



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica,
CREEM 2019
19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA, Brasil

RADAR ULTRASSÔNICO PARA O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA DETECÇÃO DE OBJETOS DE DIFERENTES FORMATOS GEOMÉTRICOS E MATERIAIS CONSTITUINTES

Davi Lucas F. de Carvalho, davilucas_carvalho@live.com¹

Silvio Leonardo Valença, silviovalenca@bol.com.br²

Cochiran Pereira dos Santos, cochiran@hotmail.com³

^{1,2,3}Departamento de Engenharia, Centro Universitário Estácio de Sergipe

Resumo. O objetivo do presente trabalho visa o estudo de como a radiação eletromagnética interage com a matéria e de como as ondas podem sofrer reflexão e atenuação a depender da constituição e da geometria do objeto em estudo com o uso de um radar ultrassônico. O protótipo do radar é basicamente composto por um microcontrolador Arduino, um sensor ultrassônico e um servo motor para realizar a varredura em 180°, juntamente com o código fonte. Foram efetuadas diversas medidas de distância e ângulo de objetos de vários formatos geométricos e diferentes composições sem contato físico, por meio da aquisição do tempo de ida e volta dos pulsos transmitidos pelo radar. Os resultados evidenciaram que a intensidade de reflexão das ondas eletromagnéticas depende fortemente do material de que é constituído esse objeto e de sua forma geométrica. Já o ângulo não teve influência nas medidas, pois o sistema faz uma varredura de um semicírculo no espectro. Sendo assim, esse equipamento demonstrou grande alcance em diversas áreas do conhecimento, como ciência e engenharia de materiais, mecânica, mecatrônica, eletrônica e física, possibilitando a aptidão necessária para desenvolver projetos em qualquer área de interesse e atuação.

Palavras chave: Radar; Detecção de objetos; Materiais Constituintes; Arduino, Sensor Ultrassônico.

1. INTRODUÇÃO

A invenção do radar não é creditada a uma única nação ou pessoa, já que a descoberta e o desenvolvimento da tecnologia necessária é fruto de um acúmulo de muitos desenvolvimentos e melhorias, em que vários cientistas participaram paralelamente. O início se dá em 1865, quando o físico James Maxwell apresenta a teoria do campo eletromagnético, que descreve as ondas eletromagnéticas e sua propagação pelo espaço na velocidade constante da luz. Em 1886, o físico Heinrich Hertz demonstrou experimentalmente as ondas eletromagnéticas, comprovando assim a teoria de Maxwell (SKOLNIK, 2012).

O primeiro cientista a sugerir que a reflexão de ondas eletromagnéticas poderia ser usada para detectar objetos metálicos em movimento foi Nicola Tesla, em 1900. Em 1904, o engenheiro Christian Hülsmeyer faz um monitoramento em água com baixa visibilidade, que seria o primeiro teste prático do radar. Já em 1922 os engenheiros elétricos Albert Taylor e Leo Young, ambos do Laboratório de Pesquisa Naval (EUA), localizam um navio pela primeira vez com um tubo transmissor denominado magnetron, e a primeira aeronave seria rastreada em 1930, por Lawrence Hyland (HYLAND, 1934).

Sir Robert Watt projetou um equipamento com ondas de rádio para detectar aeronaves à distância e em 1939, os engenheiros John Randall e Henry Boot construíram um pequeno, mas potente radar, que equipou os aviões B-17, que podiam encontrar e combater os submarinos alemães à noite e ao nevoeiro. Na década de 1940, diferentes equipamentos de radar são desenvolvidos nos Estados Unidos, Rússia, Alemanha, França e Japão, impulsionados fortemente pela Segunda Guerra Mundial (WATSON, 2009).

Hoje os radares são usados nas mais diversas áreas, como em aplicações militares na defesa aérea para detecção e reconhecimento de alvos, em sistemas para guiar mísseis, no controle de tráfego aéreo no monitoramento de aeronaves, no controle de tráfego no solo, para monitorar o gelo do mar e assegurar uma rota segura para os navios, formações meteorológicas, para determinar a velocidade de veículos em cidades e rodovias, no espaço para detectar e rastrear satélites, monitorar meteoros, observar sistemas planetários etc. (YADAV, 2016).

A implementação e operação de sistemas de radares envolvem uma ampla gama de disciplinas, como obras de construção, engenharia mecânica e elétrica pesada, engenharia de micro-ondas de alta potência e técnicas avançadas de processamento de sinais e dados de alta velocidade. Mas o princípio físico no qual o radar opera é muito semelhante ao princípio da reflexão das ondas sonoras.

Um sistema de radar consiste em um transmissor que produz ondas eletromagnéticas no domínio do rádio (ou micro-ondas), uma antena transmissora, uma antena receptora (geralmente a mesma antena é usada para transmitir e receber) e

um receptor ligado a um processador para determinar as propriedades do objeto alvo. As ondas de rádio transmitidas, que podem ser pulsadas ou contínuas, são refletidas se encontrarem uma superfície eletricamente dominante. Se estas ondas refletidas são recebidas novamente no lugar de sua origem, então isso significa que um obstáculo está em sua direção de propagação, provocando uma perturbação no sistema. Essa energia retornada é chamada de eco, assim como na terminologia sonora. Os sinais de eco dos objetos estacionários estão na mesma fase e, portanto, são cancelados, enquanto os sinais de eco de um objeto em movimento terão algumas mudanças na fase, evidenciadas pelo efeito Doppler (SKOLNIK, 2015).

Com base nessas informações, pode-se determinar o alcance, o ângulo e a velocidade dos objetos. A medição do alcance ou distância do radar é possível devido às propriedades da energia eletromagnética irradiada, que viaja pelo ar a uma velocidade constante, aproximadamente igual à velocidade da luz no vácuo, cerca de 300 mil quilômetros por segundo. Essa velocidade constante permite a determinação da distância entre os objetos refletores (aviões, navios, carros) e o local do radar através da aquisição do tempo de ida e volta dos pulsos transmitidos. Com o respectivo tempo t conhecido, a distância d entre um alvo e o conjunto de radares pode ser calculada através da Eq. (1), em que c_0 é a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo e t é o tempo decorrido medido:

$$d = \frac{c_0 \cdot t}{2} \quad (1)$$

A divisão por 2 se deve ao fato de que a onda é enviada e refletida, percorrendo assim duas vezes a distância real entre o sensor e o objeto. A velocidade média, representada em metros por segundo, é igual ao espaço percorrido (S) em metros, sobre o tempo (em segundos), podendo ser determinada pela Eq. (2) (HALLIDAY et al., 2009):

$$v = \frac{s}{t} \quad (2)$$

Como a radiação eletromagnética viaja através do espaço em linha reta, e varia apenas ligeiramente devido às condições atmosféricas e climáticas, esta energia pode ser focada em uma direção desejada. Assim, a direção é determinada pelo ângulo medido no plano horizontal entre o meridiano do lugar do observador e o plano vertical que contém o ponto observado (azimute) dos objetos refletivos (JENN, 2011).

A intensidade de reflexão das ondas eletromagnéticas depende fortemente do material de que é constituído o objeto e de sua forma geométrica, podendo haver desvio das ondas de rádio para longe do radar que as enviou, evitando que elas retornem ao equipamento e indiquem sua posição, além de absorção de parte da onda incidente. Como exemplo, materiais não-metálicos como borracha, polímeros e compostos de carbono, são capazes de absorver uma parte das ondas, do mesmo modo que um objeto negro consegue absorver a luz. A eficiência de absorção também aumenta com a espessura do material absorvedor e é caracterizada pelos coeficientes de absorção (ou atenuação) da radiação, sendo representado em metros inversos no sistema internacional de unidades. São exemplos de materiais bons refletores os metais de maneira geral, o vidro, chumbo, madeira maciça de alta dureza e plásticos (CALLISTER, 2016).

Sistemas de radar sempre foram grandes e dispendiosos, mas com o advento de novas tecnologias, os circuitos geradores de ondas utilizados nos transmissores e receptores, bem como os processadores de sinais, foram miniaturizados, podendo se tornar parte de uma vasta gama de projetos baseados nas leis de propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas.

Um exemplo dessa possibilidade é utilizar um microcontrolador (também denominado MCU), um computador em um chip, que contém um microprocessador, memória e periféricos de entrada/saída. Ele pode ser embarcado no interior de algum outro dispositivo, para que possa controlar suas funções ou ações. O dispositivo mais comum é o Arduino, um kit de desenvolvimento que pode ser visto como uma unidade de processamento capaz de mensurar variáveis do ambiente externo, transformadas em um sinal elétrico correspondente através de sensores ligados aos seus terminais de entrada. Esse microprocessador faz parte da chamada computação física, em que o software interage diretamente com o hardware por uma linguagem de programação padrão, tornando possível a integração fácil com sensores, motores e outros dispositivos eletrônicos. De posse da informação, ele pode processá-la computacionalmente e atuar no controle ou no acionamento de algum outro elemento eletroeletrônico conectado a algum terminal de saída (VEGA, 2013). O módulo Arduino devidamente programado pode ser acoplado a um sensor de distância ultrassônico para medidas de distância de objetos sem contato de 2 a 400 cm. A precisão de alcance do sensor de distância ultrassônico é de 5 mm e o ângulo efetivo é $<15^\circ$. Esse circuito ainda pode fazer uma varredura de 180° e digitalizar a área, assim como ocorre nos radares de aeronaves, através do acionamento de um servo motor, enviando todos os dados para serem exibidos na tela de um PC pela porta serial (ARDUINO, 2019; CAMINO, 2019).

O objetivo deste trabalho visa o estudo de como a radiação eletromagnética interage com a matéria e de como as ondas podem sofrer reflexão e atenuação a depender da constituição e da geometria do objeto em estudo com o uso de um radar ultrassônico. O termo radar é um acrônimo das palavras em inglês Radio Detection and Ranging System, que significa Sistema de Detecção de Rádio e Alcance. É basicamente um sistema eletromagnético usado para detectar a localização e a distância de um objeto a partir do ponto em que se encontra o radar. Ele funciona irradiando energia para o espaço e monitorando o eco ou o sinal refletido dos objetos (US NAVY, 2017).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo do radar é basicamente composto por um microcontrolador Arduino UNO, um sensor ultrassônico HC-SR04 e um servo motor modelo SG90, alimentados por uma fonte de tensão contínua de 9 V e um cabo USB para a comunicação com o computador, além de fios para conexão.

A Fig. 1 demonstra o protótipo do radar com o sensor ultrassônico acoplado ao servo motor para ser possível realizar a varredura em 180°.

Figura 1. Protótipo do radar com o sensor ultrassônico acoplado ao servo motor (próprio autor, 2019)



Foi inserido um código fonte na IDE do Arduino (ARDUINO, 2019), ou seja, foi realizado o upload do código que tem como objetivo programar o giro do servo motor e também fazer o sensor ultrassônico retornar a distância do objeto que ele está detectando, através da reflexão das ondas eletromagnéticas. Em seguida, foi realizado também o upload com o programa Processing (PROCESSING, 2018), para que o código transforme o movimento do servo motor programado no Arduino em algo visual, no nosso caso, a tela em 180° projetada no monitor, assim como em um radar de uso profissional.

Para o teste e aferição do radar, foi colocado um objeto plano de metal na frente do sensor ultrassônico a distâncias conhecidas previamente de 30, 60, 120 e 240 cm, medidas com o auxílio de uma trena com incerteza de 0,5 mm, sendo esse objeto identificado na tela do radar como uma mancha vermelha com a respectiva distância exibida na parte inferior direita da tela, assim como o ângulo do objeto em relação ao sensor, como mostra a Fig. 2 a seguir.

Figura 2. Imagem do radar em 180° na tela do monitor (próprio autor, 2019)



Na Tab. 1 estão dispostos os resultados das medidas de aferição do radar a diferentes distâncias. Todas as medidas foram realizadas em triplicata e o resultado final considerado é a média aritmética dessas medições com o respectivo desvio padrão. Somente após a aferição do radar com um objeto plano é que foram feitas medidas com objetos de outros formatos e constituição.

Tabela 1. Resultados das medidas de aferição do radar a diferentes distâncias (próprio autor, 2019)

Material utilizado	Formato do objeto	Distância do sensor (cm)	Resultado obtido (cm)
Placa de alumínio	Plano	30	(30 ± 1)
		60	(61 ± 1)
		120	(119 ± 1)
		240	(238 ± 3)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da aferição do radar com o objeto plano de metal na frente do sensor ultrassônico a distâncias conhecidas previamente, foram efetuadas diversas medidas de distância e ângulo de objetos de vários formatos geométricos e diferentes composições sem contato físico, por meio da aquisição do tempo de ida e volta dos pulsos transmitidos com o radar baseado em um sensor ultrassônico. A precisão da medida na tela é de 1 cm e o circuito faz uma varredura de 180° com um servo motor, digitalizando a área como em radares de aeronaves.

Primeiramente foram utilizados diversos objetos planos de diferentes materiais, não havendo detecção do sinal no intervalo de medição utilizado, que foi de 30 a 240 cm com papelão e isopor, enquanto parede de alvenaria, vidro e metal foram facilmente detectados e os resultados estão de acordo com os testes de aferição mencionados anteriormente, ou seja, dentro do desvio padrão, conforme podemos observar na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados das medidas de objetos planos de diferentes materiais a diferentes distâncias (próprio autor, 2019)

Material utilizado	Formato do objeto	Distância do sensor (cm)	Resultado obtido (cm)
Papelão	Plano	30	nd
		60	nd
		120	nd
		240	nd
Isopor	Plano	30	nd
		60	nd
		120	nd
		240	nd
Parede de alvenaria	Plano	30	(29 ± 1)
		60	(60 ± 1)
		120	(119 ± 2)
		240	(239 ± 4)
Vidro	Plano	30	(30 ± 0)
		60	(60 ± 0)
		120	(119 ± 1)
		240	(239 ± 2)
Placa de alumínio	Plano	30	(30 ± 1)
		60	(61 ± 1)
		120	(119 ± 1)
		240	(238 ± 3)

nd = não detectado

Na Tab. 3 encontram-se os resultados dos objetos detectados anteriormente quando revestidos com camurça, Etil Vinil Acetato (EVA) e cinco folhas de papel carbono. Notamos que o vidro continuou sendo detectado mesmo quando revestido com esses três materiais e em todas as distâncias, demonstrando ser o que possui maior reflexão das ondas eletromagnéticas. A parede atenuou o sinal de tal forma que não houve reflexão do sinal transmitido quando revestida por esses materiais a uma distância superior a 60 cm e o metal, quando revestido com camurça e EVA, continuou sendo detectado até a distância limite adotada de 240 cm, porém, apresentou comportamento distinto quando revestido com papel carbono, demonstrando atenuação linear do sinal com a distância em relação ao número de folhas utilizadas devido à combinação da absorção desse material e a consequente reflexão do metal.

Tabela 3. Resultados das medidas de objetos planos revestidos a diferentes distâncias (próprio autor, 2019)

Material utilizado	Formato do objeto	Distância do sensor (cm)	Resultado obtido (cm)		
			Camurça	EVA	Papel carbono
Parede de alvenaria	Plano	30	(30 ± 2)	(29 ± 2)	(29 ± 2)
		60	(58 ± 3)	(57 ± 3)	(58 ± 2)
		120	nd	nd	nd
		240	nd	nd	nd
Vidro	Plano	30	(30 ± 1)	(30 ± 1)	(29 ± 1)
		60	(59 ± 2)	(61 ± 1)	(59 ± 2)
		120	(118 ± 2)	(119 ± 2)	(119 ± 2)
		240	(237 ± 3)	(238 ± 2)	(239 ± 4)

Placa de alumínio	Plano	30	(29 ± 2)	(29 ± 1)	(30 ± 1)
		60	(59 ± 1)	(58 ± 2)	(58 ± 2)
		120	(118 ± 2)	(117 ± 3)	(116 ± 4)
		240	(239 ± 4)	(238 ± 3)	(234 ± 5)

nd = não detectado

Na última parte do experimento, com base nos resultados preliminares (Tab. 3), utilizamos somente objetos de vidro e de metal no formato cilíndrico com diâmetro de 6,0 cm para simular o corpo de aeronaves. Observou-se que o vidro mesmo com esse formato, sendo revestido ou não, apresenta forte reflexão e fácil detecção. No metal o comportamento demonstrou forte influência do revestimento com carbono, ocorrendo atenuação ainda maior devido ao formato, sendo mais difícil ser detectado, como pode ser visto na Tab. 4.

Tabela 4. Resultados das medidas de objetos cilíndricos de vidro e de metal a diferentes distâncias (próprio autor, 2019)

Material utilizado	Formato do objeto	Distância do sensor (cm)	Resultado obtido (cm)		
			Camurça	EVA	Papel carbono
Vidro	Cilíndrico	30	(30 ± 2)	(30 ± 2)	(29 ± 2)
		60	(59 ± 2)	(59 ± 2)	(58 ± 2)
		120	(118 ± 3)	(119 ± 3)	(117 ± 3)
		240	(235 ± 4)	(237 ± 4)	(234 ± 4)
Alumínio	Cilíndrico	30	(29 ± 2)	(29 ± 1)	(30 ± 2)
		60	(59 ± 2)	(58 ± 2)	(59 ± 3)
		120	(118 ± 4)	(116 ± 3)	(116 ± 4)
		240	(236 ± 5)	(235 ± 4)	nd

nd = não detectado

Sendo assim, concluímos que o protótipo obteve excelentes resultados em relação às medidas das distâncias de diversos objetos pela detecção do sinal transmitido e refletido, evidenciando que a intensidade de reflexão das ondas eletromagnéticas depende fortemente do material de que é constituído esse objeto e de sua forma geométrica. Já o ângulo não teve influência nas medidas, pois o sistema faz uma varredura de 180° no espectro.

O vidro mostrou ser o material com maior reflexão do sinal transmitido seguido do objeto metálico e da parede de alvenaria, enquanto papelão e isopor apresentaram alto poder de atenuação das ondas eletromagnéticas, ao menos na região do ultrassom na qual exploramos.

Esse experimento demonstrou ainda grande alcance em diversas áreas do conhecimento, como ciência e engenharia de materiais, mecânica, mecatrônica, eletrônica e física, possibilitando aos envolvidos a aptidão necessária para desenvolver projetos em qualquer área de interesse e atuação.

4. REFERÊNCIAS

- Arduino, 2018. "Creative Technologies in the Classroom". 10 mar. 2019 <<https://www.arduino.cc/en/Main/Education>>.
- Avinash, S.Y., Sanjiv, K., 2016. "A Review Paper on Radar System". *National Conference on Innovations in Micro-electronics, Signal Processing and Communication Technologies*.
- Callister, W.D.; Rethwisch, D.G., 2016. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução - 9ª Ed.* Editora LTC.
- Camino, T., 2018. "Arduino como radar". 16 mai. 2019 <https://github.com/tomasdecamino/ArduinoStuff/tree/master/Arduino_Radar>.
- Halliday D.; Resnick R.; Walker J., 2009. *Fundamentos de Física: mecânica*. Volume 1. 8ª edição. Editora LTC.
- Hyland, L.A., Taylor, A.H., Young, L.C., 1934. *System for detecting objects by radio*, U.S. Patent No. 1981884.
- Jenn, D., 2011. "Radar Fundamentals". *Department of Electrical & Computer Engineering*, Naval Postgraduate School. 17 abr. 2019 <<http://www.nps.navy.mil/faculty/jenn>>.
- Processing. "Open Source Software". *Processing Development Environment*. 10 mar. 2019 <<https://processing.org/download/>>.
- Skolnik, M.I., 2015. *Introduction to Radar Systems*. Ed. McGraw Hill, New York.
- United States Navy, 2018. *Abbreviations and acronyms*. 11 mai. 2019 <<http://www.globemaster.de/regabbre2.html>>.
- Vega, A.S. et al., 2013. "Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino". *Tutoriais PET-Tele*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil.
- Watson, R.C., Jr., 2009. *Radar Origins Worldwide: History of Its Evolution in 13 Nations Through World War II*. Ed. Trafford Publishing, New York.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.