

MITIGAÇÃO DO ERRO DE MEDIÇÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS CAUSADO PELO ÂNGULO DE ABERTURA DOS SENSORES ULTRASSÔNICOS

Carlos Renato Borges dos Santos^{*1}, Eduardo Guimarães Dilácio¹ e Gabriele Fernanda de Souza¹

¹Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM *campus* Paracatu

Resumo - O objetivo deste documento é apresentar uma técnica matemática de correção da distorção provocada pela medição de distância do sensor HC-SR04, que, ao medir uma superfície plana, tal como uma parede, resulta em um formato circular. Tal distorção é provocada pelo formato cônico do ângulo de abertura do sensor. Nesse contexto, a distorção provocada pela dispersão do sinal sonoro, em função do ângulo de abertura do sensor, é matematicamente mitigada para superfícies planas. O Matlab foi utilizado como ferramenta para realizar os cálculos de correção necessários ao estudo. Para as medições, utilizou-se o Arduino, sensores ultrassônicos e servos.

Palavras-Chave - Arduino; HC-SR04; Matlab.

MITIGATION OF MEASUREMENT ERROR ON FLAT SURFACES CAUSED BY THE OPENING ANGLE OF ULTRASONIC SENSORS

Abstract - The objective of this document is to present a mathematical technique for correcting the distortion caused by the distance measurement of the HC-SR04 sensor, which, when measuring a flat surface, such as a wall, results in a circular shape. Such distortion is caused by the conical shape of the sensor opening angle. In this context, the distortion caused by the dispersion of the sound signal, as a function of the sensor opening angle, is mathematically mitigated for flat surfaces. Matlab was used as a tool to perform the necessary correction calculations for the study. For measurements, Arduino, ultrasonic sensors and servos were used.

Keywords - Arduino, HC-SR04; Matlab.

I. INTRODUÇÃO

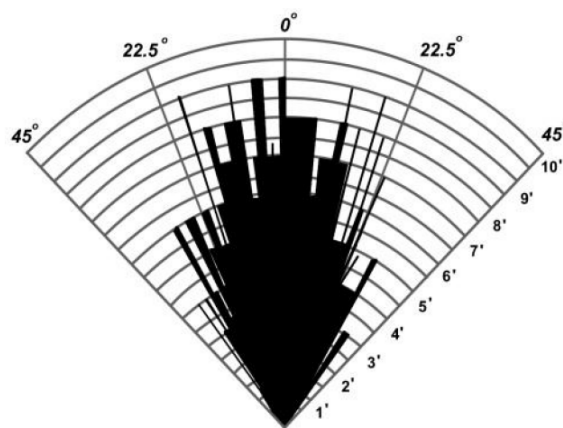
O uso de sensores de distância é largamente utilizado em diversas aplicações, uma vez que são robustos e de custos acessíveis. Podem ser utilizados em plataformas robóticas fixas ou móveis [1].

O trabalho de [2] apresentou um aplicativo que pode enviar dados diretamente para o Excel, plotando dados em tempo real, oriundos das medições de distância e ângulo de um sonar, utilizando o sensor ultrassônico HC-SR 04. Essa forma de obtenção de dados permite agilidade nos estudos utilizando-se esse sensor, uma vez que o processo de copiar e colar dados obtidos por meio do Monitor Serial, para posterior análise, impõe atrasos, dificultando o experimento.

Estudos recentes sobre o sensor ultrassônico podem ser encontrados. O trabalho de [3], além de utilizar o aplicativo mostrado por [2], permitiu o envio dos dados entre um transmissor e um receptor, possibilitando uma análise de dados em tempo real, de medições realizadas a distância, facilitando o estudo em plataformas robóticas móveis.

Pode-se definir o ângulo de abertura como o ângulo em que maior parte da potência do sinal pode ser percebida. O ângulo de abertura do HC-SR04 é de, no máximo, 15° a partir do eixo, completando um total de 30° [4, 5, 6], como visto na Figura 1.

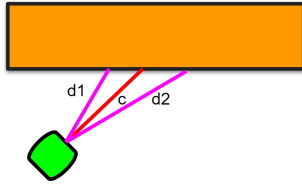
Figura 1: Ângulo de alcance do sensor HC-SR04.



A dispersão do sinal ultrassônico faz surgir um cone, detectado por [4]. Para simplificar as análises da região sensível do sensor, a Figura 2 mostra os três principais feixes, que são: o central e os dois extremos [7]. Neste caso, o ângulo medido será d_1 , pois é o caminho mais curto para emitir e receber o sinal sonoro.

*carlosrenato@iftm.edu.br

Figura 2: Feixes de onda sonora espalhados pelo ângulo de abertura do sensor ultrassônico.



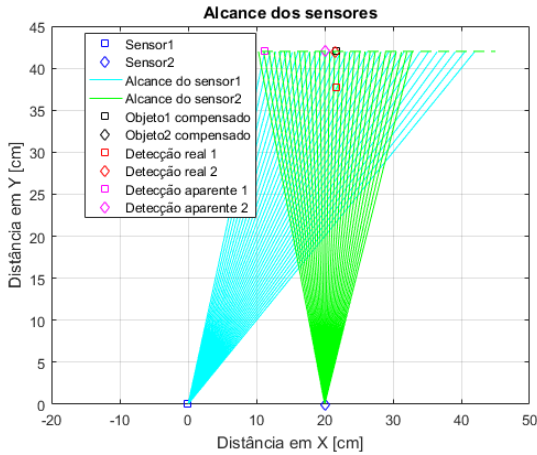
Este trabalho tem como motivação verificar a suposição de que o ângulo de abertura do sensor ultrassônico seja a causa das distorções medidas por [3], em decorrência de medições de uma superfície plana, ocorrida durante o mapeamento de diferentes obstáculos.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em realizar o mapeamento de uma superfície plana, tal como uma parede. O algoritmo de simulação do Matlab parte do princípio de que há uma superfície plana à frente do sensor ultrassônico, e este encontrando-se sobre um servo, capaz de rotacionar o sensor em ângulos entre 0° e 180° [8].

São utilizados dois sensores ultrassônicos distanciados de uma distância L em frente a uma superfície plana, para que os dados sejam comparados, como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Simulação de dois sensores.



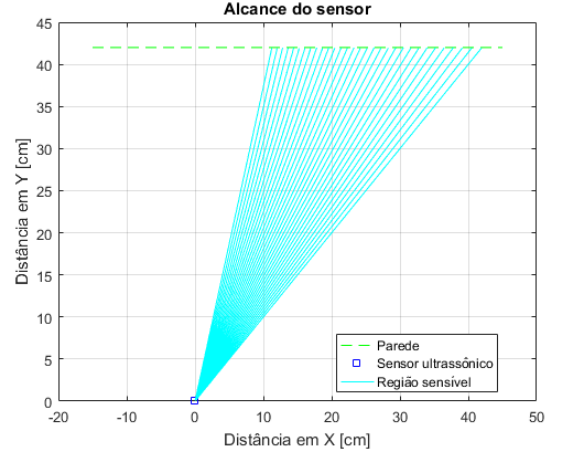
A detecção de cada ponto consistirá em duas etapas. Na primeira, o sensor 1 realiza a varredura, determinando o ângulo e a distância, havendo o cálculo de ajuste do ponto detectado. Na segunda etapa, o segundo sensor será apontado por meio do cálculo do ângulo, medindo a distância e realizando o cálculo de correção. Se a distância medida pelos sensores estiverem próximas, o procedimento estará correto.

Nesse ambiente, são mostrados os parâmetros considerados na simulação, que são: a superfície plana (parede), sensor ultrassônico e região de sensibilidade, em que há 31 feixes que medem a distância entre o sensor e a superfície plana. A Figura 4 mostra o campo de visão do sensor 1.

De acordo com o funcionamento do sensor ultrassônico, este envia um sinal sonoro numa região limitada em 30° , que, ao refletir na superfície plana, volta ao sensor. Ao medir o

tempo gasto desde a emissão até a recepção do sinal, calcula-se a distância do sensor à superfície plana. Para caracterizar o sensor, cada feixe mede a distância entre o sensor e a superfície, cujo valor é armazenado pela equação 1. Portanto, a distância medida pelo sensor é dada pelo menor valor do vetor vet_{dist} , como mostrado na equação 2.

Figura 4: Simulação dos feixes do sensor 1.

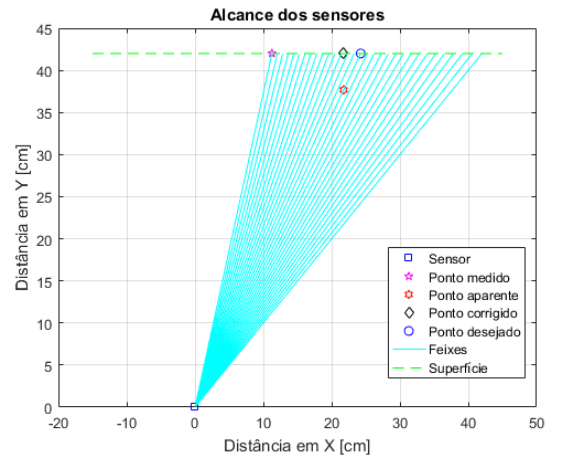


$$V_d = [v_1, v_2, \dots, v_{31}] \quad (1)$$

$$d = \min(V_d) \quad (2)$$

Na Figura 5, podem ser encontrados os pontos principais da simulação, descritos a seguir. O primeiro ponto com distância d e ângulo α , que deveria ser o ponto de medição, é representado por um círculo azul. O segundo, uma estrela de cinco pontas na cor lilás, que representa o ponto efetivamente medido, uma vez que é o ponto de menor distância (d_1) entre o obstáculo plano e o sensor. O terceiro é o hexágono vermelho, que representa o ponto medido com distorção, por possuir a coordenada polar ($d_1 \angle \alpha$). O quarto e último, o losango preto, é o ponto com a correção da distorção.

Figura 5: Pontos de medição: real, desejado e aparente do sensor 1.



Por fim, o ponto corrigido é obtido por meio da consideração de que a superfície medida seja plana e perpendicular ao sensor, cujas equações são mostradas a seguir.

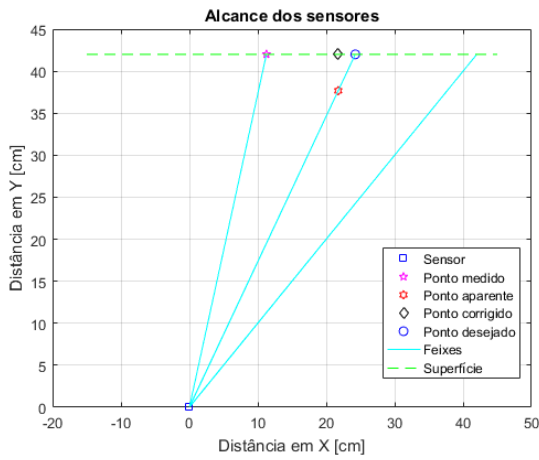
$$\theta = \begin{cases} \alpha - \delta_s \\ \alpha \\ \alpha + \delta_s \end{cases} \quad (3)$$

Onde:

- α - ângulo do servomotor.
- δ_s - ângulo de abertura do sensor.

Observando a Figura 6, no eixo das ordenadas, o ponto aparente e o ponto desejado possuem o mesmo valor, ao passo que o ponto desejado e o ponto aparente possuem o mesmo ângulo α . Já o ponto medido possui um dos ângulos, mostrados pela equação 3, uma vez que o feixe de menor distância é determinado por um desses ângulos.

Figura 6: Feixes principais para determinar o ponto corrigido.



A Figura 6 mostra os três principais feixes, oriundos dos ângulos da equação 3. Nessa figura, os pontos medido e aparente possuem a mesma distância do sensor. Já os pontos aparente e desejado possuem o mesmo ângulo α . Os pontos desejado, medido e corrigido possuem a mesma ordenada. Os pontos aparente e corrigido possuem a mesma abscissa. Mostradas essas propriedades, a equação 4 calcula três pontos em que podem estar a ordenada do ponto desejado (bem como do ponto medido e corrigido).

$$\begin{cases} D_{Y1} = d \cdot \text{sen}(\alpha - \delta_s) \\ D_{Y2} = d \cdot \text{sen}(\alpha) \\ D_{Y3} = d \cdot \text{sen}(\alpha + \delta_s) \end{cases} \quad (4)$$

Onde:

- d - distância determinada pela equação 2.

Das três hipóteses, a ordenada utilizada neste modelo é dada pela equação 5.

$$Y_c = \max([D_{Y1}, D_{Y2}, D_{Y3}]) \quad (5)$$

As principais medidas das abscissas são mostradas na equação 6.

$$\begin{cases} D_{X1} = d \cdot \text{cos}(\alpha - \delta_s) \\ D_{X2} = d \cdot \text{cos}(\alpha) \\ D_{X3} = d \cdot \text{cos}(\alpha + \delta_s) \end{cases} \quad (6)$$

A partir dessa informação, a abscissa do ponto corrigido é determinada pela equação 7.

$$X_c = \text{mediana}([D_{X1}, D_{X2}, D_{X3}]) \quad (7)$$

Observando, ainda, a Figura 6, o ponto corrigido é aquele mais próximo a todos os outros, o que o torna o melhor ponto a ser adotado.

O ponto corrigido, portanto, possui a coordenada mostrada na equação 8.

$$P_{\text{corrigido}} = (X_c, Y_c) \quad (8)$$

A partir da análise dos resultados computacionais, desenvolveu-se o protótipo com os materiais mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Material utilizado

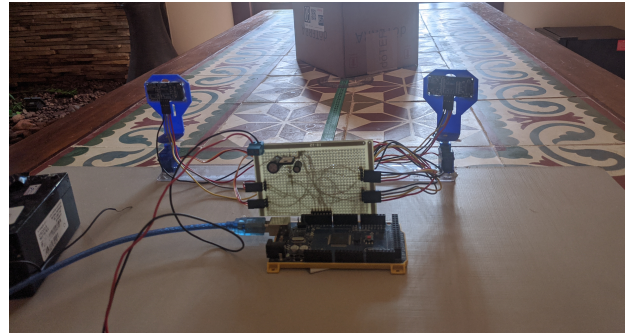
Quantidade	Material
1	Arduino Mega 2560
2	Servo 9g
2	HC-SR04
1	Bateria 12 V
1	Regulador de tensão 7805
2	Capacitor 100 μF
1	Placa fenolite perfurada

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da modelagem desenvolvida, foram realizadas medições girando entre 20 e 160 graus. Os resultados a seguir estão em milímetros, a fim de melhorar a resolução da medida, haja vista a natureza das variáveis utilizadas no Arduino [9].

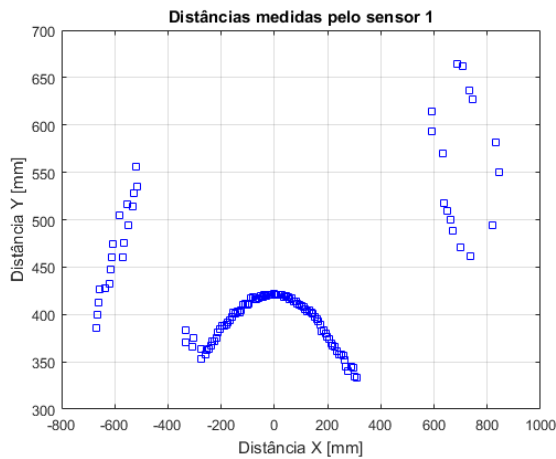
A Figura 7 mostra o protótipo montado. Notam-se os componentes: uma bateria, dois servos, dois HC-SR04, Arduino e placa de circuito, conforme os materiais apresentados na Tabela 1.

Figura 7: Protótipo montado.



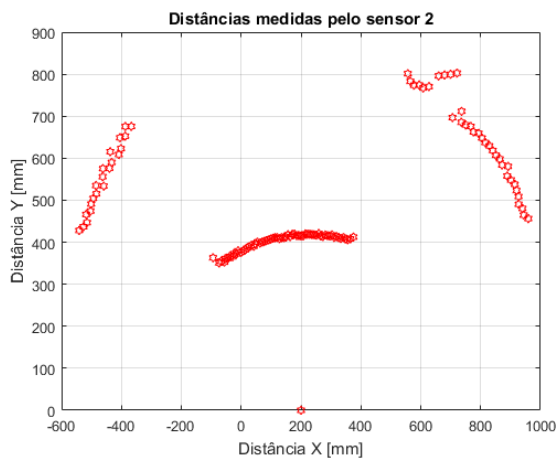
A Figura 8 mostra os pontos medidos pelo sensor 1. Podem ser notadas três regiões de medição. Nas extremidades podem ser interpretadas medições errôneas, causadas possivelmente pela reflexão dos sinais ultrassônicos no ambiente de medição. Todavia, na região central, pode ser vista a formação de uma curva, como relatado no estudo de [3].

Figura 8: Dados brutos de medição do sensor 1.



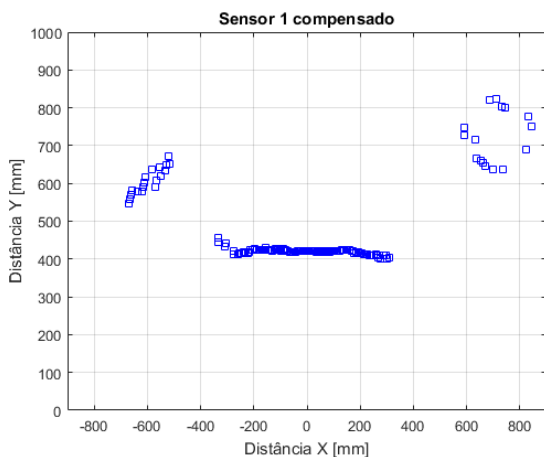
Na Figura 9, são mostradas as medições coletadas pelo sensor 2. Da mesma forma, há três regiões de medição. A região central também forma uma curva, assim como detectada pelo sensor 1.

Figura 9: Dados brutos de medição do sensor 2.



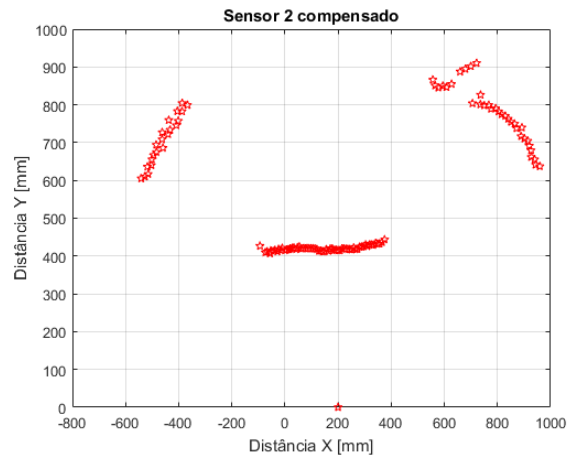
A Figura 10 mostra os dados de medição do sensor 1 compensados. A região central representa uma reta, o que se deveria esperar na medição de uma superfície plana.

Figura 10: Dados de medição corrigidos do sensor 1.



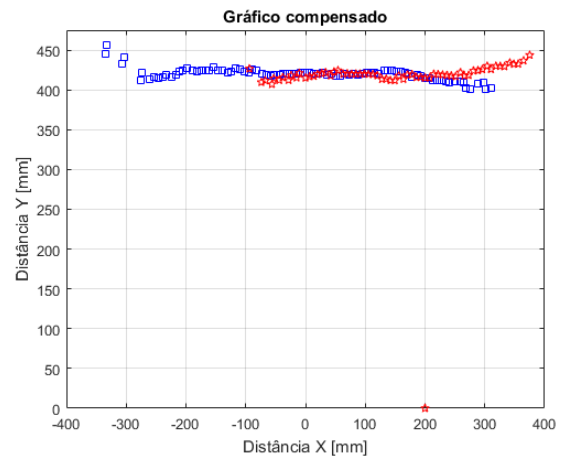
Novamente, na Figura 11, os dados do sensor 2 foram compensados, resultando numa linearidade na região central do gráfico.

Figura 11: Dados de medição corrigidos do sensor 2.



Para finalizar a análise, a Figura 12 mostra a combinação dos dois sensores, retiradas as medições inválidas. Nesta mesma figura, também é perceptível que a distância medida condiz com o experimento, uma vez que a distância entre os sensores e a superfície plana foi de 42 centímetros.

Figura 12: Dados de medição corrigidos dos dois sensores, retiradas as medições errôneas.



IV. CONCLUSÕES

Este trabalho iniciou os estudos sobre a aplicabilidade de sensores ultrassônicos podendo ser utilizados para a estimativa de percepção de uma superfície plana, por meio de uma correção matemática das medições. Nesta primeira etapa foi realizada a medição e correção de dois sensores ultrassônicos, realizando medições de forma independente. Logo, os dois sensores, mesmo colocados a uma distância de 200 milímetros de distância entre eles, apresentaram valores coerentes entre si. As correções realizadas, além de mostrarem a superfície plana, também mostraram a distância correta entre a superfície e os sensores.

Neste estudo, conseguiu-se corrigir o problema da distorção

das medições para superfícies planas. Entretanto, novos estudos devem ser realizados para verificar se o algoritmo desenvolvido é capaz de realizar a correção em outras superfícies. Além disso, pretende-se medir a superfície de forma estéreo, ou seja, dois sensores apontados para um mesmo ponto, potencializando a correção de distorções ou até mesmo em medições errôneas.

Dessa forma, este estudo pode contribuir para outros trabalhos que visem análises e experimentos semelhantes.

REFERÊNCIAS

- [1] CORREIA, D. S. O. **Navegação autônoma de robôs móveis e detecção de intrusos em ambientes internos utilizando sensores 2D e 3D**. 2013. Dissertação de mestrado, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2013.
- [2] F. B. F. Pinto, J. E. F. Assis, T. H. S. Vieira, C. R. B. Santos, A. F. P. Camargos, F. S. Silva, "Projeto de um sensor ultrassônico com visualização de dados em tempo real utilizando Excel", *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia*. 2019. DOI: 10.14295/2596-2221.xviiceel.2019.373
- [3] F. B. F. Pinto. **Mapeamento de ambiente de forma remota com visualização em tempo real utilizando Excel**. Instituto Federal de Minas Gerais, Formiga-MG, 2021.
- [4] Giovane Volpato; Carlos Renato Borges dos Santos; Ana Flávia Rezende de Camargos. "ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE DETECÇÃO DE OBSTÁCULOS PELO MÓDULO SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04". *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia-UFU*,2021. DOI: 10.56316/2596-2221.xixceel.2021.663.
- [5] Elijah J. Morgan. **HC-SR04 Ultrasonic Sensor**. 16/november/2014.
- [6] HandsOn Technology. **HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module**. www.handsontec.com.
- [7] F. B. F. Pinto. "USO DO HC-SR04 E DO MATLAB PARA MAPEAMENTO DE AMBIENTE E TRATAMENTO DE DADOS". *Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia-UFU*, 2022. DOI: 10.56316/2596-2221.xixceel.2021.626
- [8] THOMSEN, Adilson. Micro Servo Motor 9g SG90 com Arduino Uno. **FILIFELOP**, 2013. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/micro-servo-motor-9g-sg90-com-arduino-uno/>. Acesso em: 26 de Jun. de 2021.
- [9] C. R. B. Santos. **Fundamentos de projetos eletrônicos utilizando o Arduino - Teoria Digital**. Editora LTC, 2021.