIOR, J.M. **Projeto de um sistema de desvio de obstáculos para robôs móveis baseado em computação reconfigurável**, 2009, 93f, Dissertação(Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências e Matemática e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2009
- BEZERRA, J. P. A. **Um sistema de Visão para Navegação Robusta de uma Plataforma Robótica Semi-Autônoma**, 2007, 69 f, Dissertação(Mestrado em Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2007
- BIANCHI, R. A. C. **Uma Arquitetura de Controle Distribuída para um Sistema de Visão Computacional Propositada**.1998, 116 f, Dissertação (Mestre em Engenharia)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998
- BONATO, V. **Projeto de um módulo de aquisição e pré-processamento de uma imagem colorida baseado em computação reconfigurável e aplicado a robôs móveis**, 2004, 82 f, Dissertação(Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências e Matemática e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2004
- BUENO, S. et al. Veículos Robóticos Terrestres Autônomos, **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, Porto Alegre, v. 24, n.1, p. 126-136, 2014.Disponível em:<http://www.sbc.org.br/index.php?option=com_flippingbook&view=book&id=19>. Acessado em: 26 out. 2014
- BUSCARIOLLO , P. H. **Sistema de Posicionamento Baseado em Visão Computacional e Laser**, 2008, 145 f, Tese (Doutorado em Engenharia)– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo ,2008
- CALDERON, J. ;OBANDO, A.;JAIMES, D. **Road Detection Algorithm for an Autonomous UGV based on Monocular Vision**, 2007. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4367695&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4367641%2F4367642%2F04367695.pdf%3Farnumber%3D4367695>> Acesso em: 03 nov. 2014
- CAMARGO, J. B. ; GIMENES, R. A. V. Desafios para a certificação de Veículos Aéreos Não Tripulados, **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, Porto Alegre, v. 24, n.1, p. 145 -154, 2014. Disponível em: <http://www.sbc.org.br/index.php?option=com_flippingbook&view=book&id=19>. Acessado em: 26 out. 2014

CONCI, A.; AZEVEDO, E.; LETA, F.R. **Computação Gráfica: Teoria e Prática**, Volume 2, Rio de Janeiro, Elsevier, 2008

CORREA, D. S.O. **Navegação autônoma de robôs móveis e detecção de intrusos em ambientes internos utilizando sensores 2D e 3D**, 2013, 77f, Dissertação(Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências e Matemática e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2013

COUTINHO, C. V. R. **Robótica Móvel – Sistema de Condução Autônoma**,2014, 143 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Ramo Automação e Eletrônica Industrial)– Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2014

COUTO, L.N., **Sistema pra localização robótica de veículos autônomos baseado em visão computacional por pontos de referência**, 2012, 82 f. Dissertação(Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012

DARPA Robotics Challenge. **What is the DARPA Robotics Challenge (DRC)?** Disponível em: <<http://www.theroboticschallenge.org/overview>>. Acessado em: 26 out. 2014

DONG-SI T.-C. et al. **Robust Extraction of Shady Roads for Vision-based UGV Navigation**, 2008, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4650955&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4637508%2F4650570%2F04650955.pdf%3Farnumber%3D4650955>> Acesso em: 03 nov. 2014

DUAN, J. et al. **Road and Obstacle Detection Research based on Four-Line Ladar**, 2014, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6885961&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6878617%2F6885661%2F06885961.pdf%3Farnumber%3D6885961>> Acesso em: 03 nov. 2014

FANG, Z.; DUAN, J. **Obstacle Detection for Intelligent Vehicle Based on LabVIEW and Laser Measurement System**, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6720296&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6709836%2F6720259%2F06720296.pdf%3Farnumber%3D6720296>>. Acesso em: 20 out. 2014

FAZLI, S.; DEHNAVI, H. M. ;MOALLEM, P. A. **Robust Obstacle Detection Method in Highly Textured Environments using Stereo Vision**, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5381092&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org>>

%2Fiel5%2F5379704%2F5380895%2F05381092.pdf%3Farnumber%3D5381092>. Acesso em: 20 nov. 2014

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3 ed. totalmente rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999

FRIEDMANN, R. M.P. **Desenvolvimento de sistema de levantamentos semi-autônomo empregando estação total robotizada e veículo terrestre não tripulado**. 2013, 235 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2013

FUCCILLE, A. Veículos Autônomos e Defesa Nacional: os riscos e os desafios em um mundo em transformação, **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, Porto Alegre, v. 24, n.1, p.14-20, 2014. Disponível em: <http://www.sbc.org.br/index.php?option=com_flippingbook&view=book&id=19>. Acessado em: 26 out. 2014

GARDIMAN, R. Q. **Visão Estéreo com Correspondência Esparsa com Features Extraídos pelo Método SURF**, 2011, 35 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2011

GASPAR, J. A.C.P. **Visão para Robótica Móvel: Detecção de Obstáculos sobre Pavimento Plano**, 1994, 104 f, Dissertação (Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores)– Universidade Técnica De Lisboa, Portugal, 1994

GIAKOUMIDIS, N. et al. **Pilot-Scale Development of a UAV-UGV Hybrid with Air-Based UGV Path Planning**, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6424322>> Acesso em: 13 nov. 2014

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. C. **Processamento Digital de Imagens** 3.ed; São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HA, C.; LEE, D. **Vision-Based Teleoperation of Unmanned Aerial and Ground Vehicles**, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6630764&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6615630%2F6630547%2F06630764.pdf%3Farnumber%3D6630764>> Acesso em: 23 out. 2014

HATA, A.Y. **Mapeamento de ambientes externos utilizando robôs móveis**, 2010, 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2010

HUI, C. et al. **Autonomous Takeoff, Tracking and Landing of a UAV on a Moving UGV Using Onboard Monocular Vision**, 2013. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6640470&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6621666%2F6639389%2F06640470.pdf%3Farnumber%3D6640470>> Acesso em: 30 out. 2014

JUNG, C. R. et al. **Computação Embarcada: Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes**, Disponível em: <<http://goo.gl/mLXcra>> Acessado em: 10 out 2014

KHALID, Z; MOHAMED, E.-A.; ABDENBI, M. **Stereo vision-based road obstacles detection**, 2013, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6560817&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6554181%2F6560779%2F06560817.pdf%3Farnumber%3D6560817>> Acesso em: 16 out. 2014

KIM, J. H. ; KWON , J.-W. ; SEO, J. **Multi-UAV stereo vision system without GPS for ground obstacle mapping to assist planning of UGV**, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6908632&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F2220%2F6908615%2F06908632.pdf%3Farnumber%3D6908632>> Acesso em: 23 out. 2014

KIM; J.-H.; OH, J.-S. ; KIM, J.-H. **Urban Driving System for UGV using Laser Scanner and Vision**, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5335098&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5305883%2F5332438%2F05335098.pdf%3Farnumber%3D5335098>> Acesso em: 23 out. 2014

KIM, S.; KIM, H. **Simple and Complex Obstacle Detection Using an Overlapped Ultrasonic Sensor Ring**, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6393206&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F6375948%2F6393028%2F06393206.pdf%3Farnumber%3D6393206>> Acesso em: 23 out. 2014

KLASER, R. L. **Navegação de veículos autônomos em ambientes externos não estruturados baseada em visão computacional**, 2014, 81 f, Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências e Matemática e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2014

KUC, R. **A Spatial Sampling Criterion for Sonar Obstacle Detection**, 1990. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=56211&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D56211> Acesso em: 02 out. 2014

KUMAR, S. **Binocular Stereo Vision Based Obstacle Avoidance Algorithm for Autonomous Mobile Robots**, 2009, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4809017&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4799789%2F4808969%2F04809017.pdf%3Farnumber%3D4809017>> Acesso em: 23 out. 2014

LI, J.; CHEN, M. **On-road multiple obstacles detection in dynamical background**, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6917316&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6910079%2F6917283%2F06917316.pdf%3Farnumber%3D6917316>>. Acesso em: 06 nov. 2014

LIN, Y.-C. Et al. **A Vision-Based Obstacle Detection System for Parking Assistance**, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6566629&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel7%2F6559347%2F6566328%2F06566629.pdf%3Farnumber%3D6566629>>. Acesso em: 23 out. 2014

LOPES, E. C. **Determinando a Posição e a Orientação da Mão Através de Imagens de Vídeo**, 2005, 86 f, Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005

LULIO, L. C. **Técnicas de visão computacional aplicadas ao reconhecimento de cenas naturais e locomoção autônoma em robôs agrícolas móveis**, 2011, 353 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011

LWOWSKI, J. et al. **A Reactive Bearing Angle Only Obstacle Avoidance Technique for Unmanned Ground Vehicles**, 2014. Disponível em: <http://avestia.com/CDSR2014_Proceedings/papers/54.pdf>. Acessado em: 06 nov. 2014

MEGDA, P. T. **Detecção e Classificação de Obstáculos Aplicados ao Planejamento de Trajetórias para Veículos de Passeio em Ambiente Urbano**, 2011, 110 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011

MEHTA, S.S. et al. **Adaptive Vision-Based Collaborative Tracking Control of An UGV via a Moving Airborne Camera: A Daisy Chaining Approach**, 2006. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4178010&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4176992%2F4176993%2F04178010>> Acesso em: 13 nov. 2014

MENDES, C. C. T. **Navegação de robôs móveis utilizando estéreo**, 2012, 86 f, Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências de Computação e Matemática Computacional)– Instituto de Ciências e Matemática e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012

MENEZES, R. P. B. **Controle Servo Visual de Veículos Aéreos Multirrotores**, 2013, 142f, Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2013

MIRANDA NETO, A. **Sistema de Percepção Visual Embarcado aplicado à Navegação Segura de Veículos**, 2011, 137 f, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)– Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, São Paulo

MOLZ, R. F. **Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Aplicações de Visão Computacional utilizando um projeto conjunto de Hardware e Software**, 2001, 80f, Tese (Doutorado em Ciência da Computação) Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2001

MOON, H.-C; KIM J.-H.; KIM J.-H. **Obstacle Detecting System for Unmanned Ground Vehicle using LaserScanner and Vision**, 2007, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4406629&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4406492%2F4406493%2F04406629.pdf%3Farnumber%3D4406629>> Acesso em: 30 out. 2014

MURPHY, R.R. **Introduction to ai robotics**, Cambridge, MA, USA, MIT Press, 2000

MUSEU TAM, **Aeronaves**: CBT BQM-1BR 'Drone'. Disponível em: <http://www.museutam.com.br/aeronaves_detalhe.php?id=88596>. Acessado em: 26 out. 2014

NASCIMENTO A. A. et al. Cálculo de Distâncias Euclidianas entre Histogramas para Sistemas de Localização Robótica em FPGA, In: XX Congresso Brasileiro de Automática, 6, 2014, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...**Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/CBA2014/anais/PDF/1569935467.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014

NILSSON, N. J., **Shakey the Robot**, Technical Note of SRI International, Menlo Park, CA, 1984

PARK, S.-Y. et al. **Localization of an Unmanned Ground Vehicle using 3D Registration of Laser Range Data and DSM**, 2009, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5403059&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5398686%2F5403027%2F05403059.pdf%3Farnumber%3D5403059>> Acesso em: 13 nov. 2014

PEREIRA, F. G. **Navegação e Desvio de Obstáculos Usando um Robô Móvel Dotado de Sensor de Varredura Laser**, 2006, 95 f, Dissertação (Mestrado)– Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 2006

PERROLLAZ, M. et al. Long Range **Obstacle Detection Using Laser Scanner and Stereovision**, 2006, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1689625&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F11114%2F35629%2F01689625>> Acesso em: 30 out. 2014

PINHEIRO, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de captura e análise de movimentos baseado em técnicas de visão computacional**, 2008, 109 f,

Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2008

RAWASHDEH, N.A; ALKURDI, L.M.;JASIM, H.T. **Development of a low cost differential drive Intelligent Ground Vehicle**, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6215184&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F6209064%2F6215155%2F06215184.pdf%3Farnumber%3D6215184>> Acesso em: 20 out. 2014

REIS, J. M. M. **Técnicas de Sonar para Detecção de Obstáculos em Navegação** 1999, 222 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computadores)– Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1999

SANTOS, G. L. **Localização de Robôs Móveis Autônomos Utilizando Fusão Sensorial de Odometria e Visão Monocular**, 2010, 72 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Computação)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2010

SCHMITT, R. B. **Projeto de engenheiro da Udesc desenvolve sistema de navegação autônoma inédito na América Latina**. Disponível em: <<http://www.udesc.br/?idNoticia=10012>>. Acessado em: 22 out. 2014

STEVENS, J. E.; NAGY, L. L. **Diplex Doppler radar for automotive obstacle detection**, 1974. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1622220&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F25%2F34018%2F01622220.pdf%3Farnumber%3D1622220>>. Acesso em: 23 out. 2014

STORJOHANN, K. et al. **Visual Obstacle Detection for Autmtically Guided Vehicles**, 1990, Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=126078&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F484%2F3534%2F00126078.pdf%3Farnumber%3D126078>> Acesso em: 06 nov. 2014

SUN, Z. **Vision-assisted Adaptive Target Tracking of Unmanned Ground Vehicles**, 2014. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6895552&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6895552> Acesso em: 23 out. 2014

THRUN, S. et al., **Probabilistic Algorithms and the Interactive Museum Tour-Guide Robot Minerva**, 2000. Disponível em: <<http://www.cs.cmu.edu/~thrun/papers/thrun.ijrr-minerva.pdf>>. Acessado em: 25 out. 2014

TOUZENE, N. B. ; LARABI, S. **Obstacle Detection from Uncalibrated Cameras** , 2008. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4621554&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4621554>. Acesso em: 60 nov. 2014

VIEIRA, R. S. **Protótipo de um Sistema de Monitoramento Remoto Inteligente**, 1999, 155f, Dissertação(Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 1999

WEI, Z. et al. **Hardware-Friendly Vision Algorithms for Embedded Obstacle Detection Applications** , 2010. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5604285&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F76%2F5621670%2F05604285.pdf%3Farnumber%3D5604285>> Acesso em: 23 out. 2014

YANG, S.; LHO, H.-S.; SONG ,B. **Sensor Fusion for Obstacle Detection and Its application to an Unmanned Ground Vehicle**, 2009. Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5335263&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5305883%2F5332438%2F05335263.pdf%3Farnumber%3D5335263>> Acesso em: 30 out. 2014

YU, C.; ZHANG, D. **Obstacle Detection Based on a Four-Layer Laser Radar** ,

2007 , Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4522163&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4510710%2F4522117%2F04522163.pdf%3Farnumber%3D4522163>> Acesso em: 23 out. 2014

ZHANG Y.;HONG C.; WEYRICH, N. **A Single Camera Based Rear Obstacle Detection System**, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5940499&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5930385%2F5940387%2F05940499.pdf%3Farnumber%3D5940499>>

Acesso em: 06 nov. 2014