



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

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)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

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.

2019

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

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

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905041	
CAPÍTULO 2	18
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905042	
CAPÍTULO 3	29
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905043	
CAPÍTULO 4	38
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905044	
CAPÍTULO 5	53
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
DOI 10.22533/at.ed.4631905045	
CAPÍTULO 6	67
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

CAPÍTULO 7 80

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

Bruno Barbieri
Vinicius Segalla
Marcio Catapan
Maria Lúcia Okimoto
Isabella Sierra

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

CAPÍTULO 8 91

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

Silas Fernandes Caze
Lucas de Sousa Camelo
Wictor Gomes de Oliveira
Bruno de Oliveira Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

CAPÍTULO 9 96

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

Marcos José Mannala
Marlon Elias Marchi
Marcio Tonetti

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

CAPÍTULO 10 103

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva
Felipe Martins Silva
Fernando Luiz Alhem dos Santos
Jardson da Silva David
Juliana Lopes Cardoso
Milton Zanotti Junior

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

CAPÍTULO 11 114

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

Walter dos Santos Sousa
Caroline Moura da Silva
Érika Cristina de Melo Lopes
Gilton Carlos de Andrade Furtado
Lana Ritiele Lopes da Silva
Michele da Costa Baía

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

CAPÍTULO 12	127
CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050412	
CAPÍTULO 13	135
TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050413	
CAPÍTULO 14	147
A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050414	
CAPÍTULO 15	169
VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050415	
CAPÍTULO 16	185
MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050416	
CAPÍTULO 17	196
ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050417	

CAPÍTULO 18	209
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i> <i>Edmar Antônio Onofre</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050418	
CAPÍTULO 19	221
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i> <i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i> <i>Luís Felipe Furtado Pontes</i> <i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i> <i>Lucas Silva Soares</i> <i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050419	
CAPÍTULO 20	236
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i> <i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i> <i>Fábio Roberto Chavarette</i> <i>Roberto Outa</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050420	
CAPÍTULO 21	245
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i> <i>João Paulo Correia Teixeira</i> <i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i> <i>Tulio Rosine Martins De Souza</i> <i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.46319050421	
SOBRE OS ORGANIZADORES	247

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

Carlos Henrique da Silva

Universidade Nove de Julho
São Paulo – SP

Felipe Martins Silva

Universidade Nove de Julho
São Paulo – SP

Fernando Luiz Alhem dos Santos

Universidade Nove de Julho
São Paulo – SP

Jardson da Silva David

Universidade Nove de Julho
São Paulo – SP

Juliana Lopes Cardoso

Universidade Nove de Julho
Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas
São Paulo – SP

Milton Zanotti Junior

Universidade Nove de Julho
Universidade de São Paulo
São Paulo – SP

RESUMO: Com o objetivo foi verificar a posição exata, entre as condições aberta e fechada, das lâminas de uma chave seccionadora de rede de distribuição elétrica de média tensão e indicar a ocorrência de mau fechamento, neste trabalho é apresentado um sistema de monitoramento da posição utilizando sensor de ultrassom.

O sistema de monitoramento, inicialmente, apresentou valores de distância diferentes dos valores corretos. Considerando que os desvios foram provocados pela inclinação das lâminas chave, que refletem o sinal de ultrassom, considerou-se o uso de um servomotor para reposicionar o sensor de ultrassom e direcionar as reflexões do sinal. Novas avaliações indicaram que os desvios dos valores distância medidos passaram a ocorrer apenas quando a chave está completamente aberta e por interferência da haste de movimentação de fenolite, o que não prejudica a avaliação do mau fechamento da chave seccionadora.

PALAVRAS-CHAVE: proteção de sistemas elétricos. redes de distribuição de energia elétrica. sensor. ultrassom.

ABSTRACT: The goal of this work was verifying the exact position of the blades of a disconnect switch, used in medium voltage transmission lines, between open and closed positions and warn the occurrence of uncompleted close. This was reached using a position monitoring system with ultrasound sensors. Initially, the position monitoring system presented inaccurate distance values, because of the slope of the blades during the disconnect switch opening. A servomotor was used to correct the position of the sensors and keep them perpendicular to the blades. The ensuing evaluations indicated

that inaccurate distance values were observed only after complete opening of the disconnect switch, because of the interference of the phenolic rod, which did not jeopardize the monitoring of the disconnect switch close.

KEYWORDS: electric system protection. transmission and distribution system. sensor. ultrasound.

1 | INTRODUÇÃO

A chave seccionadora ou seccionador de barramento é um dispositivo mecânico de manobra destinado a isolar ou “seccionar” partes, subsistemas ou equipamentos de circuitos elétricos com corrente de intensidade desprezível (menor que 500 mA para sistemas até 460 kV). São instaladas em pontos estratégicos do sistema de distribuição de energia, visando seccionar a rede para minimizar os efeitos das interrupções programadas ou não, estabelecer seccionamento visível em equipamentos como religadores automáticos e chaves à óleo e estabelecer by pass (passagem secundária, em inglês) em equipamentos como reguladores de tensão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

A chave seccionadora tripolar é utilizada como equipamento de manobra nas subestações abrigadas. Os defeitos mais comuns em chaves seccionadoras são, principalmente, problemas de esforços mecânicos ou de isolamento, sendo eles (SOUZA, 2002; FULCHIRON e BIASSE, 2009):

- quebra da alavanca de manobra ou eixo de acionamento (quando acionado com motor);
- quebra ou envelhecimento das molas de contrabalanço (quando presentes);
- desnivelamento do garfo;
- falhas dos isoladores.

Os defeitos mecânicos listados levam ao impedimento do acionamento da chave ou ao seu mau posicionamento, provocando um mau fechamento. O fechamento incorreto da chave causa aquecimento entre seus contatos, que pode diminuir sua vida útil. Em casos mais graves, pode levar ao derretimento da região de contato e, conseqüentemente, o desligamento do sistema (SILVA, BORDONALLI, *et al.*, 2006; ELETROSUL, 1985).

Neste trabalho, propõe-se a construção de um sistema de monitoramento de estado da chave seccionadora de operação vertical (tipo faca) utilizando sensor de ultrassom, a fim de monitorar a sua posição e evitar o mau fechamento.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sistema de Monitoramento

A chave seccionadora utilizada neste trabalho é uma chave seccionadora tripolar de média tensão (13,8 kV) de comando único e acionada manualmente (Figura 1).

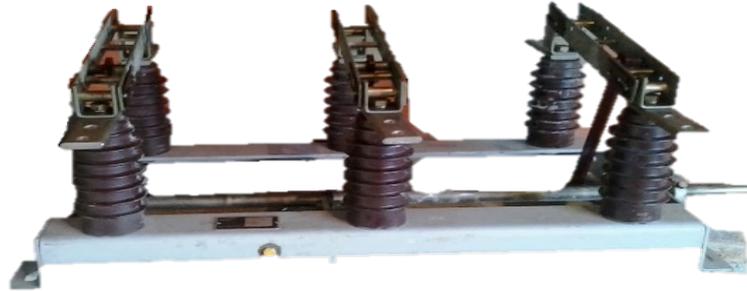


Figura 1 – Chave seccionadora tripolar de média tensão utilizada para desenvolvimento do sistema de monitoramento

Fonte: próprios autores.

O sistema de monitoramento é composto por uma plataforma de prototipagem eletrônica Arduino, um sensor de ultrassom para medição da distância, um termistor para a medição da temperatura e correção da velocidade do som, um servomotor para ajustar a posição do ultrassom na chave e uma central sinalizadora. A central sinalizadora é composta por um buzzer, para alertar sobre o mau fechamento, leds de sinalização e um mostrador LCD, ligado por um adaptador I²C, em que são exibidos os valores de distância e temperatura medidos na chave.

A espessura da lâmina da chave seccionadora utilizada é de 4,1 mm. Sabendo que a sensibilidade do sensor de ultrassom está relacionada com o tamanho do objeto e o comprimento da onda emitida (λ), a reflexão somente irá ocorrer se o objeto tiver dimensões maiores que o comprimento de onda.

Calculando comprimento de onda para a frequência de 40 kHz de emissão do sensor utilizado, com a velocidade do som de 346,3 m s⁻¹ a 25 °C, temos, na equação 1 (HAYNES, 2016; GRAY, 1957):

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{346,3}{40000} = 8,6 \text{ mm}$$

Assim, a frequência do sinal do ultrassom está inadequada para a medição da distância diretamente da lâmina da chave seccionadora. Para garantir que haja reflexão do sinal, uma peça plástica de (4,3 x 7,4) cm foi manufaturada em impressora 3D e posicionada entre as lâminas da chave, ampliando a área de reflexão do som como um anteparo (Figura 2).

**Anteparo para
reflexão do sinal de
ultrassom**



Figura 2 – Peça para reflexão do sinal de ultrassom

Fonte: próprios autores.

Para posicionar o servomotor na chave, foi utilizado um suporte *pan tilt* de câmera adaptado, de forma a permitir o movimento *tilt* (inclinação). Dois suportes de plástico, construídos em impressora 3D foram utilizados para adaptação do suporte, de forma a permitir sua fixação na chave e o posicionamento do ultrassom (Figura 3).

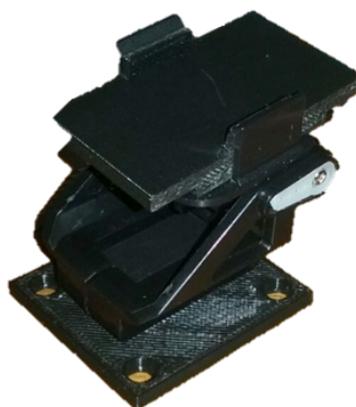


Figura 3 – Suporte tilt do servomotor adaptado para acomodar o sensor de ultrassom

Fonte: próprios autores.

O sensor de ultrassom, juntamente com o resistor NTC utilizado para a medição de temperatura (FRADEN, 2010) foram instalados em uma placa padrão de tamanho adequado ao suporte (Figura 4).

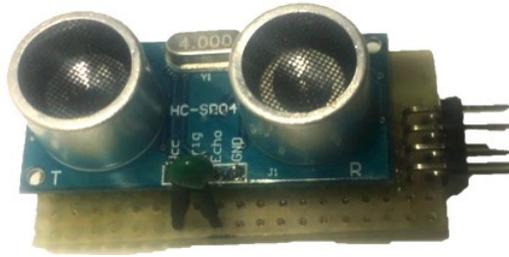


Figura 4 – Placa com sensor de ultrassom e resistor NTC adaptada para o suporte do servomotor

Fonte: próprios autores.

Utilizando o servomotor, o Arduino foi programado inicialmente para movimentá-lo entre 130° e 140° , medindo simultaneamente a distância. Na menor distância encontrada, o servomotor retorna ao respectivo ângulo e manter essa posição até que a distância se altere com a movimentação das lâminas da chave. Em seguida, um novo ciclo de busca da menor distância é iniciado.

2.2 Ensaios de Determinação da Distância das Lâminas de Fase da Chave Seccionadora

A avaliação o funcionamento do sistema de monitoramento utilizando ultrassom foi feita por meio da medição de distância das lâminas de fase da chave seccionadora, de forma a verificar se era possível identificar as posições fechada, mal fechada e aberta da chave, juntamente com a exatidão da medida.

Para que fosse possível a medição de distância pré-determinadas pelo sensor de ultrassom e de forma a facilitar a obtenção da curva de calibração de distâncias, foi montado um dispositivo formado por duas barras corrosadas, que posiciona dois anteparos em madeira por seis porcas de apoio (Figura 5).

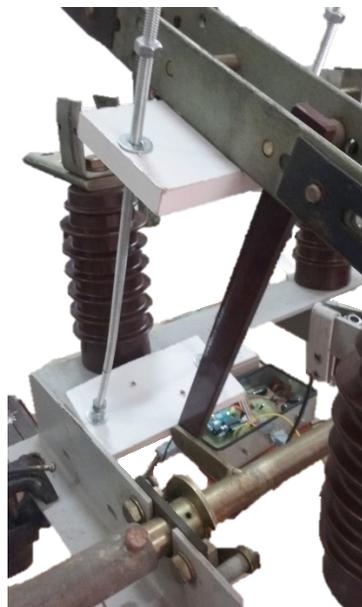


Figura 5 – Dispositivo de apoio para medição de distância posicionado sobre o sensor de ultrassom como anteparo e sob a lâmina de fase para sustentação

Fonte: próprios autores

O dispositivo foi utilizado como anteparo para se fixar valores conhecidos de distância e realizar medições utilizando o ultrassom. Dessa forma, foi possível mensurar o desvio envolvido entre os valores de distância medidos pelo sensor e os valores medidos com uma trena.

O dispositivo de apoio também foi utilizado para manter fixa a posição das lâminas da chave seccionadora durante as medições, de forma a garantir a correta medição da distância em diferentes posições.

3 | RESULTADOS

3.1 Determinação do Desvio nas Medidas de Distância

O sensor de ultrassom foi posicionado inicialmente na base da chave, paralelo às lâminas, a 24 cm da lâmina de fase na posição fechada. Esse valor de distância inicial, chamado de offset, foi descontado dos valores medidos de distância para que o valor final representasse a distância percorrida pela lâmina de fase a partir de sua posição original.

Partindo da posição fechada foi verificado que, ao abrir a chave, as medidas de distância feitas pelo ultrassom correspondiam à posição da chave apenas até o momento em que a chave se afasta 2 cm de sua posição inicial. Acima disso, a distância indicada pelo ultrassom era muito superior à posição verdadeira da chave, conforme apresentado na Tabela 1.

Mostrador (cm)	Trena (cm)	Trena menos <i>offset</i> (cm)	Desvio
0	24,4	0,4	-0,4
1	24,6	0,6	0,4
2	25,8	1,8	0,2
3	26,8	2,8	0,2
8	29,6	5,6	2,4
26-27	33,0	9	18

Fonte: Próprios autores.

Vale ressaltar que o posicionamento do medidor na chave, indicado na Figura 6, deve ser adequado também para evitar interferências de partes da chave diferentes da lâmina. A melhor posição para o sensor é aquela em que o sinal de ultrassom não sofre interferência do isolador de apoio ou da haste de fenolite (ELECTFREAKS, 2014).

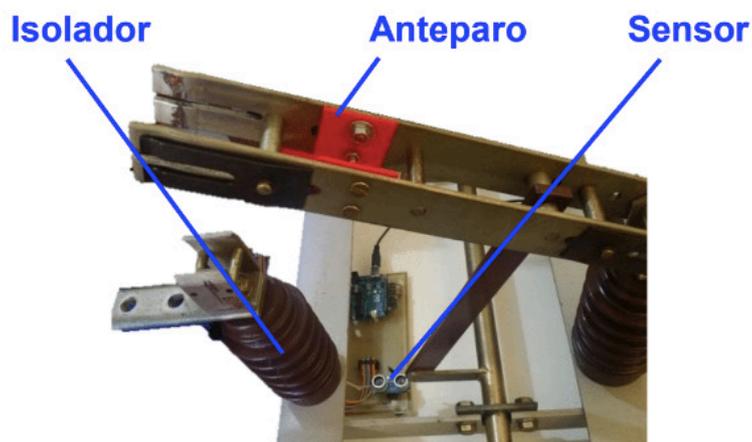


Figura 6 – Posicionamento inicial do sensor de ultrassom na chave seccionadora

Fonte: Próprios autores

Fez-se, então uma análise da reflexão do sinal, utilizando um emissor laser e posicionando um espelho no anteparo da chave. A reflexão do laser observada indicou que, com o afastamento da lâmina de sua posição fechada, a reflexão era direcionada para os isoladores e dos isoladores para o sensor. Dessa forma, pode-se perceber que a distância percorrida pelo sinal refletido se tornava maior que a distância percorrida pela chave.

Uma solução foi reposicionar o sensor de ultrassom, de forma que ele se mantivesse sempre paralelo ao anteparo, o que permite medir a distância com a menor reflexão possível de seu sinal. Para tanto, o sensor de ultrassom foi posicionado em um suporte *pan tilt* movimentado por um servomotor.

Para controlar o servomotor pelo Arduino, sem retirar nenhuma das funcionalidades anteriormente incluídas, foi necessário reduzir o número de saídas digitais utilizadas. Considerando que o display de cristal líquido é o dispositivo que ocupa o maior número de saídas digitais, empregou-se um circuito adaptador com barramento I²C.

Outra dificuldade verificada na medição da distância foi a instabilidade da resposta do sensor de ultrassom, para distâncias acima de 10 cm, mesmo quando o alvo da medida estivesse estático. Para minimizar os efeitos dessa instabilidade, uma rotina com amostragem da distância e cálculo de média e desvio padrão foi desenvolvida e implementada no código do Arduino.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados das medições de posição das lâminas da chave feitas com o sistema de monitoramento por ultrassom utilizando o servomotor para ajustar a posição do sensor de ultrassom. O valor do *offset* foi reduzido, devido a altura do suporte *tilt*.

Mostrador (cm)	Trena (cm)	Trena menos <i>offset</i> (cm)	Desvio
0	23	1	0,7
1	24,3	2,3	0,9
4	26,3	4,3	0,7

8	28,5	6,5	1
18*	46	24	5,9

Tabela 2 – Resultados das medições de distância da lâmina da chave a 25 °C, utilizando *offset* de 22 cm, com sensor posicionado paralelamente à chave

* chave completamente aberta

Fonte: Próprios autores.

Nota-se que o desvio em posições até 7,5 cm foi de aproximadamente 1 cm, pouco maior do que verificado anteriormente, exceto para a posição completamente aberta. O desvio do valor correto de distância para a chave completamente aberta, com o uso do servomotor, diminuiu em mais de 50 %.

3.2 Curva de calibração da distância

Utilizando apenas o circuito com os sensores de ultrassom e de temperatura, foram feitas medidas sucessivas de distância do anteparo, variando de 22 cm a 40 cm. Utilizou-se 22 cm como valor inicial por ser a distância entre o sensor e as lâminas de fase, quando a chave se encontra fechada. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 7. O desvio da medida de distância foi calculado subtraindo os valores indicados pelo ultrassom dos valores medidos pela trena.

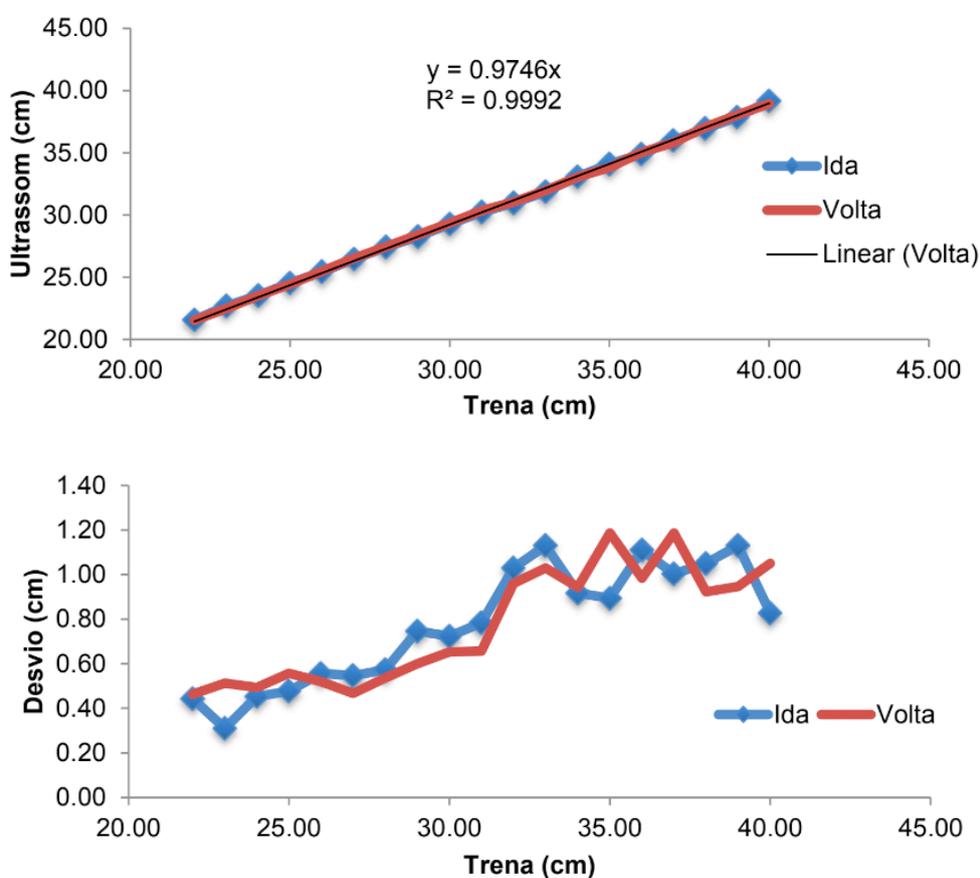


Figura 7 – Resultados das medidas de distância com sensor de ultrassom em comparação com as medidas de uma trena e respectivos desvios, utilizando um anteparo de madeira (fora da chave seccionadora)

Fonte: Próprios autores.

Verifica-se nos resultados da comparação entre os valores medidos pela trena em relação aos valores indicados pelo ultrassom, na Figura 7, que a distância medida pelo ultrassom é bastante próxima à distância indicada pela trena, uma vez que o coeficiente linear da reta ajustada nos pontos experimentais é aproximadamente um. O desvio é positivo, isto é, os valores indicados pelo ultrassom são poucos menores que o valor indicado pela trena e nota-se, também, que o desvio é maior em distâncias mais afastadas do sensor, conforme apresentado na comparação entre os valores medidos com a trena e os valores de desvio.

Posicionando o sensor de ultrassom no servomotor e instalando o conjunto na chave seccionadora, foram feitas medidas de distância entre o sensor e a lâmina de fase. Medidas de distância utilizando uma trena também foram tomadas. Os resultados das medidas são apresentados na Figura 8.

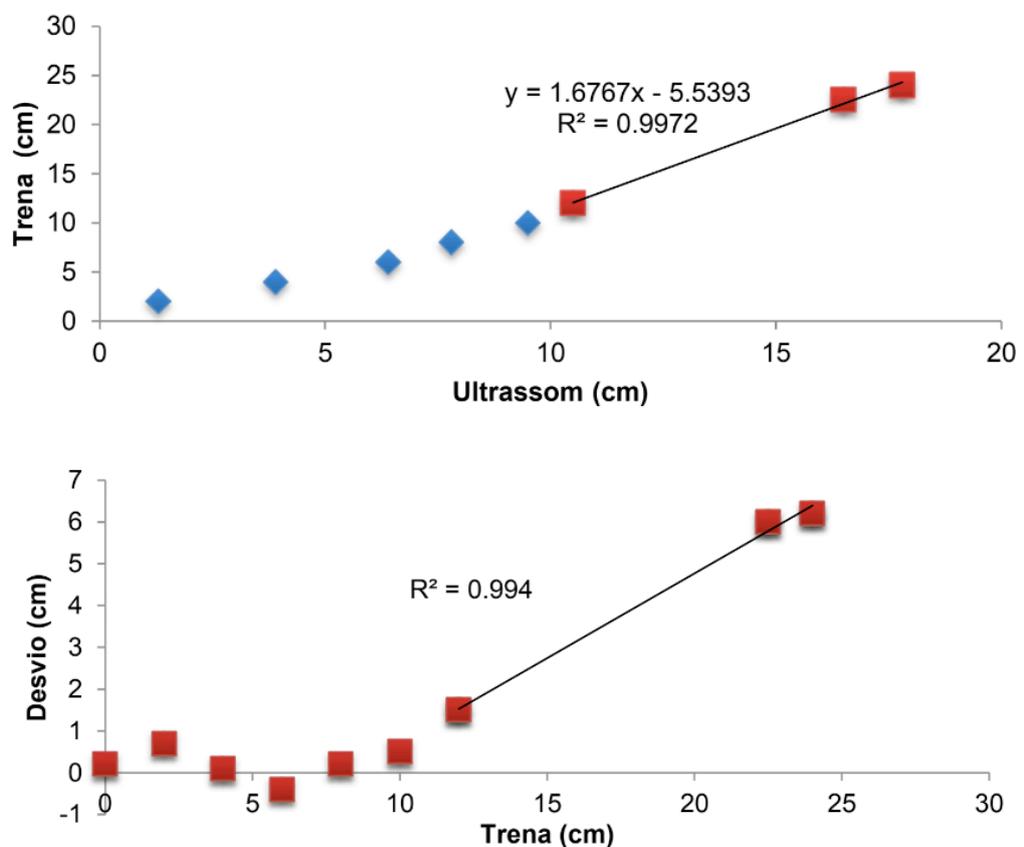


Figura 8 - Resultados das medidas de distância com sensor de ultrassom em comparação com as medidas de uma trena (descontando o offset) e respectivos desvios

Fonte: Próprios autores.

O desvio da medida de distância, apresentado graficamente na Figura 8, foi calculado subtraindo os valores indicados pelo ultrassom dos valores medidos pela trena (descontando o *offset*).

Verifica-se na comparação entre os valores medidos pela trena em relação aos valores indicados pelo ultrassom, na Figura 8, que a distância medida pelo ultrassom é bastante próxima à distância indicada pela trena em valores de distância menores que 10 cm. Acima de 10 cm de distância, o ultrassom passa a identificar valores menores

que os da trena, até a posição de chave completamente aberta. Também ocorreu dificuldade na medida de distância da chave entre as posições 11 cm e 15 cm, devido à movimentação da haste de fenolite da chave, que ficou no caminho entre o sensor e a lâmina.

A mudança no desvio dos valores de distância é facilmente visualizada no gráfico que compara os valores medidos com a trena e os valores medidos pelo sensor. Até 10 cm, o desvio similar ao desvio das medidas feitas fora da chave. Acima de 10 cm, nota-se que o desvio aumenta linearmente com a distância. Nas medidas realizadas na chave seccionadora, o desvio foi tanto positivo (valores medidos pelo sensor menores que os da trena) quanto negativo, mas predominantemente negativo.

Considerando que desvios até de 1,5 cm são aceitáveis, fez-se uma regressão linear apenas nos valores medidos acima de 10 cm, de forma a obter uma equação de correção das medidas do ultrassom. A linearidade do desvio é confirmada pelo valor do R^2 , acima de 0,99.

Com a equação de reta obtida, a cada medida feita pelo ultrassom, acima de 10 cm, é calculado um valor de distância corrigido pela equação. Considerando essa correção, novas medidas de distância foram feitas na chave e os resultados de desvio são apresentados na Figura 9.

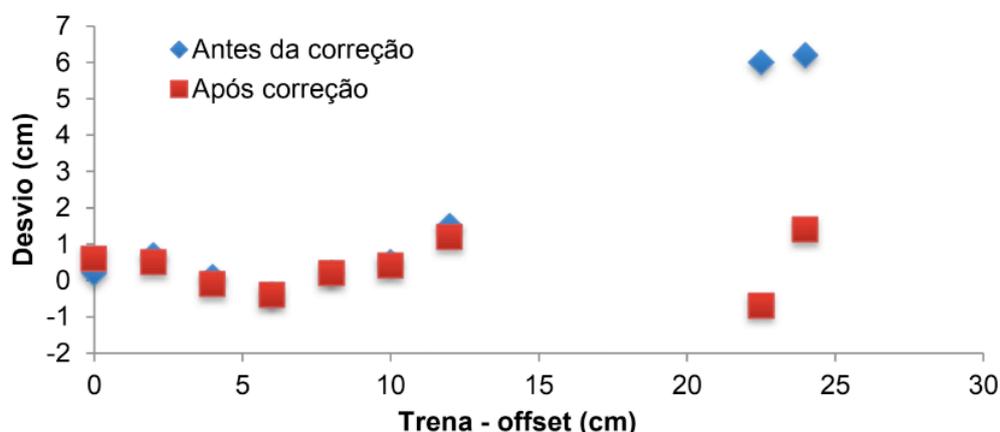


Figura 9 - Desvios das medidas de distância com sensor de ultrassom em comparação com as medidas de uma trena, na chave seccionadora, antes e após aplicar a correção

Fonte: Próprios autores.

Os valores de desvio em medidas acima de 10 cm foram bastante reduzidos com esse método de correção, passando para desvio menor que 1,5 cm.

4 | CONCLUSÃO

Foi identificado, durante os ensaios de calibração da distância, que existe uma posição com a chave aberta suscetível a falha de leitura de distância, devido à haste de fenolite. Essa região de chave aberta pode se tornar imperceptível em caso

de manobra manual da chave seccionadora e mais evidente em caso de manobra automática por motor de acionamento.

A região crítica de identificação de mau fechamento da chave seccionadora está dentro da região com medição de distância mais precisa do sistema desenvolvido, com desvios nos valores medidos de até 1,5 cm. Esse desvio é considerado aceitável para a chave seccionadora da dimensão estudada, indicada para redes distribuição de média tensão.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **5460**. Sistemas elétricos de potência. São Paulo, p. 63. 1992.

ELECFREAKS. Ultrasonic range module HC-SR04, 2014. Disponível em: <www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>. Acesso em: 31 maio 2016.

ELETROSUL. **Instrução de Manutenção - Chaves Seccionadoras 69 kV - II/CS/002**, 1985.

FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications**. 4^a. ed. New York: Springer, 2010.

FULCHIRON, D.; BIASSE, J.-M. **Medium Voltages Disconnectors and Safety**. 20th International Conference on Electricity Distribution. Praga: IEEE. 2009. p. 4.

GRAY, D. E. **American Institute of Physics Handbook**. 2^a. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Book Company Inc., 1957. Disponível em: <<https://archive.org/details/AmericanInstituteOfPhysicsHandbook>>. Acesso em: 31 maio 2015.

HAYNES, W. M. Speed of Sound in Dry Air. In: FRANCIS, C. P. A. **CRC Handbook of Chemics and Physics**. Boca Raton: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.hbcnetbase.com/>>. Acesso em: 31 maio 2015.

SILVA, R. et al. CTEEP. **Sensoriamento de Fechamento de Chaves Seccionadoras Utilizando Sensores Ópticos**, p. 4, 2006. Disponível em: <<http://ctEEP.riweb.com.br/Download.aspx?Arquivo=Z3Eog25z4xGHGebAkF1ETA==>>>. Acesso em: 22 maio 2016.

SOUZA, A. F. D. **Sistema para monitoração da operação de chaves seccionadoras de alta tensão baseado na análise das correntes do motor de acionamento**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 113. 2002.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente 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 dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor 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 978-85-7247-246-3

