



## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS PELO MÓDULO SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04

Giovane Soave Volpato\*<sup>1</sup>, Carlos Renato Borges dos Santos<sup>2</sup> e Ana Flávia Peixoto de Camargos<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM câmpus Paracatu

<sup>3</sup>Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG *campus* Formiga

**Resumo** - Devido a larga aplicabilidade de transdutores ultrassônicos, este artigo tem como objetivo trazer à comunidade tecnocientífica o conhecimento sobre as características de funcionamento do módulo sensor ultrassônico HC-SR04 por meio de dados resultantes dos experimentos realizados para identificar as propriedades de medição e identificação de obstáculos do dispositivo, assim como especificar suas limitações e propor possíveis procedimentos para um aumento de precisão e exatidão do sensor.

**Palavras-Chave** - HC-SR04, sensor, ultrassônico.

### ANALYSIS OF THE OBSTACLE DETECTION PROPERTIES OF THE ULTRASSONIC SENSOR MODULE HC-SR04

**Abstract** - Due to the large applicability of ultrasonic transducers, this article has the goal of bringing knowledge to the technoscientific community on the functioning characteristics of the ultrasonic sensor module HC-SR04 through the resulting data from experiments performed to identify the device measurement and obstacle identification properties, as well as to specify its limitations and propose possible procedures for precision and accuracy enhancement.

**Keywords** - HC-SR04, sensor, ultrasonic.

## I. INTRODUÇÃO

Os transdutores ultrassônicos são aplicados em diversas áreas, tais como biomedicina e engenharia. Por terem uma vasta área de aplicabilidade, os equipamentos de medições ultrassônicas têm se tornado muito importante para a sociedade.

Dentre as diversas aplicações de ondas ultrassônicas na biomedicina, temos a utilização na avaliação do fluxo sanguíneo em artérias e veias durante cirurgias cardiovasculares [1], por exemplo. Essa avaliação baseia-se no princípio de que a onda mecânica tem seu tempo de percurso alterado ao propagar-se em um meio em movimento. Além disso, em [2], o método indireto Doppler Ultrassônico passou a ser considerado como uma ferramenta mais precisa para a aferição da pressão arterial

sistólica em cães obesos ao ser comparado com outra técnica de medição, o método oscilométrico.

De mesma forma, a propagação de ondas mecânicas ultrassônicas em sólidos é utilizada na engenharia civil como uma alternativa de verificação preventiva no monitoramento das estruturas de concreto por ser bastante atraente e viável [3], utilizando a teoria da acustoelasticidade que relaciona a variação da velocidade de propagação de ondas mecânicas à variação de tensão em um meio sólido como no caso de elementos de concreto submetidos a compressão uniaxial [4], além de ser possível avaliar com pulsos ultrassônicos a influência do tipo de cimento, a idade de cura, formato e umidade dos corpos de prova na sua resistência do concreto ao longo do tempo [5].

Paralelamente, sensores ultrassônicos como o módulo HC-SR04 podem ser utilizados na medição de distâncias fixas [6] a fim de incorporá-lo em plataformas robóticas para a detecção e desvio de obstáculos, assim como para o reconhecimento tridimensional de objetos. [7].

A larga empregabilidade dos transdutores ultrassônicos e sua importância para a sociedade e comunidade tecnocientífica é evidente. Portanto, foi desenvolvida uma pesquisa com a finalidade de entender precisamente o funcionamento e operação do módulo de medição ultrassônica HC-SR04, identificar formas para um aumento de precisão e proporcionar um conhecimento sobre sua aplicabilidade em projetos que venham a ser desenvolvidos por profissionais, estudantes ou hobbystas por se tratar de um aparelho bastante acessível ao público, além de ainda não possuir muitos estudos específicos sobre suas propriedades e utilizar a plataforma Arduino, cuja linguagem de programação é de livre acesso.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

O sensor escolhido para o estudo é o módulo ultrassônico HC-SR04, podendo ser visto na Figura 1, pois este está largamente popularizado no mercado devido a facilidade de operação e implementação em projetos eletrônicos em razão de sua compatibilidade com o Arduino, ferramenta frequentemente utilizada por diversos desenvolvedores nos ramos de automação e eletrônica.

\*giovane.volpato@estudante.iftm.edu.br

Figura 1: Sensor HC SR04.

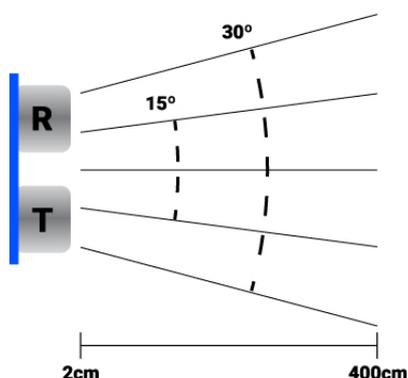


O HC-SR04 é constituído basicamente por dois transdutores ultrassônicos, um transmissor (T) e um receptor (R). A partir de um pulso elétrico de 10 microsegundos fornecido no pino nomeado Trigger, o componente transmissor emite 8 ciclos de ondas ultrassônicas a 40 kHz.

Já o receptor é responsável por detectar as ondas refletidas em sua direção por um dado obstáculo em um determinado intervalo de tempo e em um ângulo entre aproximadamente 15° e 30° e num raio de 2 a 400 centímetros, assim como mostra a Figura 2.

A partir do cálculo do tempo total entre a transmissão e retorno do sinal refletido representado pela Equação 1 é possível ser determinada a distância física do objeto detectado.

Figura 2: Região ideal de sensibilidade.



$$d = \frac{v_{som} \cdot t}{2} \quad (1)$$

Onde:

- $v_{som}$  - Velocidade do som.
- $t$  - Tempo entre emissão e retorno do sinal.
- $d$  - Distância entre o sensor e o obstáculo.

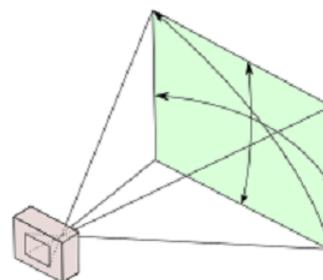
Juntamente ao sensor citado, a plataforma microcontroladora Arduino Mega 2560 foi utilizada para a execução do código necessário para a operação do HC-SR04 e obtenção das medições por meio dos dados seriais transcritos pelo software educacional *Microsoft Data-Streamer* cuja função dentre outras é de registrar as informações recebidas pela porta serial

em uma planilha no software Microsoft Excel para análise e comparação de dados.

Os testes apresentados neste artigo foram realizados visando averiguar a consistência dos dados fornecidos nas documentações técnicas do HC-SR04 como as distâncias mínima e máxima de identificação dos objetos, o ângulo efetivo do campo de visão (ou FOV - *Field of View*) e quão exatas e precisas são as medições. Ademais, os experimentos praticados tinham os planos de trazer respostas para questionamentos sobre a possibilidade de variação entre sensores de mesmo modelo; se haveria interferência por conta do revestimento, dimensão e angulação do obstáculo; e se a largura angular do campo de visão seria igual nas direções horizontal (HFOV - *Horizontal Field of View*) e vertical (VFOV - *Vertical Field of View*).

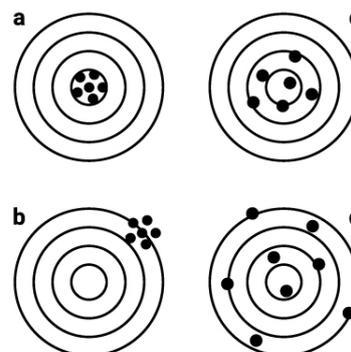
Vale notar que para qualquer sensor direcional sem contato, a geometria do mundo exterior é determinada pelo seu campo de visão, como visto na Figura 3. O FOV é determinado pelo raio angular do cone de detecção, expressados em graus na horizontal e vertical, como por exemplo 20° x 15°.

Figura 3: Representação do campo de visão - FOV.



Além disso, é importante enfatizar a diferença entre os termos precisão e exatidão em sistemas de medição. Pois, a exatidão é tida como o quão próximo estão as medições em relação a posição real de um objeto. Já a precisão se refere a proximidade das medições entre umas e as outras. É possível ver uma representação da diferença entre os dois termos na Figura 4.

Figura 4: Exatidão e precisão.



Onde:

- a* - Exato e preciso.
- b* - Preciso mas não exato.
- c* - Exato mas não preciso.
- d* - Nem preciso e nem exato.

Primeiramente, para aferir a consistência entre unidades do mesmo modelo, um teste comparativo foi realizado com três sensores HC-SR04, utilizando como obstáculo uma placa de madeira cujas dimensões são 55 cm de comprimento e 35 cm de largura, variando sua posição em relação ao módulo de dois à até 400 centímetros a cada 50 centímetros ao longo de uma trena métrica e também alterando a posição angular do obstáculo em relação ao sensor entre 0° e 30° para determinar não apenas quão exata é realizada a identificação horizontal em linha reta mas, como também nas áreas ao redor do dispositivo.

De mesmo modo, um segundo teste foi realizado para identificar o cone efetivo do campo de visão do HC-SR04 de forma bidimensional, deslocando a placa em sentidos vertical e horizontal utilizando-se de um feixe de laser para a orientação visual do momento em que o obstáculo ponto central do sensor e assim analisando as medições capturadas pelo dispositivo e registrando os pontos a partir dos quais o objeto fora detectado.

Em seguida, para determinar a influência da dimensão dos objetos na detecção do sensor foram utilizadas três caixas de papelão, sendo a primeira cúbica com arestas de seis centímetros, a segunda com 12 centímetros de altura, 10 centímetros de largura e quatro centímetros de profundidade, e a última com 26 centímetros de altura, 16 centímetros de largura e 11 centímetros de profundidade. As caixas foram movidas ao longo da trena métrica até o ponto em que não fossem mais reconhecidas pelo sensor.

Por fim, todas as medições foram analisadas e transformadas em gráficos para melhor analisar e apresentar os resultados.

### III. RESULTADOS

A partir dos dados obtidos nos testes feitos em linha reta com os sensores foi possível identificar que há de fato uma variação de precisão e exatidão entre os dispositivos. A precisão dos três dispositivos é similar, pois eles apresentam tanto proximidade entre as leituras na maior parte de seus alcances, como o mesmo aumento no distanciamento das leituras a longas distâncias.

Quanto à exatidão dos sensores, nota-se que a curtas distâncias, os sensores são mais exatos, apesar de tenderem a medir alguns milímetros acima do ponto de referência e interpretando a posição do objeto como mais afastada do que de fato está. Já a longas distâncias, a exatidão dos sensores é menor, pois conforme maior o afastamento do obstáculo, os sensores passam a medir abaixo da referência, ou seja, interpretando o obstáculo como mais próximo do que na realidade.

Um gráfico de Linearidade e Erro (viés ou *bias*, em inglês) foi criado para cada um dos sensores, como se vê nas Figuras 5, 6 e 7, nas quais são apresentados os pontos de referência de cada uma das medições, as respectivas médias de viés para cada ponto, e as inclinações de regressão que indicam a

tendência de medição de cada um dos sensores. Os cálculos de viés podem ser vistos na equação 2.

$$Bias = VR - \bar{x} \quad (2)$$

Onde:

- VR* - Valor de referência.
- $\bar{x}$  - Média das medições.

Figura 5: Relatório de Linearidade e Viés para o Sensor 1.

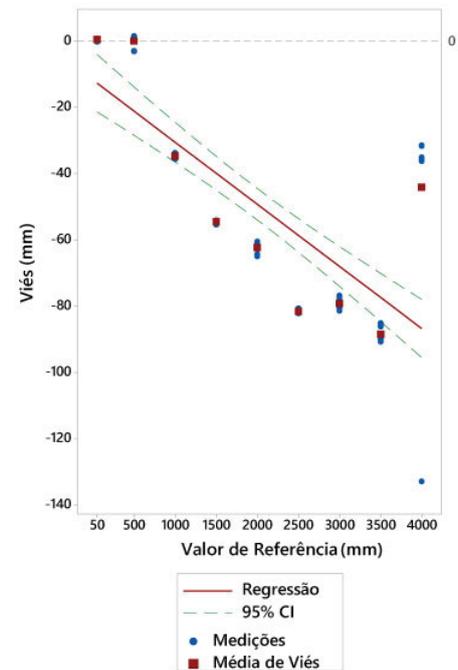


Figura 6: Relatório de Linearidade e Viés para o Sensor 2.

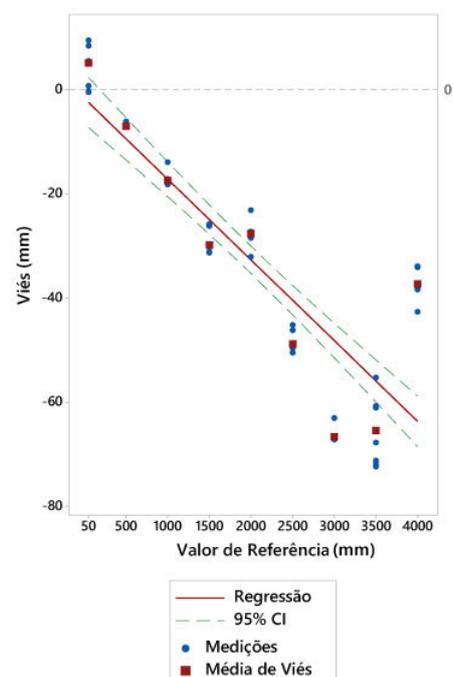
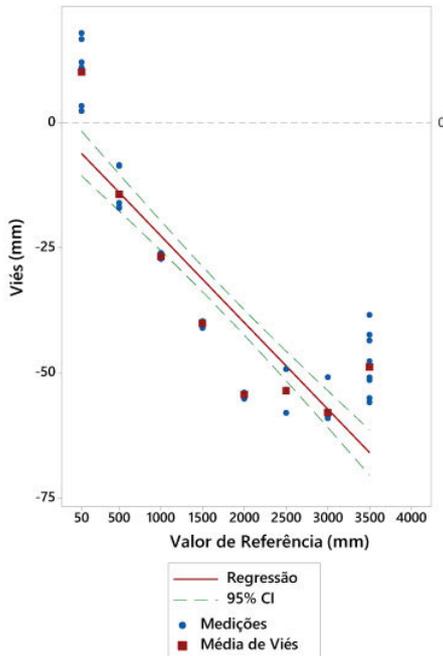


Figura 7: Relatório de Linearidade e Viés para o Sensor 3.



A inexactidão das medidas de cada um dos sensores é interpretada pelo distanciamento dos pontos da linha zero de *bias*, sendo o mais próximo dessa linha a indicação de menor diferença entre a referência e a medida feita pelo sensor, portanto maior exatidão nas leituras. Nota-se uma maior dispersão das leituras em 4000 milímetros no primeiro sensor testado, e também incapacidade do terceiro sensor identificar o obstáculo a 4000 milímetros de distância.

Consecutivamente, o resultado da aferição do campo de visão horizontal (HFOV) do HC-SR04 pode ser visto na Figura 8, que representa a área em que o sensor foi capaz de identificar o obstáculo, sendo este posicionado de forma paralela ao sensor e deslocado para as laterais. É possível identificar nesta figura que há um menor alcance lateral com obstáculos que estejam paralelos ao sensor, mas fora de seu eixo central devido a reflexão das ondas transmitidas não atingirem o componente receptor. Já com obstáculos que estejam posicionados em um ângulo no qual sejam refletidas as ondas em direção ao receptor, o alcance lateral do dispositivo é maior, como é apresentado na Figura 9.

Figura 8: HFOV com objetos paralelos ao sensor.

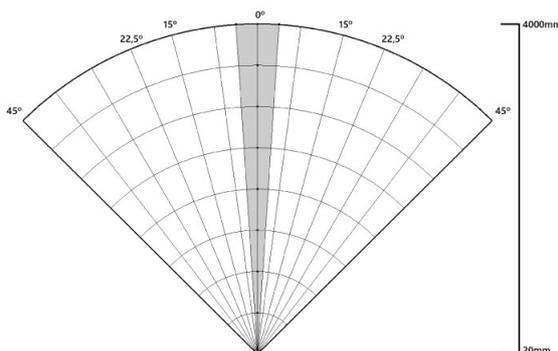
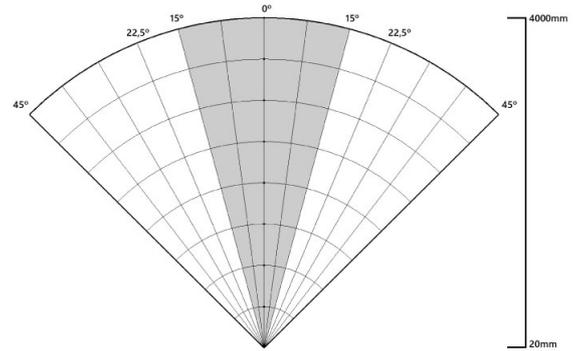


Figura 9: HFOV com objetos em ângulo para com o sensor.



Similarmente, o efeito da angulação dos obstáculos em relação ao sensor se repete no campo de visão vertical (VFOV). Sendo menor a região sensível com objetos paralelos ao sensor e maior com os obstáculos inclinados, sendo os dois casos evidenciados respectivamente nas Figuras 10 e 11. Portanto, constata-se que objetos posicionados com ângulos abertos demais farão a reflexão em direções que não atinjam o componente receptor, criando então um ângulo de reflexão indetectável pelo dispositivo, uma representação deste tipo de posicionamento pode ser visto na figura 12. Objetos paralelos, como na figura 13, apenas são identificados próximos ao eixo central do dispositivo de forma que ocorra o redirecionamento das ondas em direção detectável pelo receptor. Em contrapartida, objetos com ângulos mais fechados entre 15 e 30 graus tendem a refletir as ondas em direção ao receptor sendo facilmente identificados com maior abrangência angular do campo de visão, ilustrado pela figura 14.

Figura 10: VFOV com objetos paralelos ao sensor.

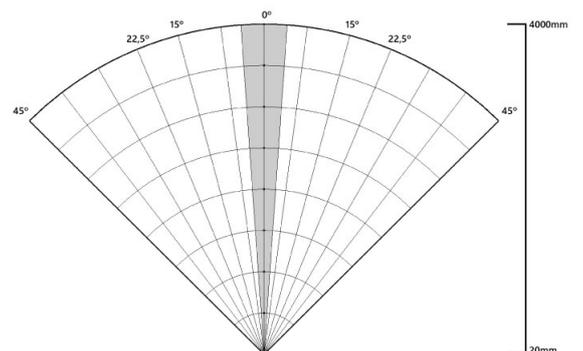


Figura 11: VFOV com objetos em ângulo para com o sensor.

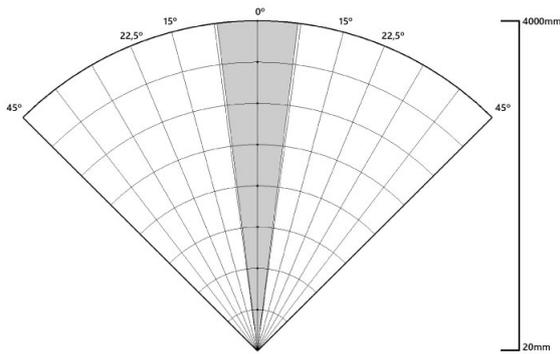


Figura 12: Posicionamento angular demasiadamente aberto em relação ao sensor.

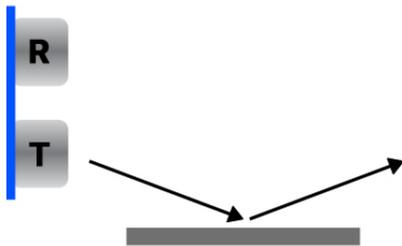


Figura 13: Posicionamento paralelo em relação ao sensor.

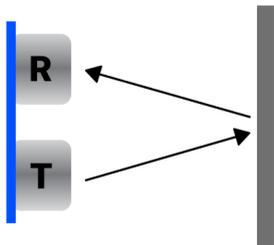
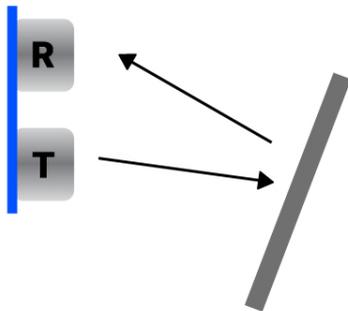


Figura 14: Posicionamento angular adequado em relação ao sensor.



Os demais testes buscavam determinar a influência da dimensão de obstáculos na detecção pelo sensor a fim de determinar sua resolução. Nas figuras 15, 16 e 17 estão representados o alcance máximo para cada uma das 3 caixas utilizadas mencionadas anteriormente.

Figura 15: Alcance de detecção para a caixa de arestas de 60mm.

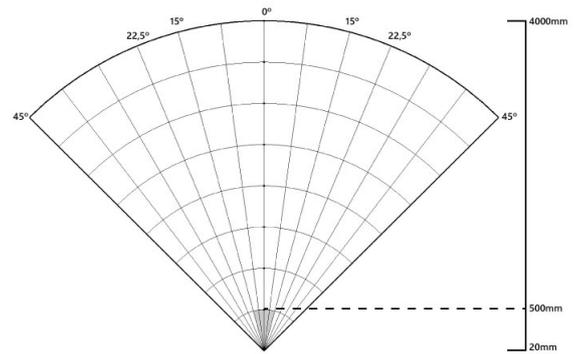


Figura 16: Alcance de detecção para a caixa de 120x100x40mm

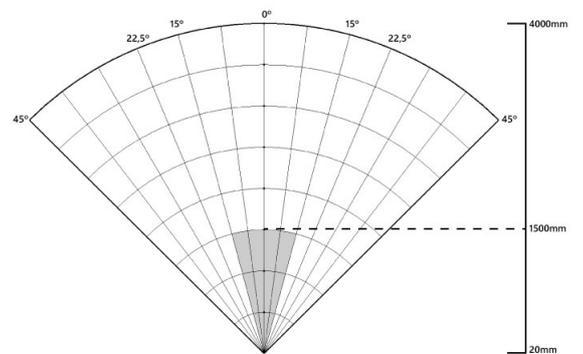
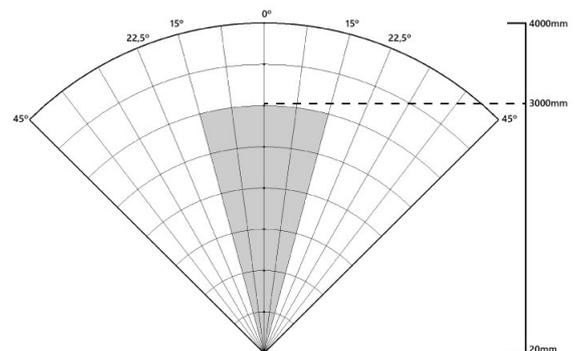


Figura 17: Alcance de detecção para a caixa de 260x160x110mm



Curiosamente, ao contrário do que se estima ao analisar as documentações técnicas do HC-SR04, a abertura vertical e horizontal não é a mesma nos dois sentidos. O sensor apresentou maior alcance lateral do que vertical, uma diferença de quase o dobro de um sentido para o outro. Uma representação tridimensional do campo de visão do sensor foi gerada para se ter uma representação visual da região de sensibilidade que pode ser vista na figura 18.

As características técnicas do HC-SR04 obtidas pelos resultados deste estudo estão listadas na tabela 1.

Figura 18: FOV representado tridimensionalmente.

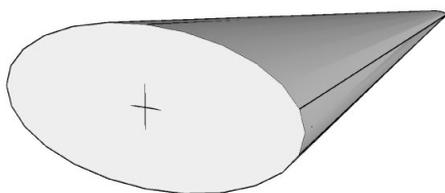


Tabela 1: Características técnicas do HC-SR04

Alcance longitudinal	50 mm a 3.000 mm
VFOV	7 graus
HFOV	15 graus
Resolução	>360 mm <sup>2</sup>
Desvio padrão médio	3,14 mm
Viés médio	186 mm

#### IV. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou uma pesquisa sobre a região de sensibilidade para a detecção de obstáculos de diferentes dimensões, posições angulares e distâncias, além da comparação de consistência de precisão e exatidão entre três unidades de mesmo modelo.

Foi percebido que há diferenças de exatidão entre os sensores HC-SR04 e a precisão das leituras apresentaram similaridades quanto a proximidade entre elas. O alcance dos sensores não foram exatamente iguais, sendo uma das unidades capaz de efetuar leituras até três metros, um metro a menos do que indicado nas documentações técnicas e do que os outros dois sensores analisados neste artigo.

Outros fatores significativos percebidos nos testes é de que o alcance do sensor decresce proporcionalmente com a dimensão do obstáculo, a angulação dos obstáculos interferem na reflexão das ondas emitidas pelo sensor afetando sua detecção, pois angulações muito abertas fazem com que a reflexão seja direcionada para fora do alcance do componente receptor, objetos paralelos ao sensor são detectados em área de menor abertura angular, e objetos que estejam angulados de forma que reflitam as ondas em direção ao receptor podem ser detectados com maior abrangência lateral.

Conclui-se que a aplicabilidade do HC-SR04 não é recomendada em casos de necessidade de extrema exatidão, pois,

devido a sua curta abertura vertical e baixa exatidão, ele se adequa melhor em situações em que há margem segura para lidar com as diferenças de bias do sensor e que não necessite de detecção de obstáculos pequenos, como em situações de sensores de ré em carros e em robôs automatizados uma vez que ambos precisam de uma noção aproximada da distância horizontalmente para antecipar a localização de obstáculos e evitar colisões. Além disso, a diferença entre unidades desse mesmo modelo é notável, sendo recomendado uma comparação prévia entre múltiplas unidades dos sensores para determinar qual será o mais adequado para a aplicação desejada.

#### REFERÊNCIAS

- [1] F. A. M. da Silva. **Phantom de fluxo para calibração de fluxômetro ultrassônico por tempo de trânsito**. Dissertação (Mestrado), UFRJ. 2009.
- [2] G. B. Pereira-Neto. *Avaliação da pressão arterial sistêmica em cães obesos: comparação entre os métodos oscilométrico e doppler ultrassônico*. **Pesq. Vet. Bras.** 34 (Supl.1): 87-91, dezembro 2014. DOI: 10.1590/S0100-736X2014001300016.
- [3] L. A. Reginato et Al. *Avaliação de Pilares de Concreto Armado através de Ensaios de Pulso Ultrassônico*. **Revista de Engenharia Civil IMED**. Vol 4, n. 1, p. 32-47. 2017. ISSN 2358-6508.
- [4] R. M. L. G. Resende. **Avaliação dos efeitos da dani-ficação e da acustoelasticidade sobre a velocidade de pulso ultrassônico em corpos de prova de concreto submetidos a compressão uniaxial**. Dissertação (Mestrado), USP. 2018.
- [5] J. P. Godinho; T. F. Souza Junior; M. H. F. Medeiros; M. S. Silva. *Fatores de influência na velocidade de pulso ultrassônico no concreto*. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**. Vol. 13, número 2, p. 222-247. ISSN 1983-4195. 2020.
- [6] A. M. Nakatani; A. V. Guimarães; Neto, V. M.. *Medição com sensor ultrassônico HC-SR04*. 3º CIMEC.
- [7] L. F. Peretti. **Mapeador de obstáculos tridimensionais por sensor ultrassônico**. Trabalho de conclusão de curso. UTFPR. 2019.