



**Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia  
(Organizadores)**

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica 3

**Atena**  
Editora

Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia**  
(Organizadores)

**Impactos das Tecnologias na  
Engenharia Mecânica**  
**3**

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 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v.3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-248-7

DOI 10.22533/at.ed.487190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna. 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.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica está em constante mudança, sendo uma das mais versáteis, se olhar desde seu surgimento durante a Revolução Industrial até os dias de hoje é visível a modernização e modificação dos métodos e das tecnologias empregadas.

Nesta evolução um dos pontos de destaque é a área de materiais e dos modos de obtenção dos mesmos, sendo responsável por grande parte desta modernização da área. Neste livro são tratados alguns assuntos ligados diretamente a área de matérias, bem como os processos de transformação dos mesmos em produtos finais.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de fabricação do mesmo.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a seleção, desenvolvimento e processos de obtenção e fabricação são apresentados nesse livro.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS LIGAS Al-3%Si E Al-9%Si ATRAVÉS DO PROCESSO “SQUEEZE-CASTING”, E A INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA DUREZA, MACRO E MICROESTRUTURA	
<i>Diógenes Linard Aquino Freitas</i> <i>Cláudio Alves de Siqueira Filho</i> <i>José Joelson de Melo Santiago</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CEMENTANTES ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE MICRODUREZA VICKERS	
<i>Bernardo Rota</i> <i>Alisson Geovane Silva de Souza</i> <i>Annemarie Henker</i> <i>Daniel Amoretti Gonçalves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
ESTIMATIVA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i> <i>Jefferson Gomes do Nascimento</i> <i>Luís Henrique da Silva Ignácio</i> <i>Vinicius Soares Medeiros</i> <i>Fernando Costa Malheiros</i> <i>Henrique Coelho Fernandes</i> <i>Gilmar Guimarães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>27</b>
PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFUIDOS TiO <sub>2</sub>	
<i>Letícia Raquel de Oliveira</i> <i>Stella Rodrigues Ferreira Lima Ribeiro</i> <i>David Fernando Marcucci Pico</i> <i>Alessandro Augusto Olimpio Ferreira Vittorino</i> <i>Enio Pedone Bandarra Filho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>35</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM INDENTADOR INSTRUMENTADO PARA MEDIÇÕES DE PROPRIEDADES ELÁSTICAS E PLÁSTICAS	
<i>Lucas dos Reis Heni Madeira</i> <i>Vinicius Carvalho Teles</i> <i>Washington Martins da Silva Junior</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4871905045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 43**

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL EM HIDROXIAPATITA COMERCIAL E SINTETIZADA PELO MÉTODO SOL-GEL UTILIZANDO CASCA DE OVO DE GALINHA COMO PRECURSOR

*Marcelo Vitor Ferreira Machado*  
*José Brant de Campos*  
*Marilza Sampaio Aguilar*  
*Vitor Santos Ramos*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905046**

**CAPÍTULO 7 ..... 53**

PARAMETRIZAÇÃO DE TEXTURIZAÇÃO VIA MECT EM METAL PATENTE

*Túlio Alves Rodrigues*  
*Erika Michele Damas*  
*Gabriela Caixeta Alcarria*  
*Náthaly Nascimento Sousa*  
*Washington Martins da Silva Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905047**

**CAPÍTULO 8 ..... 59**

CORRELAÇÃO ENTRE DIFERENTES FORMAS DE AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE FERROS FUNDIDOS E SEU COEFICIENTE DE ATRITO

*Luiz Eduardo Rodrigues Vieira*  
*Guilherme de Oliveira Castanheira*  
*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*  
*Wisley Falco Sales*  
*Álisson Rocha Machado*  
*Wilson Luiz Guessser*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905048**

**CAPÍTULO 9 ..... 69**

MANUFATURA DE LIGA DE AL5%CU PELO PROCESSO DE METALURGIA DO PÓ

*André Pereira da Silva*  
*Juliano de Lemos Navarro*  
*Leonardo Almeida Lopes*  
*Felipe Antônio Viana de Araújo*  
*Gabriel Aires Honorato*  
*Sérgio Mateus Brandão*

**DOI 10.22533/at.ed.4871905049**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

ANÁLISE DO FENÔMENO DAS BOLHAS EM SOLDAGEM SUBAQUÁTICA MOLHADA COM ARAME TUBULAR AUTOPROTEGIDO

*Camilla Mara Mendonça*  
*Alexandre Queiroz Bracarense*  
*Douglas de Oliveira Santana*  
*Marcelo Teodoro Assunção*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050410**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>99</b>
O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA SIMULAÇÃO DE OPERAÇÕES DE SOLDAGEM	
<i>Heitor Abdias da Silva Pereira</i>	
<i>Marcelo Cavalcanti Rodrigues</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050411</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>114</b>
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA USINAGEM COM AÇO INOXIDÁVEL	
<i>Gabriella Arruda Martins</i>	
<i>Lays Edinir da Cunha</i>	
<i>Luís Gustavo Moreira</i>	
<i>Mikael Henrique Morais</i>	
<i>Thomas Ernst de Goes Ferreira Kohler</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>123</b>
AVALIAÇÃO DO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE $R_v$ DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS USINADOS PELO PROCESSO DE BRUNIMENTO FLEXÍVEL	
<i>Leandro Carvalho Pereira</i>	
<i>Leonardo Rosa Ribeiro da Silva</i>	
<i>Rosenda Valdés Arencibia</i>	
<i>Luciano José Arantes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>131</b>
INFLUÊNCIA DO FLUIDO DE CORTE NO DESGASTE DE MICROFRESAS DE METAL DURO NA MICROUSINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNS S32205	
<i>Aline Gonçalves dos Santos</i>	
<i>Daniel Fernandes da Cunha</i>	
<i>Mayara Fernanda Pereira</i>	
<i>Bruno Souza Abrão</i>	
<i>Mark James Jackson</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>139</b>
GERAÇÃO E PARTIÇÃO DE CALOR EM USINAGEM POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO: UMA REVISÃO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.48719050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>153</b>
GERAÇÃO DE CALOR NA FURAÇÃO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO POR MEIO DO MÉTODO CALORIMÉTRICO	
<i>Ivanilson Sousa da Costa</i>	
<i>Guilherme Henrique Alves Andrade</i>	
<i>Márcio Bacci da Silva</i>	

**DOI 10.22533/at.ed.48719050416**

**CAPÍTULO 17 ..... 168**

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL POR MEIO DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA- PEÇA

*Ivanilson Sousa da Costa*

*Márcio Bacci da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050417**

**CAPÍTULO 18 ..... 177**

SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Kenji Fabiano Ávila Okada*

*Gabriel Marçal de Carvalho*

*Eder Silva Costa*

*Álisson Rocha Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050418**

**CAPÍTULO 19 ..... 187**

INFLUÊNCIA DE VÁRIOS PARÂMETROS OPERACIONAIS EM RETIFICAÇÃO NO ACABAMENTO E NA TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO

*Bruno Souza Abrão*

*Mayara Fernanda Pereira*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Eduardo Carlos Bianchi*

*Rosemar Batista da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050419**

**CAPÍTULO 20 ..... 193**

INFLUÊNCIA DA PENETRAÇÃO DE TRABALHO E VELOCIDADE DA PEÇA NO ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO VERMICULAR APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

*Lurian Souza Vieira da Silva*

*Rosemar Batista da Silva*

*Mariana Landim Silveira Lima*

*Deborah de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050420**

**CAPÍTULO 21 ..... 202**

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE USINAGEM DO BRUNIMENTO FLEXÍVEL NA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS

*Leandro Carvalho Pereira*

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Rosenda Valdés Arencibia*

*Luciano José Arantes*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050421**

**CAPÍTULO 22 ..... 210**

**USINAGEM ELETROQUÍMICA SUPERFICIAL EM AMOSTRAS DE FERRO FUNDIDO**

*Leonardo Rosa Ribeiro da Silva*

*Leandro Carvalho Pereira*

*Henara Lilian Costa*

**DOI 10.22533/at.ed.48719050422**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 219**

## SISTEMA DE MEDIÇÃO DE POTÊNCIA NO PROCESSO DE FRESAMENTO UTILIZANDO SENSORES POR EFEITO HALL

### **Leonardo Rosa Ribeiro da Silva**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia – Minas Gerais

### **Kenji Fabiano Ávila Okada**

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia – Minas Gerais

### **Gabriel Marçal de Carvalho**

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia – Minas Gerais

### **Eder Silva Costa**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade  
Federal de Uberlândia  
Uberlândia – Minas Gerais

### **Álison Rocha Machado**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Pontifícia  
Universidade Católica do Paraná  
Curitiba – Paraná

**RESUMO:** Na usinagem, a potência de consumo é um parâmetro de saída útil para o estudo de usinabilidade dos materiais, a performance das ferramentas e dos fluidos de corte, e o diagnóstico das condições de corte. Ela pode ser obtida a partir das medições da potência elétrica ativa do motor que rotaciona o eixo central da ferramenta da máquina. O objetivo do presente trabalho é projetar e

validar um sistema de medição de potência elétrica do centro de usinagem CNC durante o processo de fresamento. O sistema é composto por sensores de efeito Hall, que obtém dados elétricos da rede de energia que alimenta o motor principal da máquina, e o sinal por eles gerado é amplificado e convertido em informações digitais para serem processados computacionalmente. Para a validação dos resultados obtidos pelo sistema de medição da potência, um dinamômetro rotativo foi utilizado para medir as forças de usinagem, permitindo o cálculo da potência de corte, para comparações. A diferença entre as medições de potência de usinagem pelos dois sistemas foi em torno de 5%.

**PALAVRAS CHAVE:** Processo de fresamento, Sistema de medição de potência, Sensores Hall, Forças de usinagem.

**ABSTRACT:** In machining, the power consumption is a useful output parameter to study the machinability of materials, the performance of cutting tools and cutting fluids and to diagnose the conditions of the cut. It can be obtained from measurements of the effective electric power of the motor that rotates the main shaft of the machine tool. The objective of the present work is to build and validate a measurement system of the electric power of a CNC machining center during the milling

process. The system consists of Hall sensors that obtain data from the electrical input lines that feed the main motor of the machine and the signal generated is amplified and converted into digital information to be processed computationally. For validation of the results obtained by the power measurement system, a rotating dynamometer was used to measure the machining forces, allowing the calculation of the cutting power for comparisons. The difference of the machining power measured by the two systems was about 5%.

**KEYWORDS:** Milling process, Power measurement system, Hall sensors, Machining forces.

## 1 | INTRODUÇÃO

Fresamento é uma operação de usinagem que consiste, na maioria dos casos, em movimentos de avanço longitudinal e transversal da peça de trabalho, fixada na mesa de trabalho, e da rotação da ferramenta (MACHADO et al., 2015). Uma importante variável relacionada aos processos de fresamento é a potência efetiva de usinagem (TRENT; WRIGHT, 2000), composta pela soma de todas as potências envolvidas nos processos de usinagem (corte e avanço). Entretanto, devido a velocidade de corte ser muito maior que a velocidade de avanço, a potência de avanço pode ser desprezada e por esse motivo, a potência de usinagem pode ser calculada considerando apenas a potência de corte. A potência de corte pode ser obtida a partir das Eq. (1) e Eq. (2). O motor do eixo de usinagem é responsável pela maior quantidade de energia requerida durante o processo de corte, logo, avaliar a potência de usinagem pela potência elétrica ativa é amplamente aceitável (MACHADO et al., 2015).

$$P_C = \frac{F_c V_c}{60\eta} \text{ (W)} \quad (1)$$

$$P_C = \frac{\alpha_c v_c f k_c}{60\eta} \text{ (W)} \quad (2)$$

Onde:

$P_C$  (W) = Potência de corte;

$F_c$  (N) = Força de corte;

$v_c$  (m/min) = Velocidade de corte;

$\eta$  = Rendimento da máquina;

$f$  = Avanço por revolução;

$K_c$  (MPa) = Pressão de corte específica

O sistema de medição de potência proposto neste trabalho foi concebido utilizando-se um método de medição indireta, que objetiva a medição da variação da corrente e tensão elétricas que, através de manipulações matemáticas, obtém-se a

potência ativa consumida pelo processo. O sistema de monitoramento é dividido em duas partes: uma dedicada para a medição da corrente elétrica e a outra dedicada para a medição da tensão elétrica. Ambas as partes seguem a mesma lógica de fluxo de informações a ser gerenciado, diferenciando-se entre si, apenas pelos transdutores de corrente e tensão elétricas utilizados em cada tipo de medição, respectivamente.

O transdutor de corrente é composto por elementos semicondutores, permitindo o sensoriamento magnético pelo efeito Hall. Isso é possível devido a presença de um campo magnético perpendicular ao fluxo da corrente elétrica no material semicondutor, princípio que permite a geração de uma tensão elétrica. Tal tensão elétrica é denominada de Tensão Hall e ela é proporcional à densidade de fluxo e da corrente elétrica. Os transdutores de tensão elétrica por efeito Hall são baseados na mesma ideia que os transdutores de corrente elétrica. Tais transdutores de tensão elétrica por efeito Hall são constituídos pela montagem de um transdutor de corrente elétrica em série com uma resistência elétrica primária. Assim, a tensão elétrica é medida pela circulação de uma corrente elétrica proporcional à essa resistência (RAMSDEN, 2006).

Os requerimentos mínimos para o sistema de monitoramento são: um computador, sensores de corrente e tensão elétricas com funcionamento por efeito Hall, sendo estes de alta frequência para garantir precisão e facilidade na aquisição dos sinais, amplificadores operacionais de sinal e um conversor de dados analógico/digital (A/D). Neste trabalho, foram utilizados o modelo HAS 50-S para o sensor de corrente elétrica e o LVP 20-P para o sensor de tensão elétrica, ambos apresentados na Fig. 1. O amplificador operacional da série 741 e a placa de aquisição de dados NI USB-6221 também foram usados, com taxas de aquisição de 10KHz.



Figura 1. Sensores de corrente e tensão elétricas, respectivamente.

Para o desenvolvimento do sistema de medição de potência, o isolamento, para evitar a presença de ruídos na medição, a amplificação e a atenuação do sinal foram necessários. Este sistema é composto de dois circuitos, denominados de circuitos condicionadores de sinal, um para a tensão e o outro para a corrente elétrica, constituídos pela associação de amplificadores operacionais e resistores elétricos para que o sinal de saída de cada sensor seja amplificado ou atenuado por um ganho constante. Esse ganho é importante, uma vez que é responsável por adequar as faixas de valores de operação da corrente e tensão elétricas da rede que alimenta a máquina de usinagem,

da tensão elétrica de saída dos sensores por efeito Hall e da tensão elétrica de entrada permitida pelo conversor A/D. Logo, uma calibração do ganho do circuito amplificador, levando em consideração cada faixa de operação, é necessária para que não haja perdas de informações, como através da saturação dos sensores, dos amplificadores operacionais ou do próprio conversor A/D, e garantir uma maior precisão dos dados medidos. Utilizando a Eq. (3), o sinal condicionado é obtido.

$$V_o = A.V_i \quad (3)$$

Onde:

$V_o$  (V) = Sinal condicionado;

$V_i$  (V) = Sinal de saída dos sensores;

$A$  = Ganho do circuito condicionador de sinal.

A Fig. 2a mostra o circuito condicionador do sinal para o sensor de tensão elétrica. Neste diagrama, a conexão elétrica representada na extremidade esquerda do circuito é acoplada à rede elétrica de alimentação da máquina, especificamente em uma única fase, enquanto que a outra conexão, na extremidade direita, é conectada diretamente na entrada do conversor A/D. A configuração de amplificador inversor, em que o ganho é negativo, visto nessa figura, é a mesma usada para o sinal do sensor de corrente elétrica. A Fig. 2b é a foto do sistema de medição implementado.

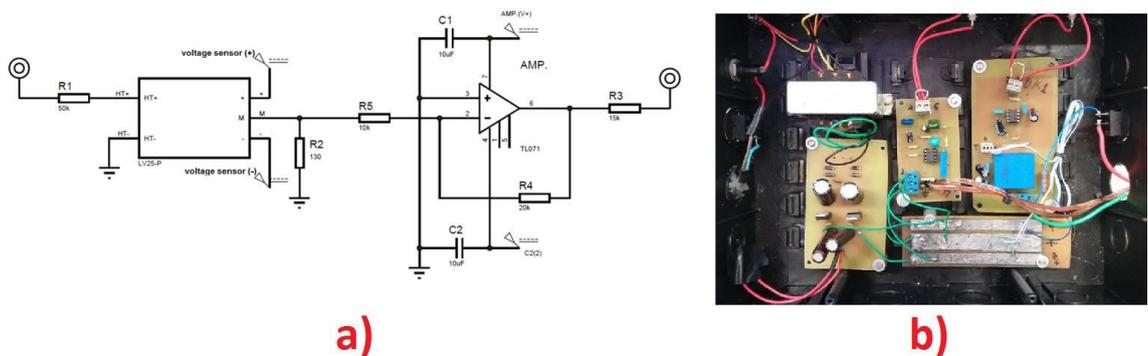


Figura 2. Sensor de tensão elétrica em conjunto com o circuito condicionador de sinal. (a) Desenho esquemático. (b) Circuito implementado.

A potência de corte pode então ser estimada a partir da potência média, ou ativa, dada pela Eq. (4) em conjunto à potência instantânea calculada pela Eq. (5) (ALEXANDER; SADIKU, 2013).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (4)$$

$$p(t) = i(t).v(t) \quad (5)$$

Onde:

$P$  (W) = Potência elétrica média;

$T$  (s) = Período no tempo do sinal;

$p(t)$  (W) = Potência elétrica instantânea;

$i(t)$  (A) = Corrente elétrica instantânea;

$v(t)$  (V) = Tensão elétrica instantânea.

Os sinais de corrente e tensão elétricas medidos pelo sistema de potência ao longo do tempo,  $i(t)$  e  $v(t)$  respectivamente, são expressos na forma de uma soma infinita de funções seno e cosseno dos múltiplos inteiros da frequência fundamental da rede elétrica na qual o sistema faz as leituras, neste caso 60Hz, caracterizando assim o teorema de Fourier (ALEXANDER; SADIKU, 2013). Por essa razão, a potência média de uma fase da rede pode ser definida pela Eq. (6):

$$P_f = P_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} P_n \quad (6)$$

Onde:

$P_f$  (W) = Potência média de uma fase;

$P_{dc}$  (W) = Componente constante da série de Fourier da potência instantânea de uma fase;

$P_n$  (W) = Componente harmônica da série de Fourier da potência instantânea de uma fase.

Considerando a equação anterior, obtemos que a potência total média é a soma das potências médias de cada tensão e corrente elétricas relacionados harmonicamente, ou seja, os valores de  $p(t)$  da Eq. (5) serão diferentes de zero apenas quando houver o produto da componente harmônica da tensão e corrente elétricas de mesma ordem. Portanto, a média da potência instantânea obtida pela Eq. (4) resultará na média da potência necessária para o cálculo da potência de corte, mesmo com a presença de distorção harmônica gerada principalmente, por circuitos eletroeletrônicos da CNC de controle dos motores elétricos.

Desde que os motores trifásicos de indução elétrica sejam fabricados a fim de possuírem os enrolamentos balanceados, ou seja, as bobinas que constituem o estator tenham impedâncias iguais (DEL TORO, 1994), as potências médias desenvolvidas em cada fase serão as mesmas, e por essa razão, a potência total de corte pode ser dada pela Eq. (7):

$$P_t = 3 \cdot P_f \quad (7)$$

Onde:

$P_t$  (W) = Potência ativa total.

É importante salientar que a potência calculada pela Eq. (7) é a potência ativa consumida pelo motor elétrico e que o trabalho útil gerado por ele, ligado ao torque obtido no seu eixo, depende do seu rendimento. Como a potência de corte é obtida

através de parte desse trabalho útil, retirando a parcela da potência necessária para girar as ferramentas e seus suportes, o sistema de medição de potência realiza uma primeira medição da máquina em operação sem que haja o contato da ferramenta com o material de trabalho, denominada potência a vazio. A partir disso, a potência de corte é calculada subtraindo a potência ativa a vazio da potência ativa total.

Esse método permite que possa ser estimada a potência de corte, Eq. (8), sem que haja a necessidade do conhecimento de certos parâmetros, como o rendimento do motor, e possibilita o acoplamento dos sensores diretamente na rede de alimentação da máquina de usinagem ao invés de uma conexão na entrada do motor, que normalmente é de difícil acesso ou inviável, o que torna o procedimento mais simples e rápido.

$$P_c = P_t - P_o \quad (8)$$

Onde:

$P_o$  (W) = Potência ativa a vazio.

## 2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes de fresamento a seco foram realizados utilizando fresas de Aço Rápido (HSS) não revestidas fabricadas pela OSG Sulamericana Ltda, modelo D327 EDS 801/1, com 10mm de diâmetro e quatro arestas de corte, Fig. (3). O material da peça de trabalho é de ferro fundido cinzento pearlitic, com grafite refinado e adição de molibdênio, fornecido pela TUPY S.A. A microestrutura da amostra é ilustrada na Fig. (4). As fresas foram substituídas por uma nova a cada momento em que o desgaste de flanco atingia 0.1mm em um dos dentes.



Figura 3. Exemplo de uma das fresas utilizadas nos testes

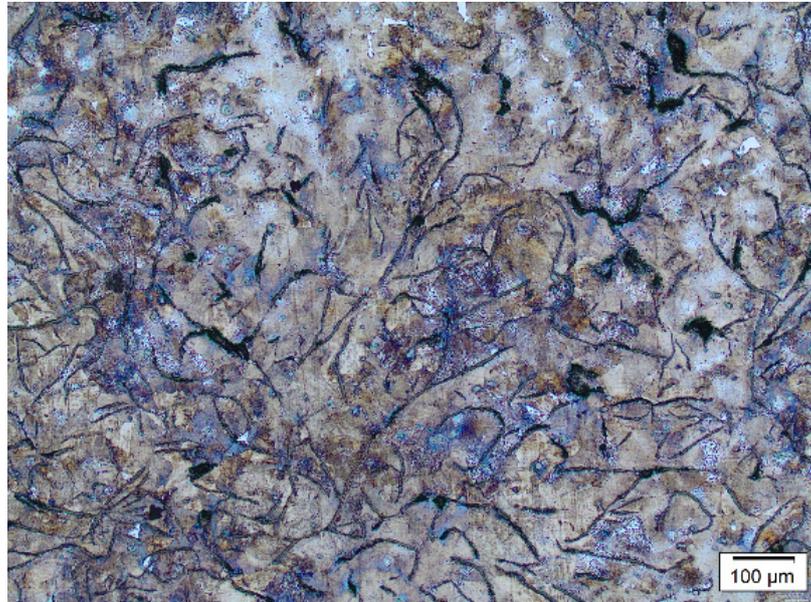


Figura 4. Microestrutura da peça de trabalho – FC 350 ferro fundido cinzento. Gravado com Nital 2% por 15 segundos.

Os testes consistiram em canais de usinagem na peça de trabalho com uma largura igual ao diâmetro da fresa (ranhura), que foram realizados no centro de usinagem ROMI Discovery 760 CNC. As forças de usinagem foram medidas utilizando o dinamômetro rotativo de modelo 9123C, e o amplificador de sinal 5223, ambos fabricados pela Kistler. As condições de corte utilizadas estão listadas abaixo, com 3 réplicas por condição, com um total de 36 testes. Os testes foram realizados em ordem, de acordo com a Tab. 1.

- Comprimento da folga da ferramenta = 40mm;
- $a_e = 10$  mm;
- $a_p = 0.5, 1$  e 2 mm;
- $f_z = 0.1$  e 0.2 mm/dente;
- $V_c = 10$  e 20 mm/min;
- $L_f = 30$  mm.

	$a_p$ (mm)	$V_f$ (mm/rev)	$V_c$ (m/min)
1	0.5	0.10	10.0
2	1.0	0.10	10.0
3	2.0	0.10	10.0
4	0.5	0.20	10.0
5	1.0	0.20	10.0
6	2.0	0.20	10.0
7	0.5	0.10	20.0
8	1.0	0.10	20.0

9	2.0	0.10	20.0
10	0.5	0.20	20.0
11	1.0	0.20	20.0
12	2.0	0.20	20.0

Tabela 1. Sequência dos testes realizados neste trabalho

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. (4) mostra a potência de corte dado pela Eq. (1), após a medição da força com o dinamômetro, e a potência de corte a partir da Eq. (7), após a medição da corrente e tensão elétricas pelos sensores de efeito Hall. Esses valores foram comparados com a potência de corte teórica dada pela Eq. (2), sendo utilizado, no cálculo, os parâmetros do ferro fundido endurecido com  $K_c$  igual a 3000 e 2700Mpa para avanços de 0.1 e 0.2mm/rev, respectivamente (Carbide Catalogue Cb005, 2001). Uma boa concordância foi observada entre os valores das três potências, especialmente aquelas medidas pelo dinamômetro e pelos sensores de efeito Hall, onde todas as medições estavam dentro os respectivos desvios padrões. É observado, no entanto, que os testes de número 3, 5, 6 e 12 apresentaram valores de potência real superior à teórica. Isso pode ser explicado pelo fato de que essas condições são mais severas em relação à potência necessária para a usinagem e, com o aumento das forças de usinagem, fatores como a vibração e a rigidez do centro da máquina, não previstos na equação teórica, possuem um maior influência na potência de corte, e que por essa razão, os valores experimentais são maiores que os teóricos.

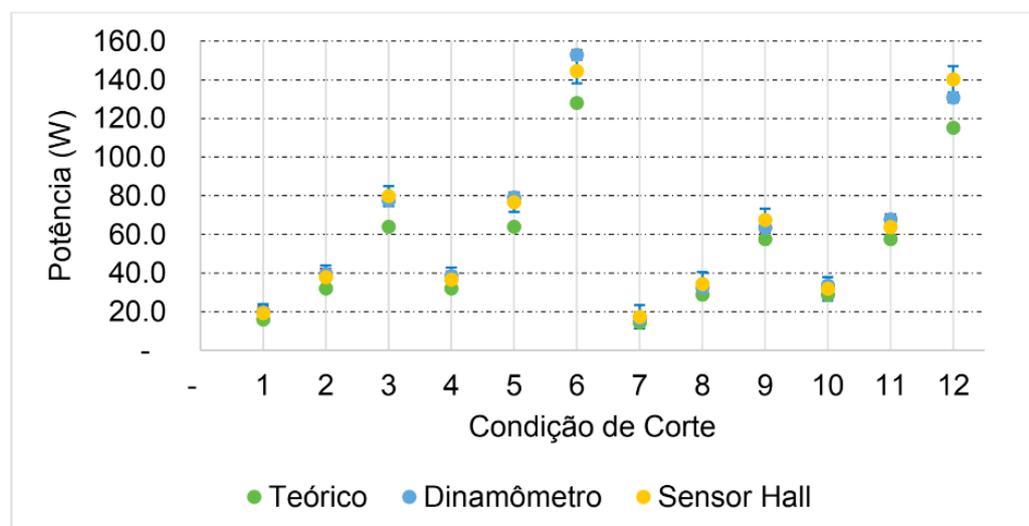


Figura 4. Resultados da potência de corte.

A Fig. (5) representa a variação (em porcentagem) da potência determinada pelos diferentes sistemas investigados neste capítulo. Para todos os casos, as medições

obtidas pelos sensores de efeito Hall e do dinamômetro foram estatisticamente similares. Pode-se inferir, ainda, que o sensor de efeito Hall, possui uma maior imprecisão de medição em relação ao dinamômetro, pois apresentou um desvio padrão médio de 5.9%, em comparação aos 2.5% pelo dinamômetro. Isso é devido ao fato de que o dinamômetro realiza medições diretas do sistema, enquanto que o sensor de efeito Hall é baseado em medições indiretas, estando mais sujeita a flutuações da rede elétrica que alimenta a máquina de usinagem. A principal diferença em porcentagem das medições pelos sensores de efeito Hall em relação ao dinamômetro foi em torno de 5%, o que indica uma boa resolução do sistema de medição aqui proposto, especialmente quando considerado o seu baixo custo de implementação em relação ao dinamômetro.

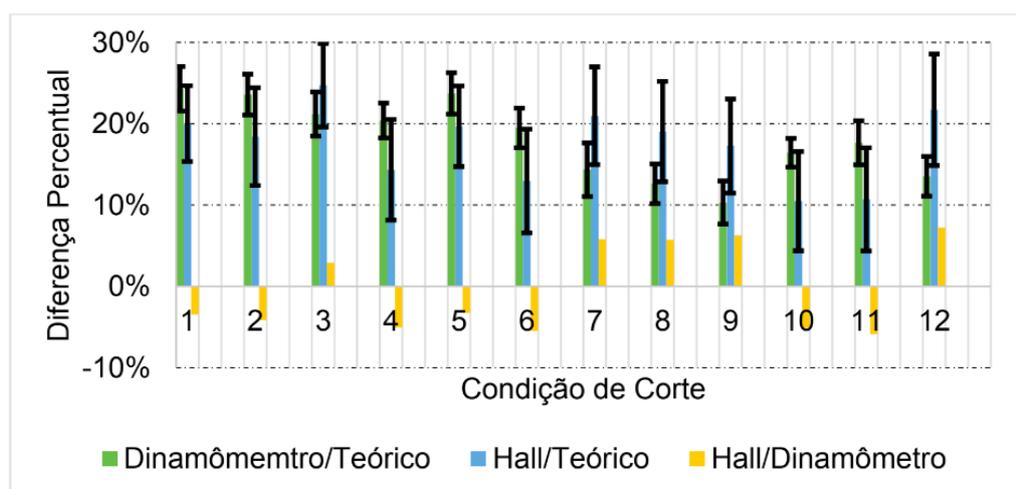


Figura 5. Diferença percentual entre os sistemas avaliados para obtenção da potência de corte

#### 4 | CONCLUSÃO

A potência de usinagem no fresamento de ranhuras do ferro fundido cinzento FC 350 avaliada através do uso de sensores por efeito Hall, apresentou uma boa concordância com os valores teóricos e com os valores calculados após a medição das forças de corte pelo dinamômetro rotativo. Como esperado, devido ao fato de ser uma medição indireta, a medição de potência pelo sensor por efeito Hall obteve uma ligeira maior dispersão nos resultados que utilizando o dinamômetro. Contudo, os sensores por efeito Hall são muito mais baratos que os sistemas compostos pelo dinamômetro. Finalmente, foi observado em alguns testes, que os valores teóricos da potência de usinagem se distanciaram dos valores reais quando as forças de usinagem aumentaram, uma vez que fatores, como a rigidez do equipamento, não considerada na equação adotada, se tornaram mais relevantes.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES, CNPQ, FAPEMIG, OSG Sulamericana de Ferramentas Ltda e à Tupy S.A. pelo apoio técnico e financeiro para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**, 5ed. McGraw Hill Mexico, ISBN 1456245066, 2013.

Carbide Catalogue CB005. **M. Metal Cutting Carbide Tools**, Mitsubishi Materials Corporation, v. 2002, 2001.

DEL TORO, V. **Fundamentos de máquinas elétricas**, Prentice-Hall do Brasil, ISBN 8570540531, 1994.

MACHADO, A. R. et al. **Teoria Da Usinagem Dos Materiais**, EDGARD BLUCHER, ISBN 9788521204527, 2015.

RAMSDEN, E. **Hall-effect sensors: theory and applications**, 2ed. Elsevier. ISBN 0-7506-7934-4, 2006.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**, Butterworth-Heinemann, ISBN 075067069X, 2000.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**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.

**Ricardo Vinicius Bubna Biscaia** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-248-7

