

## MODELAGEM E MONITORAMENTO DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO DO AÇO AISI H13 TEMPERADO USANDO METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA COM ANÁLISE DE SOM

Paulo Henrique da Silva Campos, paulohcampos@hotmail.com

João Roberto Ferreira, jorofe@unifei.edu.br

Anderson Paulo Paiva, andersonppaiva@unifei.edu.br

Tarcísio Gonçalves de Brito, engtarc.gb@ig.com.br

Pedro Paulo Balestrassi, Pedro@unifei.edu.br

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, Brasil

**Resumo:** Este artigo descreve um sistema de monitoramento baseado em som e modelagem da rugosidade no torneamento do aço AISI H13 temperado. Os testes mostram a capacidade do sistema para identificar o som de vários tipos de operações, incluindo o corte com ferramentas nova e desgastada. Este estudo também analisa a capacidade do sistema para distinguir variações na velocidade de corte, avanço de corte e da profundidade de corte. O estudo também realiza experimentos de monitoramento para uma série de valores dos parâmetros de usinagem. Para conseguir uma melhor produtividade e processo de qualidade, o estudo utiliza metodologia de superfície de resposta (MSR) na modelagem de duas características da rugosidade da superfície. Os resultados demonstram a eficácia do sistema de monitoramento para detectar falhas no processo e na obtenção de baixos valores de rugosidades.

**Palavras-chave:** Torneamento Duro, Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), Rugosidade da Superfície, Processo de Monitoramento de Som.

### 1. INTRODUÇÃO

Para os produtores de uma variedade de campos, os aços endurecidos de 45-65 HRC são materiais com propriedades desejáveis com resistência ao desgaste e resistência à fadiga. Assim, eles são amplamente utilizados em transporte, geração de energia e aplicações de engenharia mecânica em geral (Suresh et al. 2013). A tecnologia, que produz estes aços endurecidos tornou-se um processo de fabrico importante e é conhecido como torneamento duro. Amplamente utilizado em uma variedade de aplicações industriais (engrenagens, eixos, rolamentos, cames, peças forjadas, moldes e matrizes (Asiltürk, 2011). O processo torneamento duro, por sua vez, depende das condições de corte, qualidade da ferramenta, geometria da ferramenta e rigidez da máquina-ferramenta (Bartarya, 2012; Rech, 2003). Na usinagem de peças, um dos requisitos do cliente mais indicados é a qualidade da superfície da peça. A principal característica de peças usinadas é a rugosidade da superfície (Ozel, 2005).

O atrito entre ferramenta / peça gera um sinal de som contínuo. E este sinal do som oferece informações valiosas sobre o processo de corte. Com a ampliação do uso de sistemas de fabrico, uma função de monitoramento que pode detectar ocorrências anormais dessas operações (Xiaoli, 2002), usando pistas fornecidas apenas por sons, o operador pode identificar na operação alguns fatores, tais como movimentos de mesa, desgaste e quebra de ferramentas de corte. Ele também pode distinguir uma mudança no som operacional induzida por uma falha da máquina ou a ocorrência de condições de usinagem incomuns.

Esses recursos mostram que o som operacional contém uma grande quantidade de informações sobre a operação que está sendo realizada (Takata et al. 1986). Uma razão para esta grande quantidade de informação são os métodos atuais dedicados a causas específicas e capazes de detectar apenas um número limitado de ocorrências, embora em sistemas de fabrico possa ocorrer uma grande variedade de problemas (Siddhpura, 2013). Para problemas críticos ou aqueles que ocorrem com frequência, há uma necessidade de se adotar, para a detecção de quebra da ferramenta, um método de acompanhamento específico, como o monitoramento de emissão acústica. Uma questão fundamental para um controle de usinagem autônoma e automatizada é um sistema de controle fiável e robusto.

Presente em quase todas as operações de corte são vibrações, que são os principais obstáculos para alcançar a produtividade desejada, resultando em mau acabamento da superfície, ruído elevado e desgaste da ferramenta acelerado. Este último, por sua vez reduz a confiabilidade e a segurança da operação de usinagem (Quintana, 2011). Muitos investigadores propuseram várias técnicas para detectar e prever uma vibração quando o objetivo é prevenir a ocorrência no processo de corte. Ao prevenir tais ocorrências será capaz de obter um produto com melhor acabamento superficial, maior produtividade e uma maior vida útil da ferramenta. O principal objetivo do controle de ruído industrial é proteger contra vibração, especialmente falhas em materiais ( Iskra, 2012). Portanto, um sistema de processo de monitoramento é necessário para identificar as condições de corte reais através de sensores no processo. Mecânicos experientes são capazes de detectar uma mudança nas condições de corte ou estado da ferramenta a partir do som audível do processo (Dimla, 2002). Azouzi e Guillot (1997) aplicaram matrizes ortogonais de projeto de Taguchi para testar diferentes combinações de recursos de sensor para a rugosidade da superfície. Kurada e Bradley (1997) estudaram o uso da força de corte, vibração e sensores de emissão acústica de forma independente, e treinou diferentes modelos de Redes Neurais para diagnosticar o desgaste da ferramenta com características no domínio do tempo e frequência. O elemento fundamental no processo de um sistema de monitoramento de sucesso é a escolha certa de sensores. Uma grande variedade de sensores tem sido utilizada para monitorizar processos de usinagem. Especialistas dizem que nos próximos anos um grande impacto no processo de fabricação será a integração de sensores para o monitoramento e controle do processo (Zhou, 1995). Vários métodos foram utilizados para quantificar os efeitos dos parâmetros de usinagem, ou seja, velocidade de corte, avanço de corte, a profundidade de corte, e as variáveis do processo (vibrações, o desgaste da ferramenta e as temperaturas de corte) Abellan (2010).

O objetivo é estabelecer um método global de monitoramento envolvendo duas características de análise de aspereza, utilizando o software acima mencionado e verificando através do som captado por um microfone ligado ao suporte de ferramenta. Vários experimentos foram realizados para diferentes valores de velocidade de corte, velocidade de avanço e profundidade de corte para analisar os efeitos que modificaram as medições de rugosidade de corte, de acordo com o som. Para o planejamento e modelagem foi utilizada a metodologia de superfície de resposta.

## 2. MONITORAMENTO DO SISTEMA DE SOM

O som operacional contém uma grande quantidade de informações sobre a operação que está sendo realizada, que o operador pode extrair e reconhecer. Se o sistema emite um som inesperado ou desconhecido, o monitoramento do sistema identifica que uma condição anormal ocorreu. À medida que a voz humana pode ser identificada por técnicas de reconhecimento de voz, pode supor-se que essas técnicas podem também ser aplicadas para o reconhecimento de sons operacionais.

O sistema de reconhecimento de som monitora o som captado por um microfone situado diretamente na área de usinagem. Ele executa o reconhecimento durante todo o período de tempo de usinagem e realiza a monitorização em tempo real. Experiências de reconhecimento de sons operacionais foram realizadas com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema. O sistema registrado e reconhecido por 15 sons operacionais. Estes sons operacionais incluíram os movimentos da máquina em si, como a sua velocidade de corte, velocidade de avanço, profundidade de corte, rotação do eixo, e troca de ferramenta. Em seguida, mantendo os parâmetros inalterados, foram avaliadas uma a uma. Para observar se o sistema poderia detectar o som de uma ferramenta muito desgastada, foram realizados vários cortes, até o desgaste máximo da ferramenta.

Para eliminar o ruído resultante de cablagem inadequada, foi substituído com o conector do bloco, a interligação por cabo entre o computador e um microfone (cabos coaxiais) feitos exclusivamente para este fim. Para captar os sinais, um computador foi utilizado com 2 GB de RAM e 300 GB de memória física. O computador foi equipado com uma placa de aquisição de dados, National Instruments modelo PCI- MIO -16E -1, e com o Audacity software de captura.

## 3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Desenvolvido entre 1920 e 1930 por Fisher, sendo posteriormente incrementada por importantes pesquisadores na área de estatística como Box, Hunter (1978) e Taguchi (1986), entre outros Prvan et.al.(2002), o Projeto de Experimentos (DOE) é uma técnica relativamente antiga. Depois da segunda guerra mundial, o DOE foi introduzido na indústria química e nos processos industriais de empresas nos Estados Unidos e Europa. O interesse crescente pelo DOE ocorreu também no Brasil e no resto do mundo. Atualmente as empresas aumentam em muito a sua produtividade com a utilização desta ferramenta. De acordo com Montgomery (2004), a Metodologia de Projeto de Experimentos (DOE) consiste no uso de técnicas estatísticas capazes de gerar dados apropriados para uma análise estatística que resulte em conclusões válidas e objetivas. Consiste na execução de experimentos nos quais fatores de um processo sob análise são variados simultaneamente, com o objetivo de medir seus efeitos sobre a variável (ou variáveis) de saída de tal processo. Fatoriais completos correspondem a uma técnica do DOE na qual todas as possíveis combinações de níveis dos fatores experimentais são exercitadas, de modo a cobrir todo o espaço experimental. O número de corridas é igual ao número de níveis elevado ao número de fatores. Para experimentos fatoriais em dois níveis, o número total de corridas  $N$  necessárias para avaliar o efeito de  $k$  fatores é dado por  $N = 2^k$ . Na metodologia DOE, o teste empregado para avaliar a significância dos efeitos das mudanças nos níveis dos fatores ou dos efeitos das interações entre níveis sobre a saída do processo é um teste de hipótese para médias. Na técnica do fatorial completo, o teste utilizado é a análise de variância, ou ANOVA (Montgomery, 2004). Neste trabalho, a metodologia foi utilizada como ferramenta de

projeto para obtenção da modelagem da rugosidade. Ainda que não haja um modelo teórico único que torne possível a predição da rugosidade, a literatura aponta no sentido de que os parâmetros de corte são determinantes na predição (Shaw, 2004). Cus et.al.(2006), sugeriram modelos empíricos lineares e exponenciais para a rugosidade da peça como função da velocidade de corte ( $V_c$ ), avanço de corte ( $f$ ) e profundidade de corte ( $ap$ ).

#### 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

##### 4.1. Material da peça, Ferramentas e Instrumentos de Medição

O material da peça utilizada neste estudo foi AISI H13 aço ferramenta para trabalho a quente, aço usado em ferramentas de alta demanda. Aço AISI H13 endurecido possui alta dureza, resistência, alta resistência ao choque térmico, fadiga térmica e amolecimento térmico. Muitos fabricantes usam para trabalho a quente, como aqueles para a fundição, extrusão, forjamento a quente e moldes de plástico (Yan, 2007).

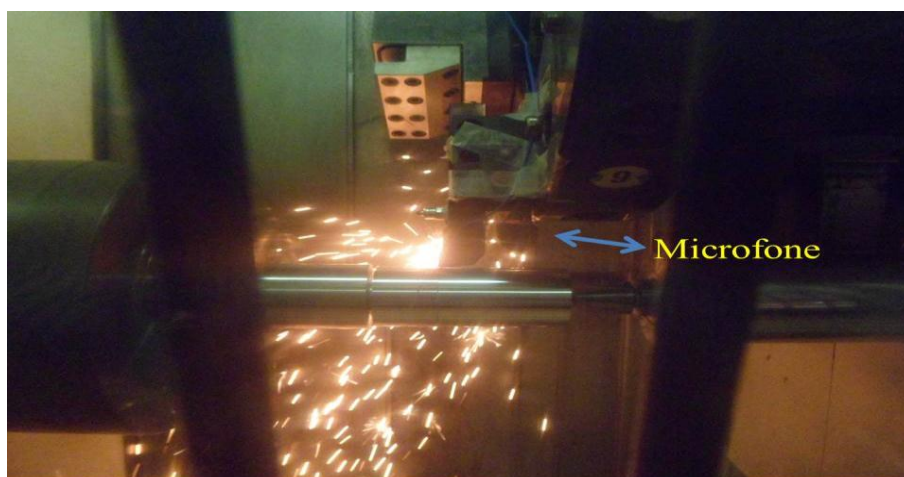
Devido à condição de corte agressivo e as suas propriedades mecânicas, aço endurecido H13 é reconhecido como uma espécie de material difícil de corte. O processo de corte do aço H13 temperado tem sido um importante tema de muitas publicações (Xiong, 2013). As barras cilíndricas utilizados nesta experiência tem um diâmetro de 50 mm e um comprimento de 100 mm. Para obter os valores de dureza desejados de 55 HRC, o material foi tratado termicamente.

A composição química do aço AISI H13 utilizado no presente estudo (em peso. %) pode ser verificado na Tab. 1.

**Tabela 1. Composição do aço AISI H13**

| C     | Si    | Mn    | Cr    | Mo    | Ni    | V     | P     | CU    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,39% | 0,33% | 0,02% | 1,35% | 0,98% | 0,07% | 0,12% | 5,10% | 0,01% |

Para o processo desenvolvido neste estudo, um torno CNC torno MHP Kingsbury. As inserções são de ferramentas de cerâmica, GC6050WH ISO (CNGA120408 S01525WH). O porta-ferramenta foi um DCLNL 2020K12. A geometria de corte utilizada nos ensaios foi a seguinte: ângulo de saída ( $\alpha$ )  $6^\circ$ ; ângulo de ataque ( $\gamma$ )  $-6^\circ$ ; ângulo de posição da aresta principal de corte ( $\chi$ )  $95^\circ$ ; ângulo de inclinação da aresta de corte ( $\lambda$ )  $-6^\circ$ . O desgaste da ferramenta foi monitorado através de um microscópio óptico com uma câmera digital, com 40 X ampliação. Fig. 1 mostra uma fotografia da região experimental da máquina e da ferramenta feita durante a experiência.



**Figura 1. Processo de Torneamento Duro**

##### 4.2. Metodologia de Ensaios

Nos ensaios realizados foram adotados dois níveis de variação para cada um dos parâmetros de usinagem estudados. A Tab. 2 apresenta os três fatores: velocidade de corte, avanço de corte, profundidade de corte e seus respectivos níveis de variação. Os níveis foram especificados em função de dados recomendados pelo catálogo do fabricante das ferramentas (Sandvik, 2010) e também foi elaborado um planejamento fatorial (três parâmetros e cinco níveis) para a realização dos ensaios.

Tabela 2. Variáveis de controle.

| Variáveis de Controle  | Níveis |       |       |       |       |
|------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                        | -1,682 | -1    | 0     | 1     | 1,682 |
| V <sub>c</sub> (m/min) | 186,4  | 200   | 220   | 240   | 253,6 |
| f (mm/v)               | 0,132  | 0,20  | 0,30  | 0,40  | 0,468 |
| a <sub>p</sub> (mm)    | 0,099  | 0,150 | 0,225 | 0,300 | 0,351 |

Os ensaios de torneamento foram dimensionados de forma a proporcionar uma maneira precisa de se estudar a influência da velocidade de corte, avanço de corte e profundidade de corte na rugosidade (Ra, Rt) da peça usinada, através da aplicação da metodologia de superfície de resposta.

Foi adotado como critério de troca de ferramenta, principalmente valores de rugosidade (Ra < 0,5)  $\mu\text{m}$  e vários valores de desgaste de flanco V<sub>Bmax</sub>. A cada corpo de prova usinado, o mesmo era retirado da máquina para medição das rugosidades. Neste momento o inserto também era retirado do suporte para monitoramento do desgaste de flanco.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz experimental do projeto fatorial completo com cinco pontos centrais e os resultados da rugosidade Ra e Rt são mostradas na Tab. 3. Observa-se que os parâmetros de rugosidades Ra e Rt obtidos nos ensaios para o aço AISI H13 foram relativamente baixos, visto que o avanço (f) variou de 0,2 a 0,4 mm/v. A rugosidade média Ra ficou na faixa de 0,25-0,34  $\mu\text{m}$  e a rugosidade máxima Rt ficou na faixa de 1,39-2,53  $\mu\text{m}$ . Justificam-se estes resultados pelo material da ferramenta e pela alta dureza da peça na faixa de 55HRC.

Tabela 3. Fatorial completo 2<sup>3</sup> para as respostas de rugosidades (Ra,Rt)

| Teste | Parametros  |             |          | Respostas           |                     |
|-------|-------------|-------------|----------|---------------------|---------------------|
|       | Vc<br>m/min | f<br>mm/rev | ap<br>mm | Ra<br>$\mu\text{m}$ | Rt<br>$\mu\text{m}$ |
| 1     | -1          | -1          | -1       | 0.26                | 1.39                |
| 2     | +1          | -1          | -1       | 0.27                | 1.71                |
| 3     | -1          | +1          | -1       | 0.32                | 2.13                |
| 4     | +1          | +1          | -1       | 0.30                | 2.15                |
| 5     | -1          | -1          | +1       | 0.27                | 1.45                |
| 6     | +1          | -1          | +1       | 0.25                | 1.68                |
| 7     | -1          | +1          | +1       | 0.34                | 2.01                |
| 8     | +1          | +1          | +1       | 0.29                | 1.99                |
| 9     | -1.682      | 0           | 0        | 0.30                | 1.79                |
| 10    | +1.682      | 0           | 0        | 0.26                | 1.81                |
| 11    | 0           | -1.682      | 0        | 0.21                | 1.54                |
| 12    | 0           | +1.682      | 0        | 0.31                | 2.53                |
| 13    | 0           | 0           | -1.628   | 0.32                | 1.93                |
| 14    | 0           | 0           | +1.682   | 0.31                | 1.73                |
| 15    | 0           | 0           | 0        | 0.26                | 1.81                |
| 16    | 0           | 0           | 0        | 0.26                | 1.71                |
| 17    | 0           | 0           | 0        | 0.25                | 1.72                |
| 18    | 0           | 0           | 0        | 0.26                | 1.73                |
| 19    | 0           | 0           | 0        | 0.25                | 1.71                |

A Fig. 2 mostra o primeiro experimento realizado usando uma Vc = 300 m/min, f = 0,10 mm/rev e ap = 0,10 mm. De acordo com a Fig. 2 (1) pode-se verificar que ocorreu uma falha de amplitude (A). Este pico (A) foi provocado pela quebra da ferramenta. A Fig. 2 (2) também mostra que a rugosidade Ra antes da quebra da ferramenta foi de 0,79  $\mu\text{m}$  e Rt foi de 3,44  $\mu\text{m}$ . A Fig. 2 (3) mostra a ferramenta quebrada.

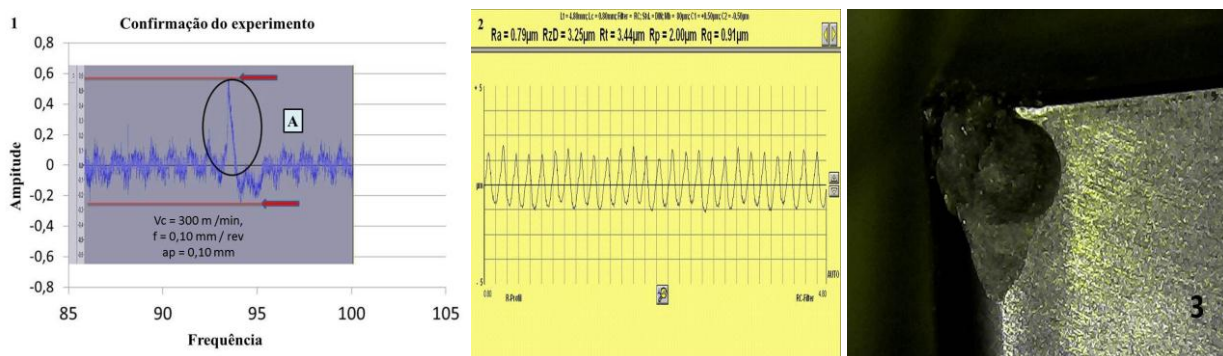


Figura 2. Confirmação do experimento

A Fig. 3 mostra os valores de amplitude na faixa de 0,2 % usando valores de  $V_c = 225$  m/min,  $f = 0,15$  mm / rev e  $a_p = 0,10$  mm e a Fig. 4 mostra medida de rugosidade  $R_a$  na faixa de  $0,2 \mu\text{m}$ . Da mesma maneira a Fig. 5 mostra os valores de amplitude na faixa de 0,3 % usando valores de  $V_c = 150$  m/min,  $f = 0,225$  mm / rev e  $a_p = 0,15$  mm e a Fig. 6 mostra a medida de rugosidade  $R_a$  na faixa de  $0,3 \mu\text{m}$ .

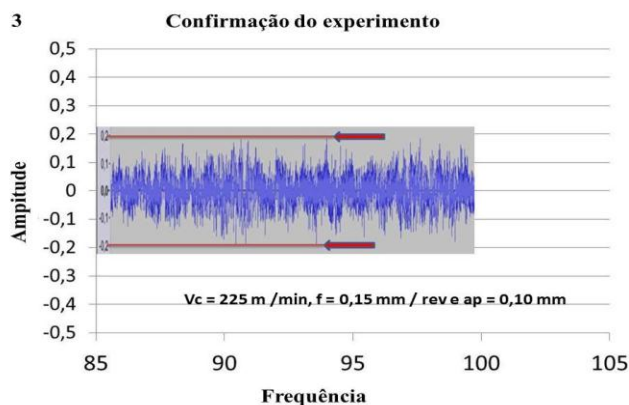


Figura 3. Confirmação da amplitude

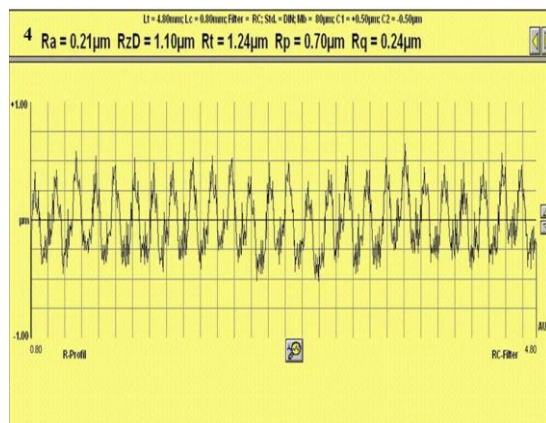


Figura 4. Confirmação da rugosidade  $R_a$

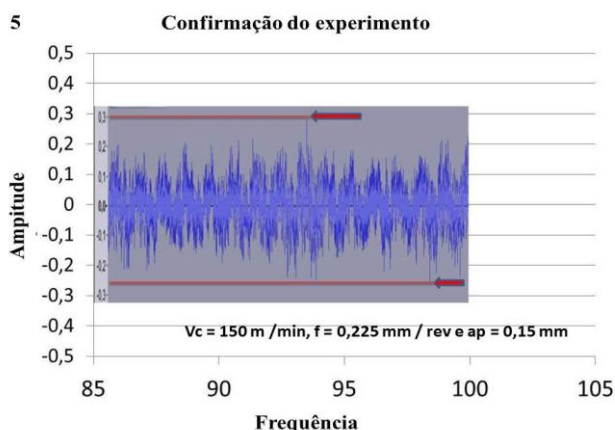


Figura 5. Confirmação da amplitude

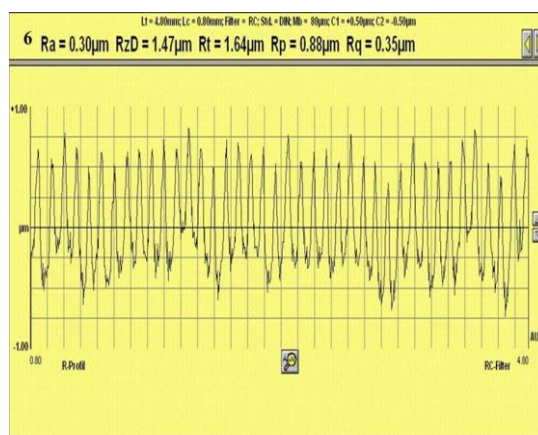


Figura 6. Confirmação da rugosidade  $R_a$

Nos experimentos realizados e de acordo com valores obtidos pelas amplitudes, as medidas de rugosidades se mostraram idênticas com as que foram medidas pelo rugosímetro.

As experiências descritas nas seções anteriores mostram a eficácia do método de monitoramento de som para monitorar um sistema de manufatura. O sistema pode distinguir os sons de movimentos da máquina e os sons de usinagem, que lhe permitam acompanhar toda a sequência de operação. O sistema também é capaz de reconhecer, em certa medida, as diferenças nas condições de corte, bem como discriminar a usinagem de som de uma ferramenta



quebrada. À medida que o sistema de monitoração de som se destina a detectar uma grande variedade de ocorrências anormais, é necessário utilizar métodos de controle complementares para lidar com problemas individuais que são críticos e que ocorrem com frequência. Vital para alcançar um sistema de monitoramento confiável para a fabricação é a integração de outras informações disponíveis fornecidas pelos sensores de propósito específicos. O método aplicado MSR foi uma tentativa de organizar os valores dos fatores, evitando as vibrações causadas pela excessiva velocidade de corte e velocidade de avanço.

O resultado dos ensaios mostra uma elevada taxa de reconhecimento de movimentos do equipamento e as várias operações de usinagem.

## 6. CONCLUSÕES

Para monitorar o sucesso de um processo de fabricação, ele precisa de simplicidade, robustez e confiabilidade. O estudo tentou chegar a um sistema de monitorização simples utilizando o software Audacity. No entanto, que institui a robustez e confiabilidade deste sistema para a aplicação prática ainda requer um estudo mais aprofundado.

Com base nos resultados, podemos chegar às seguintes conclusões:

- Análise de usinagem utilizando a metodologia de superfície de resposta é capaz de investigar a influência de cada parâmetro nas respostas obtidas.
- A geometria da ferramenta permitiu a obtenção de uma baixa rugosidade  $R_a$  na gama de 0,25-0,34  $\mu\text{m}$  e rugosidade  $R_t$  na gama de 1,39-2,53  $\mu\text{m}$  com velocidade de avanço relativamente mais elevadas (até 0,1- 0,23 mm /rev).
- O fator que mais influencia a rugosidade  $R_a$  é a velocidade de avanço, seguido pela interação  $V_c \times V_f$  e  $f \times f$ , que não pode ser descartado no processo.
- A escolha dos valores dos fatores foi determinante para a obtenção de uma usinagem com pouca interferência do ruído.
- Em todas as experiências, o sistema de monitorização provou confiável para a obtenção de uma análise de rugosidade de acordo com as amplitudes apresentados, o que foi verificado pelos valores medidos.
- Com este tipo de monitoramento, foi possível identificar, de uma forma simples, as ocorrências anormais que ocorrem na usinagem de materiais endurecidos, que incluem: máquina e peça ; quebra e desgaste da ferramenta, e mudanças nos parâmetros de velocidade de corte, velocidade de avanço e profundidade de corte.
- O desenvolvimento de um sistema de monitorização é inevitável a fim de minimizar o custo global de produção, o tempo de produção, o tempo de máquina, e o desperdício de material.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG, CAPES e CNPq para a realização deste trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Suresh R, Basavarajappa S, Gaitonde V. N, Samuel, G. L, Davim, J P., 2013 “State-of-the-art research in machinability of hardened steels, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B”: J. Eng. Manufac 227(2): pp.191-209.
- Asiltürk I, Akkus H., 2011 “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method”. J. Int. Measur. Conf 44: pp.1697-1704.
- Bartarya G, Choudhury S. K (2012) State of the art in hard turning. Int. J. Mach. T. & Manufac 53: pp.1-14.
- Rech J, Moison A., 2003 “Surface integrity in finish hard turning of case hardened steels”. Int. J. Mach. T. & Manufac 43: pp.543-550.
- Ozel T, Karpat Y., 2005 “Predictive modeling of surface roughness and tool wear in hard turning using regression and neural networks”. Int. J. Mach. T. & Manufac 45: pp.467-479.
- Xiaoli L., 2002 “Review a brief review: Acoustic emission methods for tool wear monitoring during turning”, Int. J. Mach. T. & Manufac 42: pp.157-165.
- Takata S, Ahn J. H, Miki M, Miyaoc Y, Sata T., 1986 “A Sound Monitoring System for Fault Detection of Machine and Machining States”. Annals of the CIRP 35: pp.289-292.
- Siddhpura A, Paurobally R., 2013 “A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process”. Int. J. Mach. T. & Manufac 65: pp.371-393.
- Quintana G, Ciurana J., 2011 “Chatter in machining processes: A review”. Int. J. Mach. T. & Manufac, 51: pp.363-376.
- Iskra P, Hernandez R. E., 2012 “Toward a process monitoring of CNC wood router. Sensor selection and surface roughness prediction”. W. Sci. Tech 46: pp.115-128.
- Dimla D. E, Lister P. M., 2000 “On-line metal cutting tool condition monitoring. I: force and vibration analyzes”. Int. J. Mach. T. & Manufac 40: pp.739-768.
- Azouzi R, & Guillot, M., 1997 “On-line prediction of surface finish and dimensional deviation in turning using neural network based sensor fusion”. Int. J. Mach. T. & Manufac 37: pp.1201-1217.

- Kurada S, Bradley C. A., 1997 “Machine vision system for tool wear assessment”. Tribol. Int 30: pp.295–304.
- Zhou Y, Orban P, Nikum S., 1995 “Sensors for intelligent machining-a research and application survey. In: Systems, man and cybernetics”. IEEE int. conf. on int. sys 2: pp.1005–1010.
- Abellan N. J. V, Subirón F. R., 2010 “A review of machining monitoring systems based on artificial intelligence process models”. Int. J. Mach. T. & Manufac 47: pp.237-257.
- Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J.S., 1978 “Statistics for Experimenters”. New York, John Wiley & Sons.
- Taguchi, G., 1986 “System of Experimental Design”, UNIPUB, Kraus International Publications, New York,.
- Prvan, T., Street, D. J., 2002 An annotated bibliography of application papers using certain classes of fractional factorial and related designs. Journal of Statistical Planning and Inference, n.106, pp.245-269.
- Montgomery, D.C., 2004 “Design and Analysis of Experiments”. John Wiley & Sons.
- Shaw, M., 2004, “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, New York, USA, 672p.
- Cus, F., Zuperl, U., 2006, “Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, Issue 3, pp. 281-290.
- Yan H, Hua J, Shivpuri R., 2007 “Flow stress of AISI H13 die steel in hard machining”. Mater. and Des 28: pp.272-277.
- Xiong J, Guo Z, Yang M, Wan W, Dong G., 2013 “Tool life and wear of WC–TiC–Co ultrafine cemented carbide during dry cutting of AISI H13 steel”. Ceram. Int 39: pp.337-346.
- Sandvik-Coromant., 2010 “Technology machining of metals”. Technical Manual. Sandviken, Sweden.

## 9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

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

# MODELING AND MONITORING OF SURFACE ROUGHNESS ON TURNING OF HARDENED STEEL AISI H13 USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY ANALYSIS WITH SOUND

Paulo Henrique da Silva Campos, paulohcampos@hotmail.com

João Roberto Ferreira, jorofe@unifei.edu.br

Anderson Paulo Paiva, [andersonppaiva@unifei.edu.br](mailto:andersonppaiva@unifei.edu.br)

Tarcísio Gonçalves de Brito, engtarc.gb@ig.com.br

Pedro Paulo Balestrassi, Pedro@unifei.edu.br

Federal University of Itajubá, Institute of Industrial Engineering and Management – UNIFEI/IEPG, Av. BPS, 1303 – Itajubá, MG – CEP: 37500-903, Brazil

**Abstract:** *This paper describes a monitoring system based on sound and modeling of surface roughness in turning of hardened AISI H13. The tests show the ability of the system to identify the sound of various types of operations, including cutting tools with new and worn. This study also analyzes the system's ability to distinguish variations in cutting speed, cutting feed and depth of cut. The study also conducts experiments monitoring for a range of values of machining parameters. To achieve better productivity and quality process, the study uses response surface methodology (RSM) to model two characteristics of the surface roughness. The results demonstrate the effectiveness of the monitoring system to detect flaws in the process and obtaining low values of roughness.*

**Keywords :** Hard Turning, Response Surface Methodology (RSM), Surface Roughness, Process Monitoring of Sound