

## **ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DOS SINAIS DO SENSOR DE EMISSÃO ACÚSTICA NO ACOMPANHAMENTO DA EVOLUÇÃO DESGASTE DE BROCAS**

**José Augusto Zermiani dos Santos, jaugusto@tupy.com.br<sup>1</sup>**

**Carlos Eduardo Turino, ceturino@tupy.com.br<sup>1</sup>**

**Ulisses Borges Souto, ubsouto@gmail.com<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tupy SA, Rua Albano Schmidt, 3400 – CEP 89227-901 - Joinville – SC

<sup>2</sup>Instituto Superior Tupy, Rua Albano Schmidt, 3333 – CEP 89206-001 - Joinville - SC

**Resumo:** *O presente trabalho tem como objetivo analisar a sensibilidade dos sinais do sensor de emissão acústica no acompanhamento da evolução desgaste de brocas. Os ensaios foram realizados numa linha de produção de blocos de motor de ferro fundido vermicular, em um centro de usinagem horizontal modelo ISO-40. A velocidade de corte e o avanço foram constantes ( $v_c = 90$  m/min e  $f = 0,25$  mm/rev). As ferramentas utilizadas foram brocas escalonadas de canal reto de metal duro com cobertura de nitreto de titânio alumínio. Os sinais dos sensores foram adquiridos em 3 condições de desgaste de flanco máximo ( $VB_{Bmax}$ ) da ferramenta: estado 1 ( $VB_{Bmax} = 0$ ), estado 2 ( $VB_{Bmax} = 0,2$  a  $0,3$  mm) e estado 3 ( $VB_{Bmax} = 0,4$  a  $0,7$  mm) e posteriormente analisados no domínio do tempo, através de 4 parâmetros estatísticos (RMS, curtose, assimetria e fator de crista), sendo que a sensibilidade destes parâmetros foi analisada utilizando o gráfico boxplot. O sinal de emissão acústica apresentou sensibilidade para indicar o final de vida da ferramenta com os parâmetros RMS e curtose através da mediana e dos quartis.*

**Palavras-chave:** *furação, desgaste, emissão acústica*

### **1. INTRODUÇÃO**

A furação é uma das operações de maior tempo efetivo de corte na usinagem de um bloco de motor, possuindo grande influência sobre os custos de ferramentas. Estes custos têm o seu valor elevado na usinagem de blocos de motor em ferro fundido vermicular, devido à sua menor usinabilidade quando comparado ao ferro fundido cinzento (ANDRADE, 2005).

Na operação de furação, a vida útil das ferramentas apresenta uma grande dispersão, o que torna necessário a utilização de valores mais baixos como critério de final de vida para prevenir quebras. Com isto muitas ferramentas não são totalmente aproveitadas, aumentando o custo de produção e o tempo de máquina parada (SOUTO, 2007). Com a implantação de um sistema de monitoramento, o critério de vida útil passa a ser um índice gerado por esse sistema, que está baseado nos sinais de entrada dos sensores e dados internos da máquina.

As técnicas e as ferramentas de monitoramento atuais não estão totalmente desenvolvidas para a aplicação em ambientes industriais, além de não apresentarem suficiente confiabilidade nas respostas fornecidas, devido à variação das condições operacionais e aos vários fatores que afetam o desgaste da ferramenta de corte.

Diante deste fato, o presente trabalho tem como objetivo verificar sensibilidade dos sinais de emissão acústica com a evolução do desgaste de brocas, analisando os sinais extraídos dos respectivos sensores no domínio do tempo através de parâmetros estatísticos, indicando se os mesmos possuem sensibilidade para acompanhar o desgaste da ferramenta.

### **2. MONITORAMENTO DO DESGASTE DE FERRAMENTA COM SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA**

Emissão acústica é convencionalmente definida como ondas resultantes da rápida liberação de energia durante a deformação plástica, fratura ou mudanças internas da estrutura de um material (DONG, 1994). O sinal de EA pode ser classificado em dois tipos (BLUM e INASAKI, 1990): Sinal contínuo e sinal de pico (transiente). O sinal contínuo está associado à deformação da peça ou do cavaco, ao atrito da peça com a ferramenta. O sinal de pico possui uma maior energia que o sinal contínuo, devido a eventos localizados como trincas, quebra ou lascamento da ferramenta, podendo ser diferenciado facilmente durante o processo de corte.

Dimla (2000) faz uma revisão dos tipos de sinais utilizados para monitorar o desgaste de ferramenta. O autor comenta que a EA gerada durante o corte é bem menor que a EA gerada quando ocorrem trincas e quebras na ferramenta. Sendo assim, uma das principais deficiências da aplicação do sinal de emissão acústica está na dificuldade de indicar às condições intermediárias de desgaste da ferramenta. Porém, pode ser utilizada com eficiência para evitar quebras durante a usinagem.

## 2.1. Técnicas de análise de sinais

As técnicas de análise no domínio do tempo são de simples aplicação, sendo a análise do nível de RMS, fator de crista, curtose e assimetria os mais utilizados.

a) RMS ( $V_{RMS}$ ): o valor do nível de tensão RMS do sinal fornece uma estimativa do conteúdo de energia presente no sinal, indicando a severidade da vibração proveniente do sistema analisado. O valor RMS do sinal de EA pode ser expresso de acordo com a Eq. (1).

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt} \quad (1)$$

Onde:

$V(t)$  = Função do sinal;

$\Delta T$  = Constante de tempo.

b) Fator de crista (FC): o parâmetro fator de crista é a razão entre o valor do pico e o valor RMS da amostra e indica se a onda é homogênea ao longo do tempo. Grandes valores para o fator de crista indicam a presença de algum pico destacado no sinal (CUNHA, 2005). É calculado pela Eq. (2).

$$FC = \frac{Pico}{V_{RMS}} \quad (2)$$

c) Curtose (K): mede a dispersão da função probabilidade. No processo de furação, quando aumenta o desgaste da ferramenta o valor de curtose diminui, devido o aumento do número de picos no sinal. É calculado pela Eq. (3).

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{(x_i - \bar{x})^4}{(\sigma^2)^2} \quad (3)$$

Onde:

$N$  = Número de amostras da distribuição;

$\sigma^2$  = Variância em torno da média da distribuição.

d) Assimetria (S): mede a simetria da função de probabilidade em torno da média. Segundo Macário (2006) valores de assimetria distantes de zero podem estar relacionados com falhas no sistema ou problemas na aquisição dos sinais. É calculado pela Eq. (4).

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{(x_i - \bar{x})^3}{(\sigma^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4)$$

Onde:

$N$  = Número de amostras da distribuição;

$\sigma^2$  = Variância em torno da média da distribuição;

## 3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Foram utilizados blocos de motor de ferro fundido vermicular. A especificação de dureza e resistência mecânica do material são as seguintes:

- Dureza: 215 a 265 HB;
- Resistência a tração: 420 MPa mínimo;

- Limite de escoamento: 310 MPa mínimo;
- Alongamento: 1,0 % mínimo;
- Módulo de elasticidade: 140 GPa mínimo.

Foram utilizadas 5 brocas escalonadas de canal reto de metal-duro, com revestimento de nitreto de titânio alumínio (TiNAl). Cada broca foi fixada em um mandril térmico ISO-40. Os principais ângulos das brocas utilizadas são:

- Ângulo de ponta ( $\sigma$ ) = 140 °;
- Ângulo de incidência ( $\alpha$ ) = 13 °;
- Ângulo da aresta transversal ( $\psi$ ) = 3 °.

A Fig.(1) apresenta as principais dimensões dos furos e da broca.

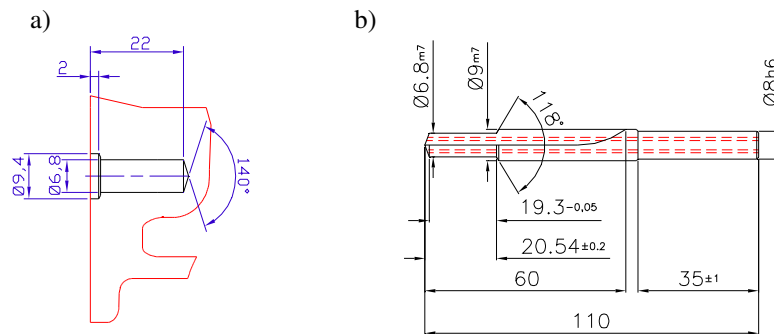


Figura 1. a) Características do furo b) Dimensões da broca.

Os ensaios de furação foram realizados em um Centro de Usinagem Horizontal (CUH) Heller MC-16 ISO-40, com comando GE-Fanuc – 180i, rotação máxima de 10.000 rpm e potência disponível de 30 kW. Os parâmetros de corte empregados foram definidos de acordo com os valores utilizados na linha de produção de ferro fundido vermicular:  $vc = 90$  m/min e  $f = 0,25$  mm/rotação. Foi utilizado fluido de corte emulsionável, com concentração de 5 a 7%.

Os blocos de motor foram fixados em um dispositivo hidráulico com pressão de fixação de 60 bar, localizados por dois guias de manufatura da peça. Esta fixação garante estabilidade, rigidez e precisão na realização dos ensaios.

O critério de fim de vida da ferramenta foi o desgaste de flanco máximo ( $VB_{B_{\max}}$ ). Foram medidos os desgastes de flanco das duas arestas de corte da broca, sendo o maior valor representativo para os resultados.

Os estados de desgaste de flanco foram nomeados da seguinte forma:

- Estado 1:  $VB_{B_{\max}} = 0$  mm;
- Estado 2:  $VB_{B_{\max}} = 0,2$  a  $0,3$  mm;
- Estado 3:  $VB_{B_{\max}} = 0,4$  a  $0,7$  mm.

As características do sensor de emissão acústica são as seguintes:

- Tipo: Sensor emissão acústica piezoelétrico;
- Modelo: 8152B da Kistler;
- Faixa de frequência: 50 a 400 kHz;
- Temperatura de operação: -40 °C a 60 °C;
- Massa: 29 g.

Foi acoplado no eixo árvore do centro de usinagem um anel de aço 1020, onde foram fixados o sensor de emissão acústica. O anel é bi-partido, fixado por dois parafusos M12. A Fig.(2) apresenta a montagem do anel.

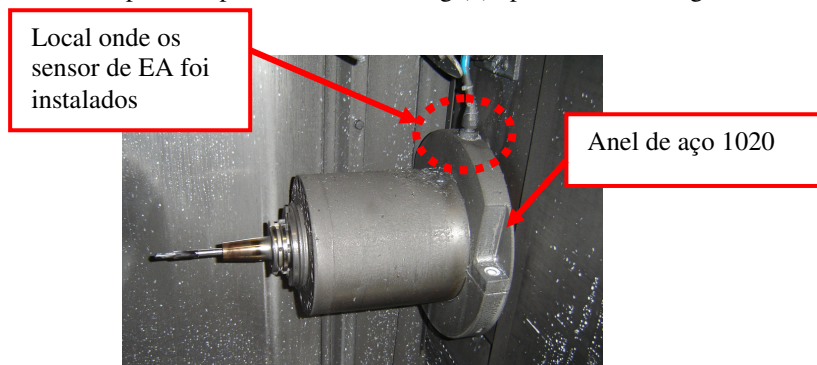
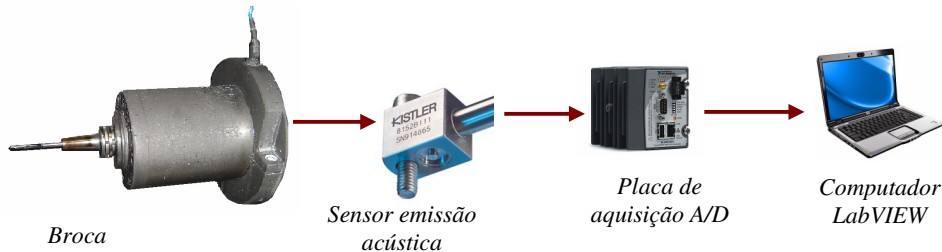


Figura 2. Fixação do sensor de emissão acústica.

O sinal de emissão acústica foi conectado a um condicionador de sinais com a constante de integração ajustada em 0,0002 segundos, gerando um sinal  $EA_{RMS}$  com taxa de aquisição de 5 kHz.

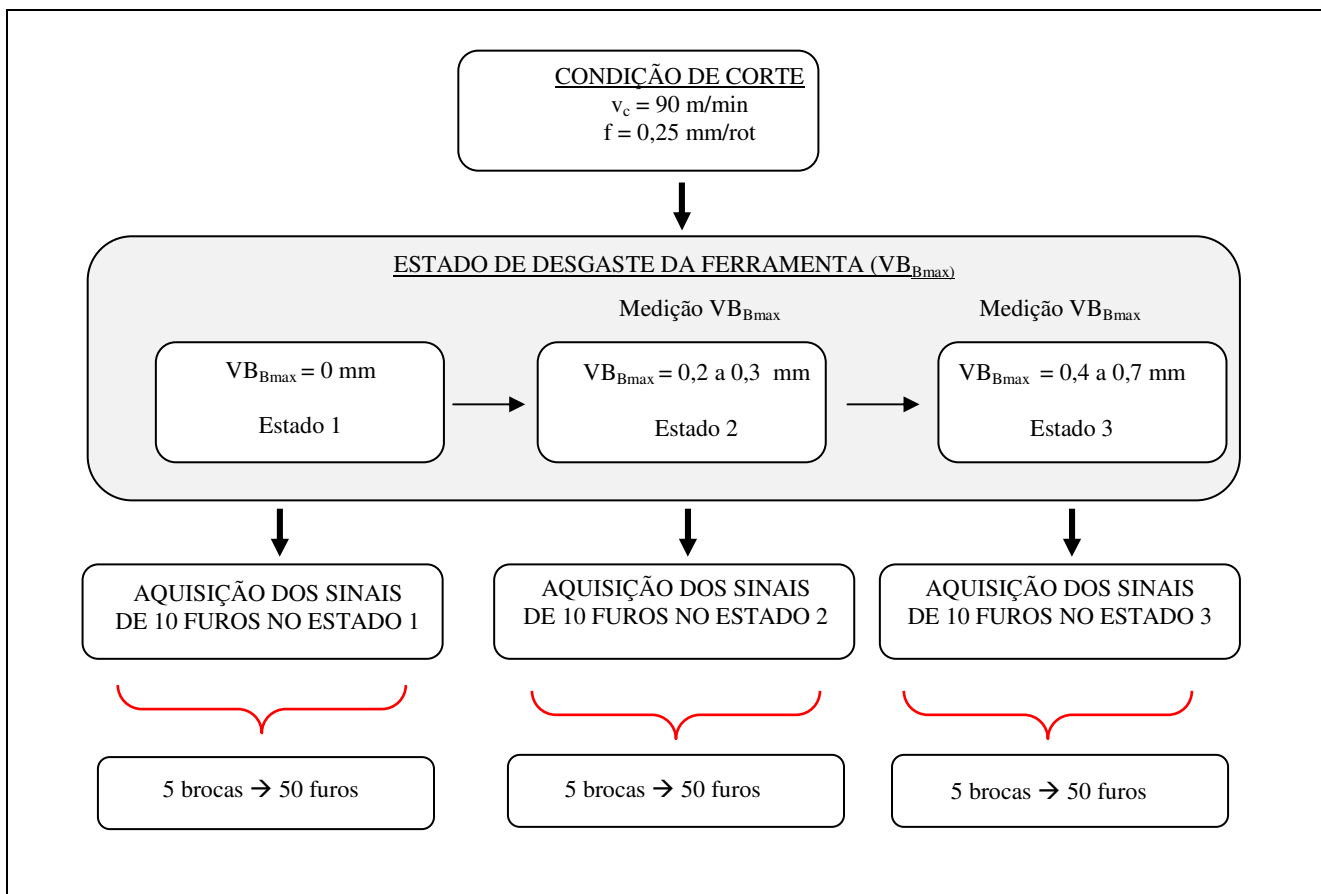
O tempo de usinagem de cada furo foi de 1,26 segundos, de acordo com os parâmetros de processo utilizados ( $v_c = 90$  m/min,  $f = 0,25$  mm/rot, furo com diâmetro de 6,8 mm e profundidade de 22 mm), sendo assim temos para cada furo monitorado 6300 pontos.

Os sinais adquiridos pelos sensores foram enviados para uma placa de aquisição de dados A/D da National Instruments, modelo NI cRIO-9002, que possui frequência de aquisição de 200 MHz, para posteriormente serem armazenados na memória do computador. A Fig. (3) ilustra o sistema.



**Figura 3. Representação do sistema.**

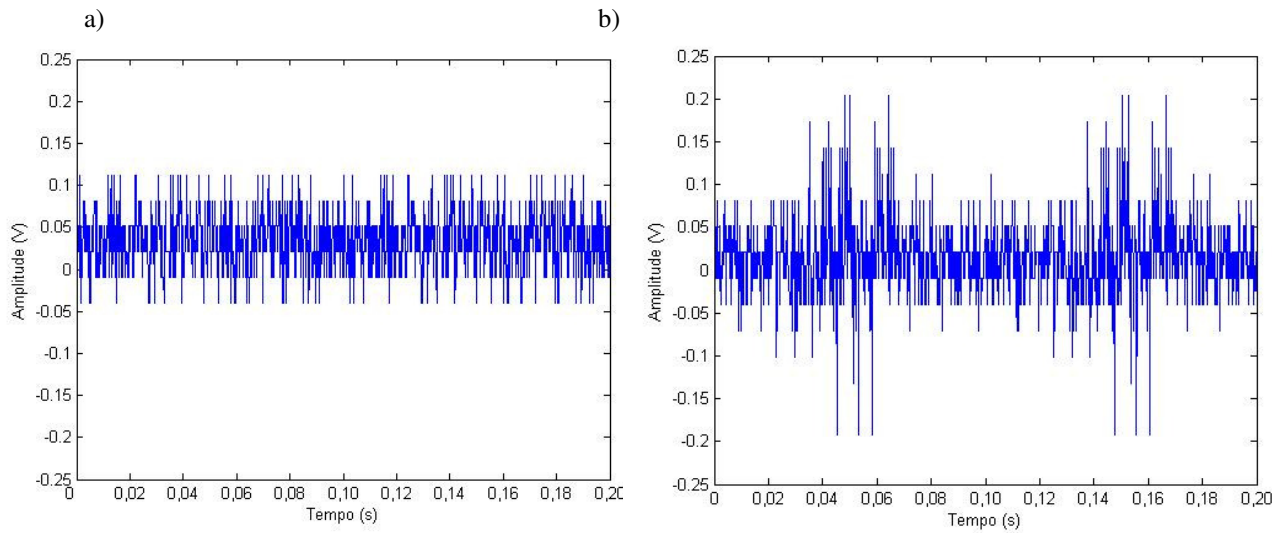
Em cada estado de desgaste da ferramenta (estado 1, 2 e 3) foram adquiridos os sinais de 10 furos para cada broca. Como foram utilizadas 5 ferramentas, em cada estado de desgaste tem-se os sinais de 50 furos monitorados (10 de cada ferramenta). A metodologia de aquisição dos sinais para uma broca está ilustrada na Fig. (4).



**Figura 4. Representação esquemática da metodologia de aquisição dos sinais.**

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

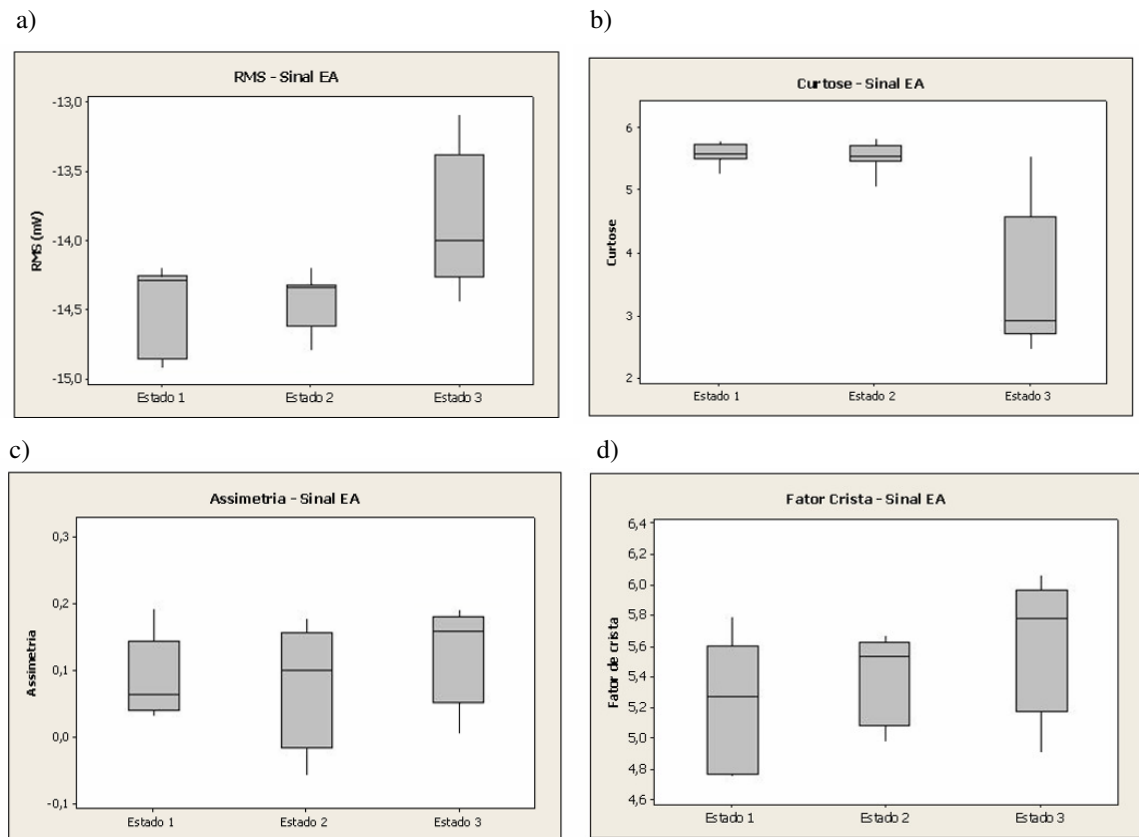
A Fig. (5) mostra o comportamento do sinal de emissão acústica durante o processo de furação no decorrer do tempo. O sinal foi plotado no intervalo de 0,20 segundos para permitir a visualização das características do mesmo, porém cada furação possui duração de 1,26 segundos.



**Figura 5. Sinal de EA<sub>RMS</sub> no domínio do tempo da broca 1:**  
**a) Ferramenta no estado 1; b) Ferramenta no estado 3.**

Percebe-se a presença de picos de amplitude com o aumento do desgaste da ferramenta. Esta característica se repetiu nas 5 ferramentas utilizadas. Dimla (2000) comenta que a amplitude dos sinais de emissão acústica gerada durante o corte é menor que a amplitude gerada quando ocorre um desgaste excessivo ou trincas na ferramenta.

Os parâmetros RMS, curtose, assimetria e fator de crista foram aplicados no domínio do tempo, conforme Fig. (6).



**Figura 6. a) RMS; b) Curtose; c) Assimetria; d) Fator de crista.**

Aplicando os parâmetros estatísticos no sinal de EA<sub>RMS</sub> pode-se perceber que existe sensibilidade dos parâmetros RMS e curtose apenas no final de vida da ferramenta, através da análise das medianas e dos quartis. O parâmetro de fator de crista também apresentou sensibilidade no final da vida da ferramenta, porém somente através da mediana.

Analisando estes parâmetros estatísticos considerando os valores mínimo e máximo do gráfico boxplot, não existiu uma distinção total entre os estados de desgaste 1, 2 e 3.

A Tab. (1) apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 1. Resultados com sinais de emissão acústica no domínio do tempo.**

Parâmetro estatístico	Comportamento do parâmetro	Método análise	Significado
RMS	Aumentou no estado 3	Mediana ou quartis	Aumentou energia do sinal
Curtose	Diminuiu no estado 3	Mediana ou quartis	Aumentou número de picos no sinal
Assimetria	Não variou e ficou próximo de zero	Mediana e quartis	Não houve interferência de ruídos
Fator de crista	Aumentou no estado 3	Mediana	Aumentou o número de picos destacados no sinal

## 5. CONCLUSÕES

Aplicando os parâmetros estatísticos no sinal de  $EA_{RMS}$  no domínio do tempo, foi observado que este sinal apresenta sensibilidade no final da vida da ferramenta quando analisamos os parâmetros RMS e curtose.

Analisando os resultados através dos valores mínimo e máximo do gráfico boxplot, não existiu uma distinção total entre os estados de desgaste.

Sendo assim, o sinal  $EA_{RMS}$  possui sensibilidade para indicar o final de vida ou a iminência de quebra da ferramenta.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica do Instituto Superior Tupy IST/SOCIESC, pelo apoio durante a pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.L. Análise da furação de ferro fundido vermicular com brocas de metal-duro com canais retos revestidas com TiN e TiAlN. Florianópolis, 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BLUM, T. and INASAKI, I. A study on acoustic emission from the orthogonal cutting process. *Journal of Engineering for Industry*. vol. 112, pp. 203-211, 1990.
- DIMLA, D.E. Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations – A review of methods. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. pp. 1073-1098, 2000.
- SOUTO, U. B. Monitoramento do desgaste de ferramenta no processo de fresamento via emissão acústica. Uberlândia, 2007. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia.

## 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO  
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **ANALYSIS OF ACOUSTIC EMISSION SENSOR SIGNALS SENSITIVITY IN THE EVOLUTION OF DRILL WEAR MONITORING**

**José Augusto Zermiani dos Santos, jaugusto@tupy.com.br<sup>1</sup>**  
**Carlos Eduardo Turino, ceturino@tupy.com.br<sup>1</sup>**  
**Ulisses Borges Souto, ulisses.souto@sociesc.org.br<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tupy SA, Rua Albano Schmidt, 3400 – CEP 89227-901 - Joinville – SC

<sup>2</sup>Instituto Superior Tupy, Rua Albano Schmidt, 3333 – CEP 89206-001 - Joinville - SC

**Abstract.** *The present work aims to study the evolution of the wear in drills through sensor acoustic emission sign sensibilities. The testings were made in a CGI engine block production line, in a horizontal machining Center model ISO-40. The cutting speed and the feed were kept constant ( $v_c = 90$  m/min and  $f = 0.25$  mm/rev) and were used according to the line cutting parameters. Solid carbide stepped straight flute drills with aluminum titanium nitride were used. The sensor signs were acquired in three maximum flank wear conditions of the tool: condition 1 ( $VB_{Bmax} = 0$ ), condition 2 ( $VB_{Bmax} = 0,2 - 0,3$  mm), condition 3 ( $VB_{Bmax} = 0,4 - 0,7$  mm). They were then analyzed in the time domain through the four statistical parameters (RMS, kurtose, skewness and crest factor), and the sensibility of these parameters were analyzed using the box plot graph. The results have shown that the acoustic emission has shown sensibility in order to indicate the end of tool life with the RMS and kurtose parameters through the median and the quartile.*

**Keywords:** *drilling, wear, acoustic emission*

### **RESPONSIBILITY NOTICE**

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.