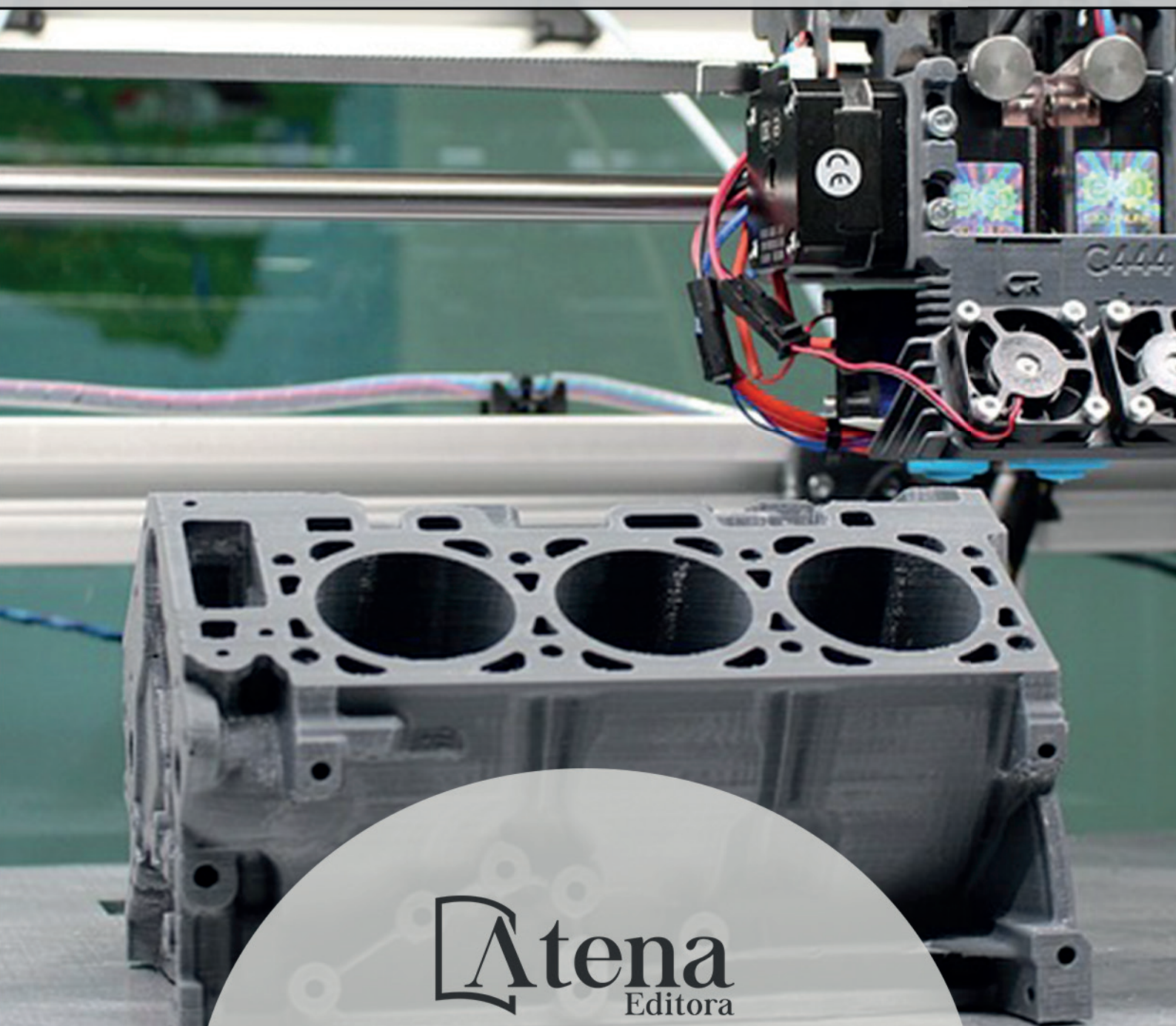


# Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**Franciele Bonatto**  
**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Engenharias Mecânica e Industrial: Projetos e Fabricação**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E57    Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : projetos e fabricação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
ISBN 978-85-85107-76-5  
DOI 10.22533/at.ed.765180511

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica.  
3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Surgida durante a Revolução Industrial na Europa no século XVIII, a Engenharia Mecânica de maneira sucinta, pode ser definida como o ramo da engenharia que se dedica a projetos, produção e manutenção de máquinas.

Nesta obra é conciliado estes dois fundamentos que são pilares na profissão de engenheiro mecânico; Projetos e fabricação. Felizmente é possível perceber que estes dois fundamentos da engenharia mecânica e industrial continuam sendo pontos fortes da formação de profissionais nesta área e dos docentes pesquisadores envolvidos neste processo.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de projetos e fabricação no âmbito da engenharia.

Trabalhos envolvendo caracterização de materiais são importantes para a execução de projetos dentro de premissas de desempenho e econômicas adequadas. Eles continuam a ser a base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais para o design do produto em concepção.

Dentro deste livro também são contemplados temas eminentemente práticos emissão de motores de combustão interna, bancadas didáticas de bombeamento, tuneis de vento além de problemas clássicos da indústria como tubulações e lubrificação.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>1</b>  |
| ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DO AÇO SAE 1020   |           |
| <i>Amadeu Santos Nunes Junior</i>  |           |
| <i>Rodrigo da Silva Miranda</i>  |           |
| <i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>8</b>  |
| AJUSTE DE CURVAS DOS PARÂMETROS DE SOLIDIFICAÇÃO PARA AÇOS PRODUZIDOS POR LINGOTAMENTO CONTÍNUO                              |           |
| <i>Lisiane Trevisan</i>  |           |
| <i>Juliane Donadel</i>   |           |
| <i>Bianca Rodrigues de Castro</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....  | <b>23</b> |
| CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E DEFINIÇÃO DO PERCENTUAL DE CARBONO DE UM AÇO POR MEIO DA METALOGRAFIA QUANTITATIVA          |           |
| <i>Felipe Gomes dos Santos</i>   |           |
| <i>Lioudmila Aleksandrovna Matlakhova</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....  | <b>37</b> |
| ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE COMPÓSITOS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE MADEIRA Balsa MEDIANTE ENSAIO DE DOBRAMENTO TRÊS PONTOS       |           |
| <i>Denilson Pablo Cruz de Oliveira</i>   |           |
| <i>Renata Portela de Abreu</i>   |           |
| <i>Pedro Augusto Silva de Sousa</i>  |           |
| <i>Abimael Lopes de Melo</i>   |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....  | <b>46</b> |
| AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELO MÉTODO DE PLACA QUENTE                  |           |
| <i>Wênio Fhará Alencar Borges</i>  |           |
| <i>Eduardo Corte Real Fernandes</i>  |           |
| <i>Oyama Douglas Queiroz de Oliveira Filho</i>   |           |
| <i>Alex Maurício Araújo</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....  | <b>55</b> |
| ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA A PARTIR DA VARIAÇÃO NA REGULAGEM DAS VÁLVULAS DE ADMISSÃO E EXAUSTÃO |           |
| <i>Fernanda de Souza Silva</i>   |           |
| <i>Adriano Sitônio Rumão</i>   |           |
| <i>Marcos da Silva Gonçalves Júnior</i>  |           |
| <i>Daniel Lira da Silva Figueiredo</i>   |           |
| <i>Bráulio Alexandre Alves de Lima</i>   |           |
| <b>CAPÍTULO 7</b> .....  | <b>66</b> |
| ANÁLISE DE EMISSÃO DE GASES DO MOTOR HORIZONTAL BRIGGS AND STRATTON INTEK 10 HP BAJA SAE                                     |           |
| <i>Bruno Silvano da Silva</i>  |           |
| <i>Daniel Willemam Trindade</i>  |           |
| <i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>  |           |
| <i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>   |           |
| <i>Claudio Luiz Melo de Souza</i>  |           |



**CAPÍTULO 8 ..... 79**

ROTEIRO TÉCNICO PARA CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM CÂMARAS FRIGORÍFICAS UTILIZADAS EM ESTABELECIMENTOS COMERCIAIS

*Ismael de Marchi Neto*  
*Rodrigo Corrêa da Silva*  
*Mateus de Souza Goulart*  
*Rafael Sene de Lima*  
*Ricardo de Vasconcelos Salvo*

**CAPÍTULO 9 ..... 97**

UTILIZAÇÃO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA REFRIGERAÇÃO DE PARADAS DE ÔNIBUS EM TERESINA-PI

*Wênio Fhará Alencar Borges*  
*Armystron Gonçalves Ferreira Araújo*  
*Alexsione Costa Sousa*  
*Luciane Norberto Menezes de Araújo*  
*Maria Onaira Gonçalves Ferreira*

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVA DE CURVA CARACTERÍSTICA DE BOMBA CENTRÍFUGA

*Janio Marreiros Gomes,*  
*Ighor Caetano Silva Ferreira,*  
*Adriano do Amor Divino Guilhon Serra,*  
*Paulo Roberto Campos Flexa Ribeiro Filho,*  
*Wellington de Jesus Sousa Varella,*  
*Thymisson Sousa da Paixão,*

**CAPÍTULO 11 ..... 120**

*Rafael Costa Da Silva*  
*Luiz Carlos Cordeiro Junior*  
INTRODUÇÃO À ANÁLISES HIDRÁULICAS ATRAVÉS DO ESTUDO DO COMPRIMENTO CARACTERÍSTICO EM TUBULAÇÕES

**CAPÍTULO 12 ..... 132**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MINI TUNEL DE VENTO DIDÁTICO DE BANCADA EXPERIMENTAL PARA ESTUDOS AERODINÂMICOS

*Diógenes Leite Souza*  
*Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 13 ..... 151**

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS NO MOTOR DO CARRO ARRANCADA

*Paulo Rutenberg Madeira Santos*  
*Higor Leandro Veiga da Silva*

**CAPÍTULO 14 ..... 158**

ANÁLISE DO ESCOAMENTO DO ÓLEO BASE DE UMA GRAXA MINERAL EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CONTAMINAÇÃO

*Ana Cláudia Marques*  
*Bruno Henrique Viana Mendes*  
*Jorge Nei Brito*

**CAPÍTULO 15 ..... 167**

MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM MEIOS LÍQUIDOS NA OBTENÇÃO DE SOLUÇÕES EM ENGENHARIA

*Vagner dos Anjos Costa*  
*Cochiran Pereira dos Santos*

*Antonio Cardoso Ferreira  
Jubiraí José Galliza Júnior  
Fabrício Oliveira Silva  
Fabio Santos de Oliveira  
Silvio Leonardo Valença*

**CAPÍTULO 16..... 179**

ESTUDO EXPERIMENTAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE ONDAS E CORRENTES MARÍTIMAS

*Reginaldo Nunes da Silva  
Patrícia do Nascimento Pereira  
Fernando Lima de Oliveira*

**CAPÍTULO 17 ..... 186**

USO DO SENSOR HC – SR04 COM O ARDUINO UNO: UMA ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO ENVOLVENDO AS BIBLIOTECAS ULTRASONIC E NEW PING

*Lucas Santin Bianchin  
Rogério Bido  
Vanessa Carina Dal Mago  
Alexsander Furtado Carneiro*

**CAPÍTULO 18..... 198**

MODERNIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATRAVES DA IMPLANTAÇÃO DE REDE INDUSTRIAL E SISTEMA SCADA EM WINCC RT

*Fabrício Roosevelt Melo da Silva  
Diego Antônio de Moura Fonseca  
Andrés Ortiz Salazar*

**SOBRE O ORGANIZADORES..... 213**

## USO DO SENSOR HC – SR04 COM O ARDUINO UNO: UMA ANÁLISE DE ERROS DE MEDIÇÃO ENVOLVENDO AS BIBLIOTECAS ULTRASONIC E NEW PING

### **Lucas Santin Bianchin**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Sul-rio-grandense  
Passo Fundo – Rio Grande do Sul

### **Rogério Bido**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Sul-rio-grandense  
Passo Fundo – Rio Grande do Sul

### **Vanessa Carina Dal Mago**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Sul-rio-grandense  
Passo Fundo – Rio Grande do Sul

### **Alexsander Furtado Carneiro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Sul-rio-grandense  
Passo Fundo – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é utilizar a placa Arduino UNO e o sensor ultrassônico HC – SR04 para o cálculo de distâncias, analisar o erro presente nesses valores e então propor alguma medida corretiva para o erro apresentado. Além disso, pretende-se utilizar duas bibliotecas diferentes do Arduino, a Ultrasonic e a New Ping, e apontar as vantagens de uma em relação à outra. Para isso, foram realizadas 8 medições em 5 distâncias conhecidas, calculados os parâmetros estatísticos de média ou moda, desvio padrão e erro relativo e propostas curvas de diminuição do erro, que

relacionam o parâmetro de correção e a medida apontada pelo sensor, utilizando o método de interpolação de Newton. Com isso, foi possível verificar que com a utilização das equações de correção houve uma grande diminuição do erro apresentado pelo sensor. Ainda, observou-se que a biblioteca New Ping geralmente apresenta menor erro que a Ultrasonic, mesmo a última possibilitando cálculos na casa dos milímetros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor Ultrassônico HC – SR04, Arduino, Correção do Erro.

**ABSTRACT:** The purpose of this paper is to use the Arduino board UNO and the ultrasonic sensor HC-SR04 for the calculation of distances, to analyze the error present in these values and then propose some corrective measure for the presented error. Furthermore, it is intended to use two different libraries of Arduino, the Ultrasonic and the New Ping, to point the advantages of one against the other. To accomplish this, 8 measurements were taken at 5 known distances, it has been calculated the mean, mode, standard deviation, relative statistical error and it has been proposed error reduction curves, which relate the correction parameter and the measurement indicated by the sensor, using Newton's method of interpolation. Thereby, it has been possible to verify that with the use of correction equations there was a great decrease of the error presented by the sensor. Moreover,



it has been observed that the New Ping library generally presents a smaller error than the Ultrasonic, even the last possibility of calculations in the millimeters.

**KEYWORDS:** Ultrasonic Sensor HC – SR04, Arduino, Error Correction.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Arduino é uma plataforma de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas de Arduino são capazes de ler entradas (luz em um sensor, dedo em um botão ou uma mensagem) e transformam em uma saída (ativa um motor, liga uma luz de led entre outras funções). As placas podem ser controladas enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa (ARDUINO, 2017a). De acordo com Nakatani *et al.* (2014) o *hardware* utilizado no Arduino consiste em uma placa de circuito impresso com um microcontrolador e o software consiste de um compilador e de um *boot loader* que suportam códigos (essencialmente linguagem C ou C++) com bibliotecas já inclusas.

O Arduino UNO, que pode ser visto na Figura 1, é o modelo de placa mais utilizado da família de placas de Arduino devido ao fato de ela ser robusta, de fácil utilização e também sua manutenção é de baixo custo. O Arduino UNO é uma placa microcontroladora baseada na ATmega328P (*datasheet*). Ela possui 14 pinos digitais entrada/saída (sendo que 6 deles podem trabalhar como PWM – modelação de largura de pulso), 6 entradas analógicas, um cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação e um botão de reset. Ela possui tudo que é necessário para sustentar o microcontrolador, basta conectar ela ao computador com cabo USB e iniciar o projeto. (ARDUINO, 2017b).

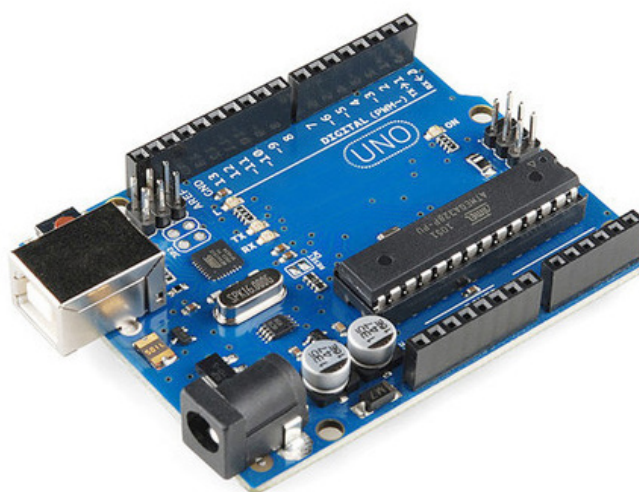


Figura 1 - Placa Arduino UNO

Fonte: Filipeflop (2017a)

O *hardware* da placa UNO pode ser alimentado por uma fonte externa ou por

sua entrada USB. Existem no Arduino UNO sete pinos de alimentação: um pino VIN, um pino 5V, um pino 3.3V, três pinos de aterramento e um pino IOREF. O Arduino UNO, com relação ao *software*, possui um compilador próprio. Os códigos podem ser desenvolvidos através das linguagens C ou C++ e são compilados e enviados ao microcontrolador através da entrada USB. A placa os reseta e passa a utilizá-los. O compilador possui bibliotecas com variadas funções que devem ser carregadas no código do seu projeto. (NAKATANI *et al.*, 2014).

Para este trabalho será utilizado o sensor ultrassônico HC-SR04 para Arduino, apresentado na Figura 2, com a finalidade de realizar medições em um ambiente. De acordo com o fabricante Elecfreaks (2017), esse instrumento possibilita medições sem contato de 2cm até 400cm, com uma precisão que pode chegar a 3mm e um ângulo de medida de 15 graus. Ele apresenta um transmissor ultrassônico, um receptor ultrassônico e um circuito de controle.



Figura 2 - Sensor HC-SR04

Fonte: Filipeflop (2017b)

O princípio de funcionamento é regido pelos seguintes passos: o pino trigger recebe um sinal de alto nível por 10 microssegundos que indica o início da transmissão de dados; o sensor envia 8 pulsos ultrassônicos de 40kHz e aguarda se algum sinal de pulso retorna após encontrar um obstáculo; durante o tempo de emissão do sinal e recebimento o pino echo fica em nível alto, esse tempo é utilizado para calcular a distância do obstáculo até o sensor. O funcionamento desse sensor pode ser melhor visto na Figura 3 encontrada na página eletrônica do Arduino, na seção tutoriais, desenvolvida por Wagle (2016).

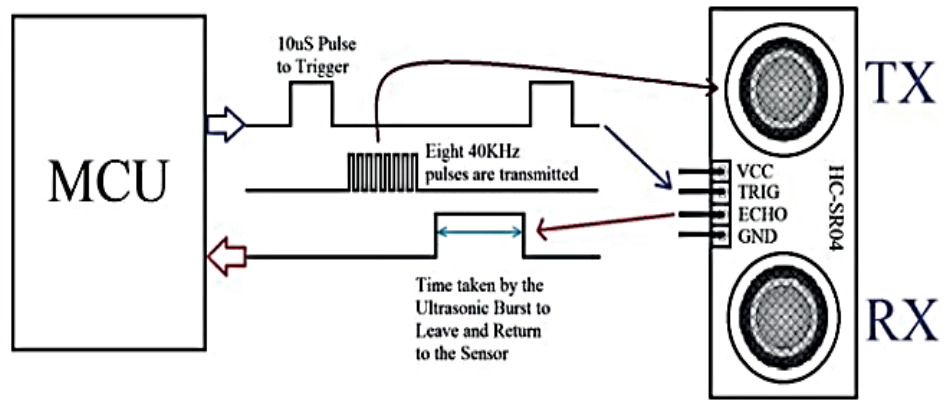


Figura 3 - Princípio de funcionamento do sensor

Fonte: Wagle (2016)

A distância pode ser calculada segundo Rastogi & Mehra (2012) em função do tempo através da Equação 1.

$$x(t) = \frac{tc}{2} \quad (1)$$

Na Equação 1 o termo  $x(t)$  representa a distância entre o sensor e o obstáculo,  $c$  representa a velocidade do som no ar e o termo  $t$  representa o tempo que o pulso leva até atingir o obstáculo e retornar até o sensor. Como esse tempo utilizado é o tempo de ida e volta a equação é dividida por dois para encontrar a distância.

O uso de bibliotecas simplifica as aplicações do Arduino, porque o código da biblioteca já está pronto, basta apenas carregá-la no programa para que suas funções possam ser utilizadas pelo usuário. Dentre as bibliotecas disponíveis quando se trabalha com sensores ultrassônicos, existem duas que são apropriadas para medições de distância: a biblioteca Ultrasonic e a biblioteca New Ping.

A biblioteca Ultrasonic é especificamente desenvolvida para o sensor HC-SR04, ela possui uma precisão de milímetros e permite a utilização de apenas um sensor (ARDUINO, 2017c). A biblioteca New Ping pode ser utilizada com vários modelos de sensores ultrassônicos, ela possibilita o desenvolvimento de um programa com mais de um sensor, podendo chegar até 15 sensores. Sua precisão é da faixa de centímetros (ARDUINO, 2017d).

Para a análise dos resultados obtidos a partir das medições realizadas pode-se verificar os erros que o sistema de medições apresenta. O erro absoluto corresponde à diferença entre o valor exato e o valor aproximado do mensurando. O erro relativo corresponde ao quociente entre o erro absoluto e o valor exato.

É possível a aplicação de uma correção para compensar parte dos erros obtidos ao fazer as medições. Segundo Albertazzi e Souza (2008), o erro sistemático corresponde à diferença entre a média de um número infinito de medições e o valor verdadeiro do mensurando em condições idênticas de operação. Como não é possível a obtenção de um número infinito de medições, pode-se obter uma estimativa do erro

sistemático, que corresponde à tendência de um sistema de medições.

A tendência é definida pela diferença entre a média de um número finito de medições e o verdadeiro valor do mensurando. Quando o número de medições tende ao infinito, a tendência aproxima-se do valor do erro sistemático. A partir da tendência, pode-se definir a correção a ser aplicada aos resultados obtidos. O termo correção refere-se à uma compensação do erro sistemático e é numericamente igual à tendência, porém seu sinal é invertido (Albertazzi; Souza, 2008).

A partir da variância pode-se analisar quão distantes os valores estão da média. A variância é definida pela soma dos quadrados da diferença entre cada valor medido e a média aritmética, dividida pela quantidade de medições obtidas. A partir da variância pode-se calcular o desvio padrão do sistema de medição. Este, melhor avalia a dispersão dos dados em torno da média, quanto maior o desvio padrão, maior é a dispersão. O desvio padrão é definido como a raiz quadrada da variância.

Para aplicar o valor da correção necessária ao dado de uma medição, pode-se relacionar esses dois parâmetros através da aplicação do método de polinômios interpoladores por diferenças divididas de Newton. Segundo Chapra e Canale (2016), este método busca estimar valores intermediários entre dados conhecidos.

Fundamentado nas informações citadas anteriormente pretende-se analisar como o erro de medição apresentado por duas bibliotecas diferentes, Ultrasonic e New Ping, utilizadas para o cálculo de distância com o sensor ultrassônico pode afetar no resultado final de medida mostrado no programa, além de desenvolver uma medida corretiva para minimizar o erro dos resultados.

## 2 | METODOLOGIA

Para ser possível verificar os erros apresentados na tomada de medidas pelo sensor ultrassônico com o uso de duas bibliotecas distintas foram, primeiramente, construídos arquivos de script no software do Arduino utilizando as bibliotecas Ultrasonic e New Ping, e, em seguida, realizou-se a tomada de medidas utilizando esses respectivos programas. A obtenção das distâncias se deu em um ambiente a 10 graus Celsius.

A tomada de medidas utilizando os programas implementados com as bibliotecas Ultrasonic e New ping se deu com o posicionamento de um sensor ultrassônico HC-SR04 em 5 distâncias conhecidas, chamadas de medidas reais aproximadas, em relação a uma parede de alvenaria (objeto de reflexão das ondas ultrassônicas). Em cada um desses posicionamentos foi realizada a tomada de 8 medidas para o programa que possui a biblioteca Ultrasonic, sendo que, essas medidas representam a média de 100 medições realizadas pelo sensor – isso se deve ao fato de o sensor apresentar oscilações nos resultados apresentados pelo programa. Para o programa que utiliza a biblioteca New ping foi feito, da mesma forma que para o programa da Ultrasonic, 8

medidas que representam a moda de 100 medições uma vez que para essa biblioteca não houve uma grande variação nos valores mostrados. É importante salientar que antes de qualquer medição feita foi acionado o botão de reset do Arduino.

Com as medidas das 5 posições conhecidas para os dois programas com bibliotecas diferentes se aplicou os conceitos estatísticos e com isso foi possível a obtenção do erro relativo, assim como o desvio padrão e a correção para cada um desses pontos analisados para o programa com a biblioteca Ultrasonic e o erro relativo e correção para o programa com a New Ping. Com esses valores foi encontrado os polinômios que caracterizam o comportamento da correção em função da distância que foi medida pelo sensor tanto para o arquivo da Ultrasonic quanto para o da New Ping. Com isso se criou novos programas para as duas bibliotecas, de forma que, adicionou-se essa função nos programas e se fez os devidos ajustes para que eles considerem a correção para cada medida quando for apresentar o resultado.

Com esses novos programas para as bibliotecas se fez a tomada de 8 medições para 3 novas distâncias conhecidas do objeto refletor tanto para o novo programa que usa a Ultrasonic quanto para o que usa a New Ping. Aplicou-se, da mesma forma que na utilização dos programas sem a inclusão do polinômio de correção, os conhecimentos estatísticos e se determinou os valores de erro relativo, desvio padrão e correção para a biblioteca Ultrasonic e erro relativo e correção para a New Ping. Dessa forma será possível determinar se houve uma melhor aproximação da medida mostrada pelos programas da medida real aproximada ou não.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das medições em milímetros usando o sensor ultrassônico e a biblioteca Ultrasonic estão contidos da Tabela 1, enquanto que as análises de média, desvio padrão, erro relativo e a correção necessária para cada medida diferente estão apresentados na Tabela 2.

O relativamente baixo desvio padrão (Tabela 2) apresentado entre as oito medições feitas com o sensor ultrassônico permite que sejam feitas correções com o objetivo de diminuir o erro durante as mensurações. No entanto, o valor da correção varia conforme varia o valor da medida real aproximada. Conforme mais aumenta o valor da medida real aproximada, mais diminui o valor da reparação necessária. Assim, para relacionar o valor da correção com a média apresentada pelo sensor foi utilizado o método de polinômios interpoladores por diferenças divididas de Newton. Segundo Chapra e Canale (2016) métodos de interpolação são muito utilizados para estimar valores intermediários entre dados já conhecidos e a polinomial determina qual o único polinômio de grau  $n$  que passa pelos  $n + 1$  pontos.

| Medida Real Aproximada | Medida 1 | Medida 2 | Medida 3 | Medida 4 | Medida 5 | Medida 6 | Medida 7 | Medida 8 |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 50                     | 50,02    | 50,04    | 50,05    | 50,06    | 50,07    | 50,05    | 50,03    | 50,02    |
| 400                    | 419,45   | 419,50   | 419,82   | 418,86   | 415,36   | 420,43   | 418,12   | 417,61   |
| 1400                   | 1458,92  | 1459,86  | 1460,10  | 1459,84  | 1460,12  | 1459,87  | 1459,85  | 1460,92  |
| 2540                   | 2672,16  | 2672,11  | 2672,17  | 2673,22  | 2671,07  | 2671,75  | 2671,55  | 2672,02  |
| 3900                   | 4120,34  | 4122,41  | 4122,69  | 4119,48  | 4119,10  | 4119,33  | 4122,90  | 4118,91  |

Tabela 1 - Valores calculados com o sensor HC – SR04 usando a biblioteca Ultrasonic

| Medida Real Aproximada (mm) | Média (mm) | Erro Relativo (%) | Desvio Padrão (mm) | Correção (mm) |
|-----------------------------|------------|-------------------|--------------------|---------------|
| 50                          | 50,0425    | 0,085             | 0,018322508        | -0,0425       |
| 400                         | 418,64375  | 4,6609375         | 1,609356016        | -18,64375     |
| 1400                        | 1459,935   | 4,281071429       | 0,546155394        | -59,935       |
| 2540                        | 2672,00625 | 5,197096457       | 0,619329995        | -132,00625    |
| 3900                        | 4120,645   | 5,657564103       | 1,73035917         | -220,645      |

Tabela 2 - Análise das medições contidas na Tabela 1

Desse modo, considerando a média das medições como a abscissa e o valor da correção como a ordenada do plano cartesiano, haverá 5 pontos e um polinômio de grau 4 ligando-os. É importante salientar que ao utilizar o método de interpolação garante-se apenas as estimativas de valores entre os números conhecidos, ou seja, baseado nos dados da Tabela 2 limita-se as aproximações de correção para as quantias presentes de 50,0425 até 4120,645 mm de medição. Dessa forma, usando o método de Newton e os valores de média e correção da Tabela 2, chegou-se no polinômio interpolador descrito pela Equação 2, em que  $m$  representa o valor calculado pelo sensor usando a biblioteca Ultrasonic e  $C_{ultrasonic}$  é o valor da correção necessária em função de .

$$C_{ultrasonic}(m) = 3,005657 - 0,062472 \cdot m + 3,19722 \cdot 10^{-5} \cdot m^2 - \dots \\ \dots 1,58566 \cdot 10^{-8} \cdot m^3 + 2,08226 \cdot 10^{-12} \cdot m^4 \quad (2)$$

A Figura 4 ilustra graficamente a relação entre a medida dada pelo sensor e o valor necessário para corrigi-la a partir da Equação 2.



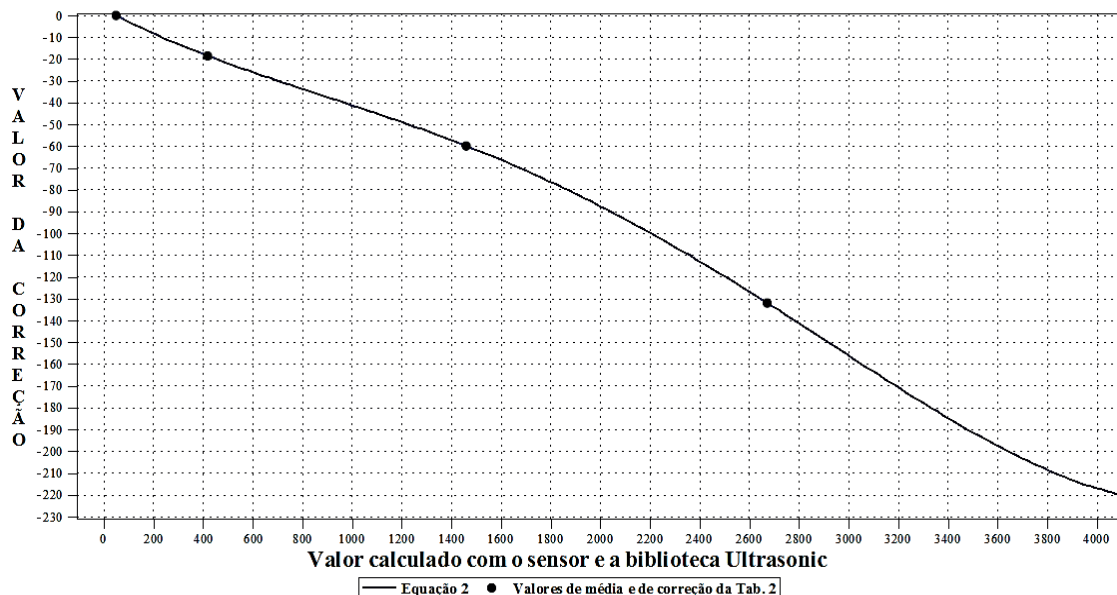


Figura 4 - Relação entre a medida do sensor e a correção, a partir da Equação 2

A partir da Equação 2 pode-se fazer testes para outras medidas. A Tabela 3 apresenta o valor das medidas em milímetros usando o sensor HC – SR04, a biblioteca Ultrasonic e a correção aplicada, enquanto que as novas análises de média, desvio padrão, erro relativo e de correção necessária para cada medida diferente estão apresentados na Tabela 4.

| Medida Real Aproximada | Medida 1 | Medida 2 | Medida 3 | Medida 4 | Medida 5 | Medida 6 | Medida 7 | Medida 8 |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 200                    | 201,70   | 201,16   | 203,02   | 202,35   | 201,32   | 201,65   | 201,95   | 201,18   |
| 930                    | 924,25   | 925,00   | 924,20   | 924,77   | 924,56   | 924,58   | 924,61   | 924,82   |
| 2000                   | 2012,06  | 2011,56  | 2011,68  | 2011,93  | 2011,59  | 2011,74  | 2011,94  | 2011,71  |

Tabela 3 - Valores calculados com o sensor HC – SR04 usando a biblioteca Ultrasonic e a Equação 2

| Medida Real Aproximada (mm) | Média (mm) | Erro Relativo (%) | Desvio Padrão (mm) | Correção (mm) |
|-----------------------------|------------|-------------------|--------------------|---------------|
| 200                         | 201,795    | 0,8975            | 0,641426981        | -1,795        |
| 930                         | 924,47375  | 0,59422043        | 0,369243919        | +5,52625      |
| 2000                        | 2011,77625 | 0,5888125         | 0,180232984        | -11,77625     |

Tabela 4 - Análise das medições contidas na Tabela 3

Assim, comparando a Tabela 2 e a Tabela 4 observa-se que, embora ainda exista a presença do erro de medição usando o sensor HC – SR04 e a biblioteca

Ultrasonic após aplicar a Equação 2, houve uma grande diminuição da diferença entre o valor calculado pelo sensor e o valor real, tanto que os valores de erro relativo foram inferiores a 1% para as três medidas reais aproximadas.

Os valores de distância apontados pelo sensor ultrassônico quando utilizada a biblioteca New Ping foram bem mais regulares, variando raramente em um centímetro para mais ou para menos, de modo que é mais significativo utilizar a moda das medições em vez da média. A Tabela 5 apresenta o valor da medição usando o sensor HC – SR04 e a biblioteca New Ping, assim como as análises de erro relativo percentual e de correção para cada medida diferente.

| Medida Real Aproximada (mm) | Moda (mm) | Erro Relativo (%) | Correção (mm) |
|-----------------------------|-----------|-------------------|---------------|
| 50                          | 50        | 0                 | 0             |
| 400                         | 410       | 2,5               | -10           |
| 1400                        | 1430      | 2,142857          | -30           |
| 2540                        | 2620      | 3,149606          | -80           |
| 3900                        | 4040      | 3,589744          | -140          |

Tabela 5 - Análise do uso do sensor HC – SR04 com a biblioteca New Ping

Assim como no uso da biblioteca Ultrasonic, também é necessário encontrar o polinômio interpolador, que agora relaciona o valor da correção com a moda apresentada, para a biblioteca New Ping. Assim, a Equação 3 relaciona as duas variáveis, em que  $m$  representa o valor calculado pelo sensor usando a biblioteca New Ping e  $C_{newping}$  é o valor da correção necessária em função de .

$$C_{newping}(m) = 1,867024 - 0,038822 \cdot m + 3,0455 \cdot 10^{-5} \cdot m^2 - \dots \\ \dots 1,64416 \cdot 10^{-8} \cdot m^3 + 2,26 \cdot 10^{-12} \cdot m^4 \quad (3)$$

A Figura 5 ilustra graficamente a relação entre a medida dada pelo sensor e o valor necessário para corrigi-la a partir da Equação 3.

A partir da Equação 3 pode-se fazer testes para outras medidas. A Tabela 6 apresenta o valor das medidas usando o sensor ultrassônico, a biblioteca New Ping e a correção aplicada, assim como as análises de erro relativo percentual e de correção para cada nova medida.

Comparando a Tabela 5 e a Tabela 6 observa-se que para as duas medidas maiores, o uso da Equação 3 diminuiu bastante o valor do erro, no entanto, o mesmo não ocorre para a distância de 200 mm que apresentou mais de 2% de erro relativo. Isso deve-se, provavelmente, ao fato de que a biblioteca New Ping emite o valor da distância somente na ordem dos centímetros. Assim, a partir dos valores de medida real aproximada da Tabela 5 e da análise da Tabela 6 é aconselhável que a Equação

3 seja utilizada somente para corrigir mensurações acima dos 400 mm.

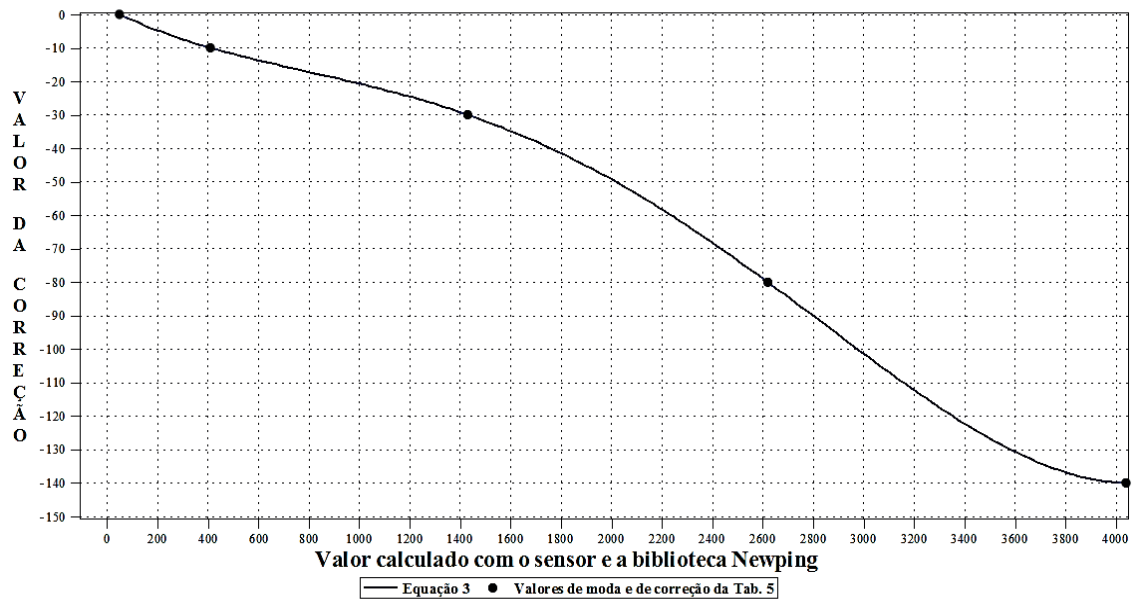


Figura 5 - Relação entre a medida do sensor e a correção, a partir da Equação 3

| Medida Real Aproximada (mm) | Moda (mm) | Erro Relativo (%) | Correção (mm) |
|-----------------------------|-----------|-------------------|---------------|
| 200                         | 195,19    | 2,405             | 4,81          |
| 930                         | 930,22    | 0,02366           | -0,22         |
| 2000                        | 2008      | 0,4               | -8            |

Tabela 6 - Valores calculados com o sensor HC – SR04 usando a biblioteca New Ping e a Equação 3

Através dos cálculos realizados usando o sensor ultrassônico e as duas bibliotecas observa-se que a biblioteca New Ping apresenta menor erro em relação a Ultrasonic tanto quando usa-se como quando não se utiliza da função de correção (salvo a medida de 200 mm). Assim, é melhor a utilização da biblioteca New Ping quando se deseja um valor mais próximo com o real. A vantagem da biblioteca Ultrasonic é a possibilidade de trabalhar com a escala em milímetros, já que a New Ping faz os cálculos somente de centímetros em centímetros. Possivelmente o uso de mais medições (foram feitas 5) permitiriam que fosse encontrada uma equação pelo método de interpolação que diminuiria ainda mais o valor do erro, fazendo com que o valor calculado pelas bibliotecas com o sensor HC – SR04 chegasse cada vez mais perto do valor da medida real.

## 4 | CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que o uso das equações encontradas pelo método de interpolação para tentar corrigir o erro do sensor HC – SR04 realmente teve efeito, tanto que para a biblioteca Ultrasonic os principais erros que antes variavam em torno de 4,2 a 5,7% tiveram uma grande redução, passando a menos de 1% após a aplicação da curva de correção. Para a biblioteca New Ping também se notou diferença, já que erros que chegavam a casa dos 3,5% diminuíram para menos de 0,5%, considerando medidas maiores do que 400 milímetros. Na verdade, o problema encontra-se entre as distâncias de 50 a 400 mm, uma vez que nesse intervalo existe uma distância a partir da qual o sensor inicia a apresentar o erro de 1 centímetro (a biblioteca New Ping faz os cálculos somente de centímetro em centímetro). As distâncias menores do que esse valor a partir do qual o sensor começa a apresentar erro não necessitam, a princípio, de correção. Estudos posteriores que sejam feitos com essa temática podem utilizar mais pontos (medidas reais aproximadas) para análise da correção. Quanto mais pontos são usados, maior é a tendência da curva reduzir o valor do erro dos cálculos com o sensor ultrassônico, ou seja, teoricamente, quanto mais pontos, melhor a qualidade da curva.

Em relação as bibliotecas Ultrasonic e New Ping observou-se uma leve vantagem da última em relação a primeira quanto à tendência em mostrar o valor verdadeiro da distância. No entanto, a possibilidade de realizar cálculos em milímetros torna a biblioteca Ultrasonic mais atrativa, de modo que se alguns pontos forem acrescentados, os erros relativos dos cálculos com ambas as bibliotecas tenderão ao valor nulo, igualando a capacidade das bibliotecas em gerar um valor calculado mais próximo do valor real da distância.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, G. Jr.; SOUZA A. R. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**, Ed. Manole, 1ed – Barueri, São Paulo, Brasil, pp 39-49, 2008.

ARDUINO. **What is Arduino?** Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017a.

ARDUINO. **Arduino UNO REV3**. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017b.

ARDUINO. **Ultrasonic SR04 library for Arduino**. Disponível em: <<https://playground.arduino.cc/Code/SR04LunaX>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017c.

ARDUINO. **New Ping Library for Arduino**. Disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Code/NewPing>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017d.

CHAPRA, S.; CANALE, R. **Métodos Numéricos para Engenharia**, Ed. AMGH, 7ª ed., São Paulo, Brasil, 2016.

ELECFREAKS. **Ultrasonic Ranging Module HC-SR04**. Disponível em:  
< <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf> >. Acesso em: 15 de julho de 2017.

FILIFELOP COMPONENTES ELETRÔNICOS EIRELI. **Placa Uno R3 + Cabo USB para Arduino**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017a.

FILIFELOP COMPONENTES ELETRÔNICOS EIRELI. **Sensor de Distância Ultrassônico HC-SR04**. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04/>>. Acesso em: 5 Jul 2017. 2017b.

NAKATANI, A. M.; GUIMARÃES, A. V.; NETO, V. M. **Medição com Sensor Ultrassônico Hc-Sr04**, procedente do 3° Congresso Internacional de Metrologia Mecânica, Rio Grande do Sul, Brasil, 2014.

RASTOGI, R. K.; MEHRA, R. **Efficient Error Reduction in Ultrasonic Distance Measurement Using Temperature Compensation**. International Journal Of Advanced Electrical And Electronics Engineering (IJAEED). Chandigarh, India, pp 58-60, 2012.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Bonatto** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

**Henrique Ajuz Holzmann** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-76-5



9 788585 107765