

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SENSORES APLICADOS À SISTEMAS DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Prof. Dr. Paulo Henrique Buscariollo - FATEC-JAHU
phb.jau@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Nos últimos anos, tem sido intensificado o desenvolvimento de novas tecnologias para serem aplicadas à veículos robóticos. Estes veículos normalmente têm sua posição mantida ou alterada por meio de um Sistema de Posicionamento Dinâmico (SPD). Um SPD é composto por um sistema de controle, um sistema de posicionamento e um sistema de motores. Para tanto existem estudos para desenvolvimento de estratégias de controle e métodos de sensoramento, ou seja, o tipo de sensor a ser utilizado para fornecer informações para o sistema de controle. Os principais sensores aplicados no posicionamento de veículos têm princípios baseados em ondas acústicas, sistemas inerciais e visão computacional. Em função destas necessidades, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar os métodos de sensoramento baseados em sensores ultrassônicos e visão computacional. Foi verificada a eficiência da utilização de uma única câmera com um ponteiro laser e um sensor ultrassônico como sensor para medir a distância em relação a um objeto, utilizando um arranjo experimental, baseado na plataforma Arduino, montado sobre um chassi de um veículo robótico. Os experimentos foram realizados em linha reta, fazendo testes com os sensores e coleta das métricas. Os resultados obtidos, comprovam a possibilidade da utilização dos dois tipos de sensores e a partir dos resultados foi proposta a integração sensorial utilizando as informações obtidas pelos dois tipos de sensores com o objetivo de prover informações do posicionamento do veículo para alimentar o SPD.

Palavras-chave: Sensor ultrassônico. Visão computacional. Robótica. Arduino.

ABSTRACT

In the last years, the development of new technologies to be applied to robotic vehicles has been intensified. These vehicles normally have their position maintained or changed through a Dynamic Positioning System (DPS). An DPS consists of a control system, a positioning system and an engine system. To this end, there are studies to develop control strategies and sensing methods, that is, the type of sensor to be used to provide information for the control system. The main sensors applied to vehicle positioning have principles based on acoustic waves, inertial systems, and computer vision. Due to these needs, this paper aims to evaluate and compare the sensing methods based on ultrasonic sensors and computer vision. The efficiency of using a single camera with a laser pointer and an ultrasonic sensor as a sensor to measure the distance in relation to an object was verified, using an experimental arrangement, based on the Arduino platform, mounted on a chassis of a robotic vehicle. The experiments were carried out in a straight line, making tests with the sensors, and collecting the metrics. The results obtained prove the possibility of using the two types of sensors and from the results, a sensory integration was proposed using the information obtained by the two types of sensors in order to provide information on the vehicle's position to feed the DPS.

Keywords: *Ultrasonic Sensor. Computer Vision. Robotic. Arduino.*

INTRODUÇÃO

Os veículos robóticos são importantes para substituir o homem em tarefas que possam pôr em risco a sua vida, ou em locais de difícil acesso ao ser humano, como tubulações ou ambientes subaquáticos com grandes profundidades (TAKIMOTO, 2006).

A aplicação de um Sistema de Posicionamento Dinâmico (SPD) tem como objetivo fazer com que um veículo robótico possa perseguir uma determinada trajetória ou manter uma determinada posição em relação a um alvo. Assim, um SPD deve possuir um sistema de sensoramento, um sistema de controle e um sistema de motores (TANNURI; MORISHITA, 2006).

A seleção de um algoritmo de controle a ser implementado em um veículo robótico, é dependente, não somente das características do veículo, mas também, das condições de operação às quais estará sujeito, como: Forças ambientais, áreas ou estruturas a serem inspecionadas, entre outras. Além do algoritmo de controle, o método de sensoramento a ser aplicado também depende das condições nas quais o veículo vai operar, como por exemplo: Condições de iluminação, ambiente e distância de operação (TANNURI; MORISHITA, 2006).

Os principais sensores aplicados no posicionamento de veículos têm princípios baseados em ondas acústicas, inerciais e visão computacional (TAKIMOTO, 2006).

Entre os baseados em ondas acústicas os mais utilizados são os ultrassônicos, que são sensores acústicos ativos, isto é, emitem um sinal acústico potente e recebem as reflexões desse sinal, refletidas nos objetos localizados nas proximidades, sendo possível determinar a direção e a distância em que se encontram. Já a visão computacional, tem o objetivo de extrair informações úteis das imagens captadas do ambiente através de uma câmera de vídeo, podendo ser utilizada como um sensor para o posicionamento do veículo (BUSCARIOLLO; SORANI; MORISHITA, 2010).

Existe a possibilidade da utilização de métodos que combinem o uso de diferentes sensores, integrando seus dados, visando obter estimativas para uma determinada posição, cuja precisão e confiabilidade sejam superiores às aquelas obtidas utilizando o sinal de cada sensor isoladamente (HORGAN; TOAL, 2006).

Considerando esses princípios, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar métodos de sensoriamento, baseados em sensor ultrassônico, visão computacional e a integração sensorial destes, para mensurar distâncias. Para tanto, foi montado um protótipo de um veículo robótico terrestre utilizando uma plataforma Arduino, com sensores ultrassônicos e visão computacional, para adquirir informações relativas à distância do veículo à um determinado alvo.

Para a visão computacional as imagens foram filtradas, processadas e através do método da triangulação, foram obtidas as distâncias lineares do veículo em relação à um alvo (BUSCARIOLLO; SORANI; MORISHITA, 2010).

Já para obter as informações do sensor ultrassônico foi utilizada a biblioteca “Ultrasonic.h” adicionada ao Scratch, na IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino, para obter as distâncias lineares do veículo em relação ao alvo.

Os resultados das aquisições dos métodos em separado, foram comparados com as distâncias reais e apresentaram um erro abaixo de 5%. Posteriormente, foi feita a integração sensorial, utilizando as informações obtidas pelos dois métodos de sensoriamento, sendo calculada a média resultando em um único parâmetro, o qual apresentou um aumento da precisão do sistema.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto a natureza, foi utilizada neste trabalho uma metodologia do tipo aplicada. Quanto a abordagem, é baseada em dados qualitativos, com objetivos exploratórios desenvolvida em duas partes: Uma parte com procedimentos baseados em pesquisa bibliográfica e estudo de caso e a outra parte com procedimentos envolvendo pesquisa-ação e experimental.

Foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho a plataforma Arduino, que é considerada uma plataforma experimental, que possui um custo de aquisição acessível e fácil de ser adquirida atualmente. Para tanto foram utilizados:

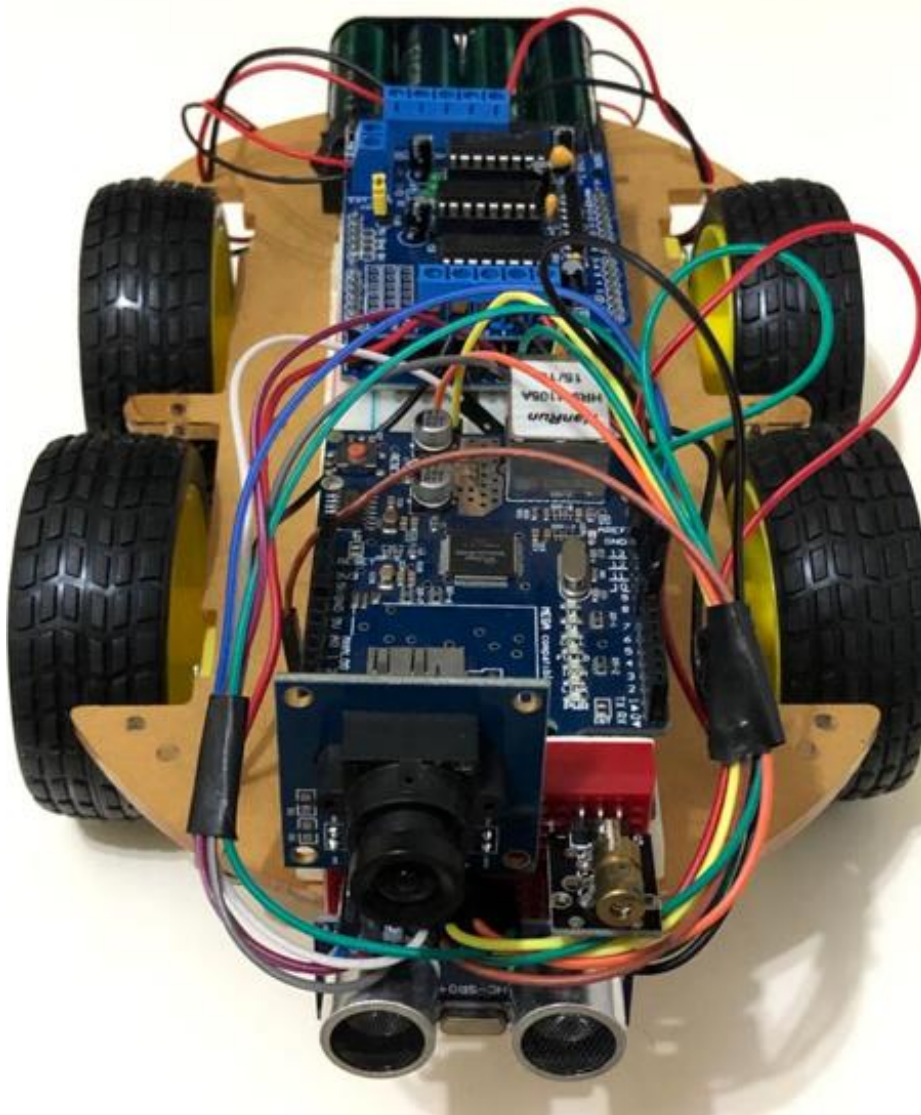
- 1 chassi de veículo motorizado com 4 servo-motores;
- 1 câmera VGA OV7670 300KP;

- 1 laser 6 Mm 5V 650nm;
- 1 sensor ultrassônico HC-SR04;
- 2 placas de Arduino Uno;
- 1 placa de ponte H para 4 servos;
- 1 placa para cartão de memória e conexão WiFi;
- 1 módulo de 4 baterias alcalinas.

A Figura 1 ilustra a montagem do protótipo, com o chassi do veículo motorizado, placas, sensor ultrassônico, câmera e laser.

As escolhas foram baseadas no custo dos materiais, bem como a facilidade de aquisição para a construção do arranjo experimental.

Figura 1. Foto do Protótipo de Veículo Autônomo.



Fonte: Autor (2020).

Primeiramente foi utilizada a visão computacional que combinou o uso uma câmera de vídeo e um ponteiro laser, os quais foram posicionados paralelamente, como pode ser observado na Figura 1. Já para testar o uso de sensor baseado em ondas sonoras optou-se pelo sensor ultrassônico.

2.1 Visão Computacional

A visão computacional é um método de sensoriamento que combina técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrão, para obter informações úteis adquiridas por uma ou mais câmeras (BUSCARIOLLO; AMORIM; MORISHITA, 2008)

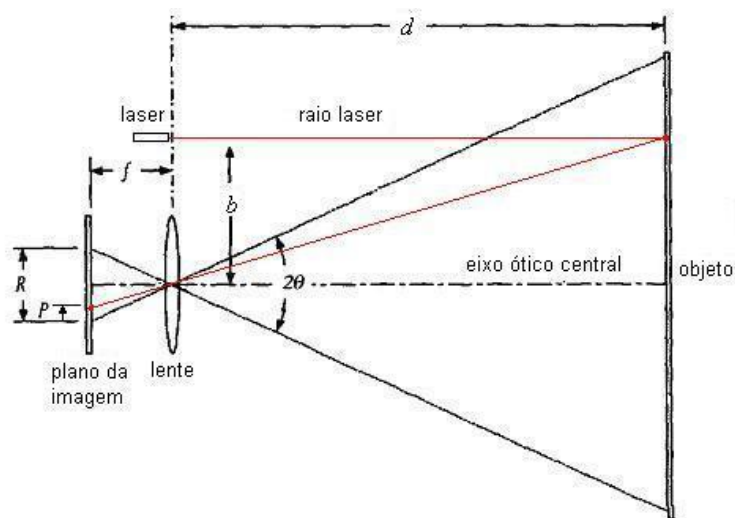
O método de sensoriamento mais simples, usando a visão computacional, é utilizando uma única câmera, também conhecido como visão mono. Porém, este tipo de solução tem uso limitado em sistemas de controle, pois não permite determinar a distância e o ângulo do veículo em relação a um alvo. No entanto, acoplado ao sistema ponteiros lasers, cria-se marcos visuais artificiais, o que possibilita obter a posição e ângulo do veículo (KARRAS; KYRIAKOPOULOS, 2007).

A partir desses marcos visuais, para o cálculo da distância foi utilizado o método da triangulação a laser, o qual baseia-se no princípio da semelhança de triângulos. Um ou mais ponteiros de laser emitem um raio e, ao incidirem em um obstáculo, seu reflexo é captado pela câmera e o ponto formado é utilizado para cálculo da distância (CHEN, 2001).

A Figura 2 mostra o esquema proposto para o método da triangulação, ilustrando o campo de visão da câmera, a área de projeção no plano da imagem e o efeito do raio laser gerado a partir de um ponteiro posicionado paralelamente à câmera, ao ser projetado e refletido pelo objeto.

Para o cálculo da distância, o método da triangulação utiliza a coordenada de apenas um pixel. No entanto, na prática, quando o raio de laser incide sobre o obstáculo, este é refletido e captado pelo sensor da câmera. Normalmente, são iluminados vários pixels ao mesmo tempo, portanto, é necessário utilizar um algoritmo para detectar a coordenada que representa o pixel do centroide do ponto do laser, ou seja, o pixel de maior intensidade. Uma vez localizado o centroide, é calculada a sua distância até o centro de sensor da câmera e em conjunto com a distância focal " f ", formando-se um triângulo retângulo e por semelhança de triângulo, é calculada a distância até o objeto (BUSCARIOLLO; AMORIM; MORISHITA, 2008).

Figura 2. Detecção de distância através da triangulação baseado em um ponto de laser e uma câmera.



Fonte: Chen, 2001; adaptado pelo autor.

Através da Figura 3, pode-se visualizar a câmera utilizada no arranjo experimental.

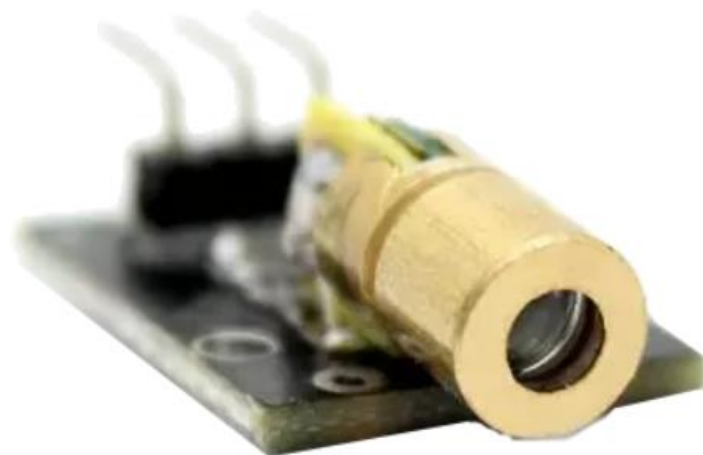
Figura 3. Módulo câmera VGA OV7670 300KP para Arduino.



Fonte: Opencircuit, 2020.

Já o Módulo Laser adicionado ao sistema é ilustrado pela Figura 4.

Figura 4. Módulo laser 6 mm, 5v 650 nm.



Fonte: Opencircuit, 2020.

2.2 Sensor Ultrassônico

Um sensor ultrassônico é um dispositivo que utiliza alta frequência de som para medir a distância. Estes sensores são também conhecidos como transceptores e são capazes de operar semelhante ao sonar. Enquanto o sonar é principalmente utilizado debaixo da água, os transceptores de ultrassom podem ser utilizados no ambiente terrestre, tendo o ar como meio de transmissão. Os sensores de ondas ultrassônicas são comuns em aplicações industriais e métricas, além de outras aplicações (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2018).

A precisão dos dados obtidos por meio de um sensor ultrassônico, está sujeito a vários fatores que podem degradar o sinal e por consequência, a capacidade em medir a distância. A velocidade do som não é constante, podendo variar dependendo da temperatura e umidade do ar. Isto significa que as condições muito quentes ou muito frias podem prejudicar o desempenho de um sensor ultrassônico. Além disto estão sujeitos a ruídos gerados pelo eco das paredes ou anteparos inseridos no ambiente (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2018).

A Figura 5 mostra um sensor ultrassônico, que consiste tipicamente de uma unidade de transceptor que é capaz de emitir e detectar o som. Este dispositivo cria pulsos sonoros refletidos em objetos sólidos. O transceptor utiliza um temporizador para determinar quanto tempo um pulso ultrassônico leva para atingir um objeto e retornar à unidade, e desta forma estimar a distância (MECÂNICA INDUSTRIAL, 2018).

Figura 5. Sensor Ultrassônico

Fonte: Mecânica Industrial, 2018.

Para obter as informações do sensor ultrassônico foi utilizada a biblioteca “Ultrasonic.h” adicionada ao Scratch, na IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) do Arduino, também foi necessária a calibragem do sistema, para obter as distâncias lineares do veículo em relação ao alvo.

3. EXPERIMENTOS E RESULTADOS OBTIDOS

Os experimentos foram realizados com o objetivo de testar os métodos de sensoriamento, verificando a precisão do sistema para medir distância. Os resultados das medições de distância utilizando um sistema de visão computacional composto de uma câmera e um ponteiro laser e o sensor ultrassônico, ambos conectados a plataforma Arduino embarcados no veículo foram adquiridos e comparados. Para ambos os sensores houve uma calibragem do sistema na distância de 1000 mm.

Para este experimento foi utilizado o arranjo experimental descrito neste trabalho, nos materiais e métodos. O veículo foi posicionado nas distâncias de 700 mm, 850 mm, 1000 mm, 1300 mm e 2000 mm. Neste caso para evitar ruídos, o protótipo ficou estacionado nas medidas descritas e nas mesmas condições de iluminação e ambiente, para ambos os tipos de sensores,

para que as comparações das informações obtidas pelos sensores não fossem prejudicadas (BUSCARIOLLO; SORANI; MORISHITA, 2010).

3.1 Experimentos usando visão computacional

Os valores do Quadro 1 demonstram os resultados obtidos nos experimentos realizados com o arranjo experimental, sendo considerados a média das distâncias apuradas durante um intervalo de aproximadamente 5 segundos de aquisição por medida de referência, tempo necessário para obter 25 medidas, já que sistema adquiria 10 quadros por segundo. Comparando as medidas obtidas com o sensor câmera + laser e as medidas de referência. Os resultados indicaram que em todas as posições as médias das distâncias mensuradas, comparadas com as medidas de referência, apresentaram um erro máximo de 2%. O desvio padrão foi maior na distância de 2000 mm, atingindo o máximo de variação de ± 14 mm para a distância aferida pelo conjunto câmera + laser.

Quadro 1. Resultados obtidos, através das medições com câmera + laser.

Referência (mm) Sensor	700	850	1000	1300	2000
	Média das medidas e $\pm$ desvio padrão				
Câmera + Laser	703 $\pm$ 3	852 $\pm$ 2	1001 $\pm$ 2	1298 $\pm$ 2	1995 $\pm$ 14

Fonte: Autor

3.2 Experimentos usando sensor ultrassônico

Como pode ser observado através do Quadro 2 os resultados obtidos com o sensor ultrassônico utilizando-se o mesmo arranjo experimental e as mesmas medidas de referência, considerando novamente as médias das distâncias adquiridas durante um intervalo de aproximadamente 5 segundos por medida, porém desta vez, ignorados alguns ruídos com intensidade maior do que 10%, como um filtro passa baixa, que não foi necessário quando utilizou-se o sistema câmera e laser. Comparando as medidas obtidas com o sensor ultrassônico e as distâncias de referência, os resultados indicaram que em todas as posições as médias das distâncias mensuradas, comparadas com as medidas de referência, apresentaram um erro máximo de 7%. O desvio padrão assim como o erro, foram maiores na distância de 1300 mm, com um desvio padrão de ± 6 mm para a distância aferida pelo sensor.

Quadro 2. Resultados obtidos, através das medições com o sensor ultrassônico.

Referência (mm) Sensor	700	850	1000	1300	2000
	Média das medidas e $\pm$ desvio padrão				
Ultrassônico	701 $\pm$ 4	848 $\pm$ 4	1002 $\pm$ 3	1291 $\pm$ 6	2003 $\pm$ 5

Fonte: Autor.

3.2 Integração da visão computacional com o sensor ultrassônico

O Quadro 3 demonstra os resultados com a integração dos dados obtidos através dos dois métodos de sensoriamento: Câmera + laser e ultrassônico. Os valores obtidos indicaram que a comparação entre as medidas de referência e as medidas adquiridas pelo sistema, apresentaram maior precisão e uma diminuição do desvio padrão, comparadas aos resultados obtidos com os sensores separadamente. A maior divergência na medida da distância, comparada com a medida de referência foi na de 1300 mm, apresentando aproximadamente 5 mm de diferença e o desvio padrão máximo de 2mm. Embora essa diferença foi a maior, vale salientar que isso pode ter ocorrido pelo maior erro nos dados obtidos pelo sensor ultrassônico em relação ao sensor câmera + laser, que apresentou menor ruído e foi mais preciso nesta medida.

Quadro 3. Resultados obtidos com a câmera + laser e sensor ultrassônico integrados.

Referência (mm) Sensor	700	850	1000	1300	2000
	Média das medidas e $\pm$ desvio padrão				
Integração	700 $\pm$ 2	851 $\pm$ 2	1000, $\pm$ 1	1295 $\pm$ 2	2001 $\pm$ 2

Fonte: Autor

Considerando que as medidas são em milímetros, a precisão de ambos os sensores se mostraram eficientes e a integração apresentou um resultado mais fidedigno com as medidas de referência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi comprovado experimentalmente a potencialidade da visão computacional composta pelo uso de uma câmera + laser e a utilização de sensor ultrassônico

aplicados como métodos de sensoriamento, com o objetivo de medir distância para alimentação de um SPD.

O método de sensoriamento baseado em visão computacional com uma câmera e laser é uma solução simples, ativa e que em conjunto com o sensor ultrassônico, torna-se uma solução viável para aplicação em SPD.

Foi identificado que o sensor ultrassônico necessita um maior cuidado com os dados obtidos, devido aos ruídos, contudo, ele tem um menor custo computacional, comparado com a visão computacional.

Portanto, os dois métodos utilizados neste trabalho são viáveis para aplicações em veículos robóticos terrestres e modelos reduzidos de navios para testes em tanque de prova. Ambos os métodos oferecem informações com baixo erro e úteis para aplicação no SPD destes veículos.

Os resultados apontaram que a aplicação do sistema de visão computacional tem a precisão diminuída diante do aumento da distância, comparado ao sensor ultrassônico, provavelmente devido à baixa resolução da câmera utilizada. Em contrapartida, os dados obtidos pelo sensor ultrassônico, tendem a ser mais ruidosos, sendo necessário maior atenção para filtragem desses ruídos.

Embora a plataforma Arduino seja uma solução rápida e barata, para a aplicação da visão computacional, considerando a capacidade de processamento e armazenamento do Arduino Uno, mostrou-se relativamente lento para o processamento das imagens.

Pelos resultados conclui-se que o uso dos métodos de sensoriamento em conjunto, ou seja, integrados, aumentou a precisão do sistema, e, além disto, os sensores consomem baixa quantidade de energia, que é importante para o tempo de autonomia de um veículo robótico.

Para trabalhos futuros sugere-se testes com outras plataformas com maior poder computacional e câmeras de maior resolução e alcance. É interessante adicionar ao protótipo um outro tipo de sensor como por exemplo, o acelerômetro, assim como o desenvolvimento de um algoritmo com um filtro, para eliminar ruídos de um dos sensores, comparando os valores obtidos separadamente, e quando apresentarem um erro maior que 5% comparado ao ciclo anterior, poderá ser ignorado ou utilizada a informação de apenas um dos sensores, preservando a confiabilidade da informação até que o ruído seja acomodado.

REFERÊNCIAS:

BUSCARIOLLO, P. H. ; AMORIM, A. E. A. ; MORISHITA, H. M. **Sistema de posicionamento dinâmico baseado em visão computacional e laser**. 22º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2008, Rio de Janeiro. 22º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore. Rio de Janeiro: SOBENA, 2008.

BUSCARIOLLO, P. H. ; SORANI, L. A. ; MORISHITA, H. M. **Avaliação do desempenho de um sistema de visão aplicado a um sistema de posicionamento dinâmico**. Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2010, Rio de Janeiro. SOBENA, 2010, 2010.

CHEN, H. (2001), **Identification of influential factors for underwater laser imaging**, OCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition Volume 4, 5-8 Nov. 2001 Page(s):2549 - 2556 vol.4.

HORGAN J., TOAL D., (2006) **Vision systems in the control of Autonomous Underwater Vehicles**, submitted to the 7th IFAC MCMC, Lisbon, Portugal, September 2006.

MECÂNICA INDUSTRIAL, **O que é um sensor ultrassônico**. Disponível em: <(https://www.mecanicaindustrial.com.br/598-o-que-e-um-sensor-ultrassonico)>, Acesso em: 10/04/2018.

MORISHITA, H. M., *et al.* (2008), **Aplicação de laser e visão computacional no sistema de posicionamento dinâmico**, 22º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, SOBENA, Rio de Janeiro, Brasil, outubro 2008.

OPENCIRCUIT, Disponível em: <(https://opencircuit.shop/Product/OV7670-300KP-VGA-Camera-Module)>, Acesso em: 26/10/2020.

TAKIMOTO, R. Y. (2006), **Computer Vision Techniques applied to the Depth Displacement of an AUV near the Free Surface**, Tese de Doutorado, Department of Systems Design for Ocean-Space Yokohama National University Japan, January 2006.

TANNURI, E. A. e MORISHITA, H. M., (2006), **Experimental and numerical evaluation of a typical dynamic positioning system** Applied Ocean Research, doi:10.1016/j.apor.05.05.2006, Elsevier, 2006.

“Os autores declaram estar cientes quanto a responsabilidade pelo conteúdo do artigo.”