



UTILIZANDO OS SINAIS DE VIBRAÇÃO MECÂNICA PARA MONITORAR O DESGASTE DAS BROCAS DE AÇO RÁPIDO NO PROCESSO DE FURAÇÃO

Rômulo P. Castro¹, Marcos M. Sousa², Sandro C. Santos³, Álisson R. Machado⁴, Marcus A. V. Duarte⁵

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

(1) romulo@rocketmail.com, (2) mmsousa@mecanica.ufu.br, (3) scsantos@mecanica.ufu.br,
(4) alissonm@mecanica.ufu.br (5) mvduarte@mecanica.ufu.br - Uberlândia, MG, Brasil

Resumo. Neste trabalho foram realizados alguns experimentos com a finalidade de estudar a possibilidade de monitorar o desgaste da ferramenta no processo de furação através da análise dos níveis de vibração medidos na máquina ferramenta. O nível de vibração foi medido através de um acelerômetro piezoeletrico fixado na manga do eixo-árvore de uma furadeira radial de 5 CV de marca IE ROCCO. Uma vez que no processo de furação o comportamento dinâmico do sistema modifica, em função da alteração do posicionamento de partes do mesmo, ao longo do processo, inicialmente foi realizado uma análise de sensibilidade das Funções de Resposta em Frequência de alguns pontos da máquina, em função da posição de suas partes móveis, para determinar o melhor ponto da máquina para a fixação do sensor de vibração. A análise do sinal foi feita no domínio do tempo (usando o nível RMS do sinal de aceleração) e da frequência (nível RMS do sinal de aceleração em bandas de 1/3 de oitava). O material testado foi o FoFo GH 190 usando brocas de aço rápido. Os resultados obtidos mostram que, em algumas bandas de frequência, a vibração medida em pontos específicos da máquina pode ser utilizada para monitorar indiretamente o desgaste da ferramenta.

Palavras-chaves: Monitoramento em furação, Vibração, Desgaste de flanco.

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento de novas máquinas operatrizes automatizadas utilizadas, sobretudo, para minimizar falhas operacionais de usinagem, cresceu a necessidade da utilização de técnicas de monitoramento "on-line" dos processos de usinagem, haja visto que os métodos diretos de medição de desgaste são relativamente demorados e, como as medições não são realizadas em tempo real não aproveitam completamente a vida das ferramentas.

Normalmente, nos processos de usinagem convencionais o momento de troca da ferramenta é determinada por medições do desgaste de flanco da ferramenta conforme a Norma ISO 3685 (Stewart, 1977), ou ainda pela medição do acabamento superficial da peça, mas o monitoramento indireto "on-line" dos processos de usinagem contínuos e automatizados vem sendo utilizados para determinar a hora exata da troca das ferramentas ou pelo menos fazer uma previsão do momento da troca.

A adoção do desgaste de flanco como método de fim de vida, no processo de furação, apresenta algumas limitações, como por exemplo, o fato de não ser a única forma de desgaste observada na broca. Choudhury et al. (2000) verificou a presença simultânea de desgaste de cratera e de flanco em brocas de aço rápido na usinagem de aço carbono. Um outro problema, a ser considerado, foi encontrado por Santos (1999) que verificou a falha catastrófica em brocas de metal duro integral sem que essas apresentassem aumento significativo no desgaste de flanco, fato que pode ser justificado, considerando a presença de outras formas de desgaste, tal como o aumento da área desgastada sem que isso implique no aumento dos valores dos parâmetros de desgastes de flanco médio e máximo, ou ainda, através da perda do ponto de referência quando é feita a medição. A problemática apresentada justifica a tentativa de se determinar o fim de vida de uma broca através de métodos indiretos de monitoramento.

Dentre as várias possibilidades de monitoramento indireto, como por exemplo, a medição da potência consumida pelo motor principal da máquina ferramenta, medição do torque aplicado na ferramenta, emissão acústica, entre outros, a técnica baseada em monitoramento das vibrações se destaca devido ao baixo custo da instrumentação, devido as ferramentas de processamento e análise de sinais serem bem conhecidas e, principalmente não ser intrusivo no processo.

Bons resultados tem sido obtidos com o monitoramento da vibração para processos de corte descontínuos (Sousa, 1998) contínuos tais como o de torneamento (Bonifácio e Diniz, 1994). Mas o sucesso da aplicação desta técnica requer um estudo prévio do comportamento dinâmico da máquina monitorada (Sousa, 1998), principalmente no caso de máquinas com movimentação de conjuntos com inércia elevada (mesa de fresadoras e cabeçotes de furadeiras radiais, por exemplo) e/ou variação significativa da rigidez ao longo do processo (movimentação vertical de porta fresas e porta brocas). Nestes casos, os níveis de vibração são dependentes tanto dos níveis de desgaste da ferramenta, quanto da configuração do sistema máquina/ferramenta. Para contornar este problema duas aproximações podem ser utilizadas: análise de sensibilidade das Funções Resposta em Freqüência da máquina, para a determinação dos pontos cujos níveis de vibração são menos sensíveis às mudanças na configuração espacial dos elementos da máquina monitorada (Sousa, 1998) ou, levar em consideração a configuração espacial da máquina (Santos, 2001).

O objetivo deste trabalho foi fazer um estudo exploratório sobre a viabilidade de correlacionar os sinais de vibração medidos numa furadeira radial com o desgaste da ferramenta. Neste trabalho foi utilizada uma furadeira radial de 5 CV de potência, marca IE ROCCO. Para atingir o objetivo proposto, primeiramente fez-se uma análise de sensibilidade das Funções Resposta em Freqüência da furadeira, em função da posição do cabeçote da mesma, para a determinação do melhor ponto de fixação do sensor de vibração. A seguir realizou-se dois ensaios com velocidade de corte diferentes para a aquisição dos dados (vibração e desgaste) e, finalmente, procurou-se uma correlação entre os níveis de vibração medidos (níveis RMS de aceleração total e em bandas de 1/3 de oitava) e o desgaste das ferramentas.

2. METODOLOGIA

Um estudo da função resposta em freqüência (FRF) da máquina ferramenta foi realizado para se determinar os pontos da furadeira radial que são mais sensíveis à detecção dos níveis de vibração, sem que apresentem influência ou variações nas funções respostas devido ao deslocamento do suporte eixo-árvore da furadeira radial.

Em função da proximidade com a ferramenta de corte e da não intrusão com o processo, foram escolhidos cinco pontos na furadeira radial, mostrados na Fig.1, para realização da análise de sensibilidade. Os pontos 1, 2, 3, 4 e 5 representam a primeira posição do eixo

árvore da furadeira radial, ou seja: um espaçamento radial de 105 cm entre os pontos 1 e 5. A estes pontos estão associados os pontos 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente, que são os mesmos locais dos pontos 1, 2, 3, 4 e 5 só que em outra posição do eixo-árvore (espaçamento radial de 60 cm entre os pontos 1 e 5). O objetivo desta análise foi o de determinar em qual ponto a Função Resposta em Freqüência (ponta da ferramenta/ponto) possuía a maior amplitude e a menor variação com relação à movimentação do eixo-árvore.

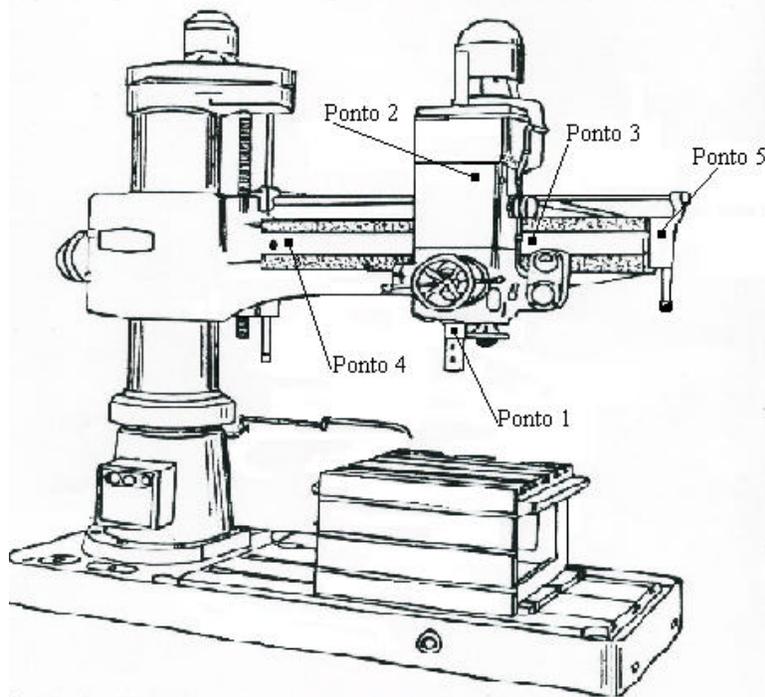


Figura 1 – Representação dos postos de análise sensorial dispostos na furadeira radial.

Para a obtenção das FRF foi utilizado o estimador H1, visto que este estimador é de mínima variância para procedimentos SISO (um ponto de excitação e um ponto de resposta) com excitação do tipo impulsiva (Silva et all, 1997), que foi o procedimento utilizado neste trabalho. A instrumentação utilizada consistiu de: 01 martelo de impacto do tipo 8202 da Bruel&Kjaer, 01 acelerômetro piezelétrico do tipo 4375 da Bruel&Kjaer, dois amplificadores de carga do tipo 2635 da Bruel&Kjaer, 01 placa conversora A/D do tipo ADC-100 da PicoTechnology e 01 microcomputador. O diagrama esquemático da cadeia de medição da resposta (aceleração) está mostrado na Fig. 2.

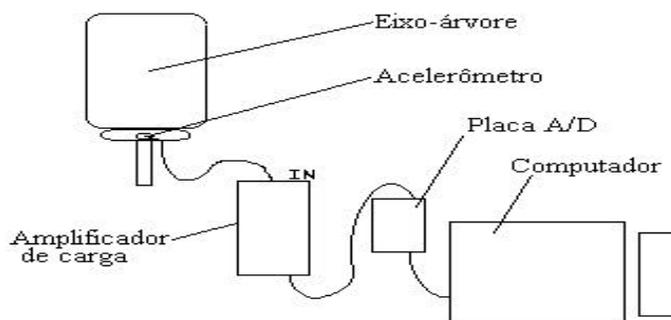


Figura 2 - Diagrama esquemático da instrumentação utilizada na furadeira radial.

Para a estimativa de cada FRF foram realizadas médias de cem conjuntos de dados de excitação (força na ponta da ferramenta) e resposta (aceleração no ponto analisado), sendo que cada conjunto de dados tinha um comprimento de 4 segundos, resultando numa resolução

em frequência de 0,25 Hz. A frequência de aquisição foi de 4096 Hz, implicando numa banda de análise de 2048 Hz.

As Figs. 3, 4, 5 e 6 são representativas da análise realizada, sendo que: a Fig. 3 mostra a função resposta em frequência do ponto 1 (que representa a primeira posição do eixo árvore), a Fig. 4 mostra a função resposta em frequência do ponto 6 (que representa o mesmo ponto 1 na segunda posição do eixo-árvore), a Fig. 5 representa a função resposta em frequência do ponto 2 (primeira posição do eixo-árvore) e a Fig. 6 representa a função resposta do ponto 7 (mesmo que o ponto 2 mas na segunda posição do eixo-árvore).

Da análise dos resultados, observou-se que as menores variações das FRF ocorreram para o ponto 1 e 2 (Figs. 3 e 4) nas bandas de 30-500 Hz e 900-1200 Hz. Nos outros pontos de medição foram verificadas variações significativas nas FRF em todo o espectro de frequência, como pode ser visto nas Figs. 5 e 6, referentes aos pontos 2 e 7. Comparando-se a Fig. 3 com a Fig. 5, uma outra vantagem do ponto 1 é o fator de amplificação da FRF nas baixas frequências, que é a região onde se concentra as frequências de rotação da ferramenta de corte e seus harmônicos.

Portanto, o ponto escolhido foi o ponto 1 por apresentar uma boa resposta dinâmica e ainda ser um local que normalmente é utilizado em técnicas de manutenção preditiva. Dentre as duas bandas de frequência das FRF do ponto 1 com menor sensibilidade às variações de posição do eixo árvore, a melhor banda é a de 30 a 500 Hz, que abrange as frequências de rotação da ferramenta e seus harmônicos, que serão as frequências predominantes do espectro, uma vez que o corte é do tipo contínuo. Outra vantagem da banda 30-500 Hz com relação à banda 900-1200 Hz, é que a segunda banda de frequência está localizada na região do espectro normalmente excitada por defeitos nos elementos girantes da máquina, tais como engrenagens e rolamentos (Wilver e Duarte, 1999).

Nos ensaios para o estudo da correlação existente entre os sinais de vibração com o desgaste das ferramentas, foram utilizadas duas condições de velocidades (v_c): 13,1 m/min e 28,8 m/min. Adotou-se furos cegos, com percurso de avanço de 27 mm, e avanço (f) de 0,16 mm/volta. As ferramentas foram brocas de aço rápido com diâmetro de 10 mm e as peças blocos de ferro fundido GH 190.

Considerou-se apenas o desgaste flanco máximo ($VB_{Bmáx}$) pois para as condições de corte adotadas, o desgaste de flanco médio variava muito ao longo da aresta de corte. O desgaste de flanco máximo foi medido, tendo como referência a ponta da ferramenta e a aresta de corte, com o auxílio de um microscópio ferramenteiro adaptado para esta finalidade.

Os sinais de aceleração foram adquiridos, com uma frequência de amostragem de 8192 Hz, durante todo o processo de usinagem de cada furo. Após a aquisição, os dados eram processados para obter os valores do nível RMS do sinal de aceleração e seu espectro em bandas de 1/3 de oitava.

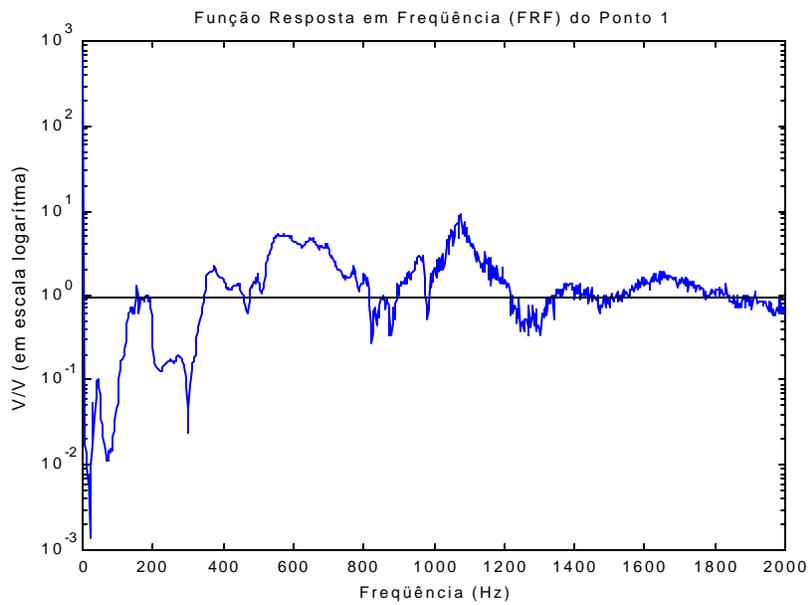


Figura 3 - Função resposta em frequência do ponto 1.

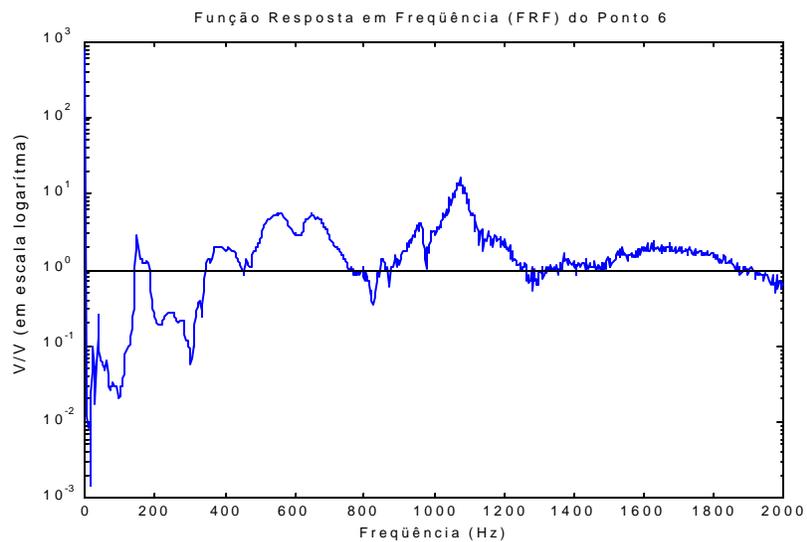


Figura 4 - Função resposta em frequência do ponto 6.

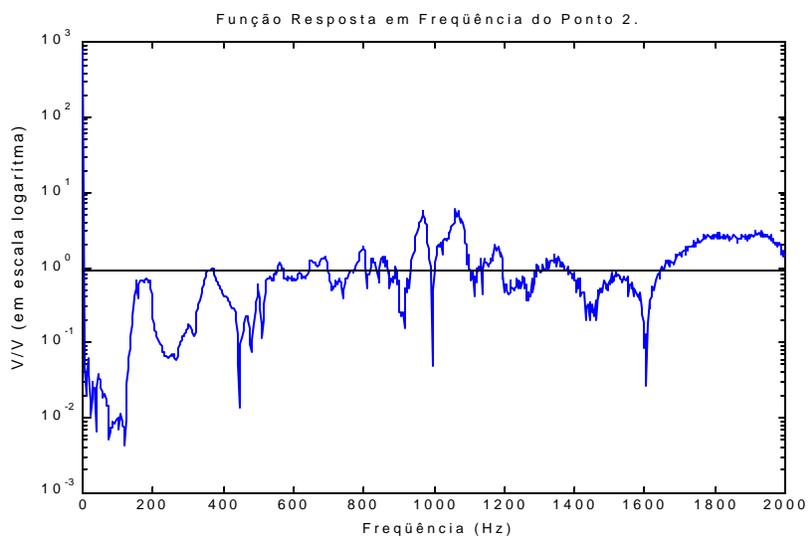


Figura 5 - Função resposta em frequência do ponto 2.

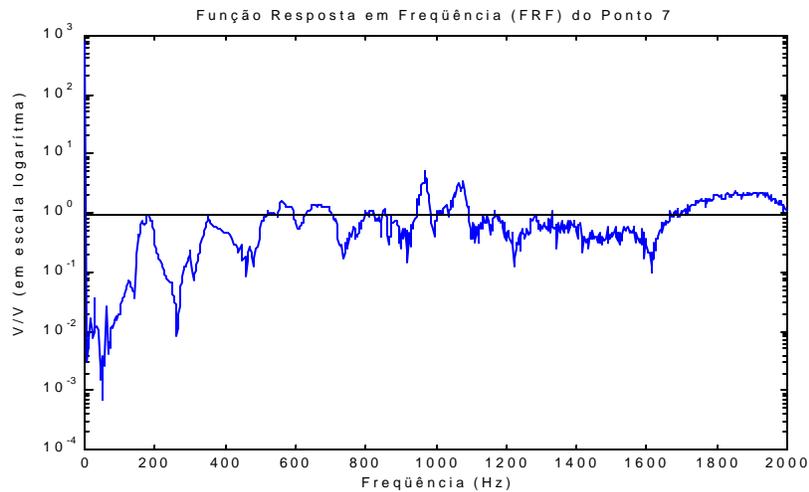


Figura 6 - Função resposta em frequência do ponto 7.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira condição de usinagem adotada para os ensaios foi uma condição muito suave para a ferramenta, de tal forma que foram feitos quase 500 furos (493) antes do final de vida da mesma. O critério de fim de vida adotado foi $VB_{B\text{máx}}$ igual a 1,0 mm nas duas arestas. Já a segunda condição de corte, bem mais severa, resultou em apenas 18 furos, antes que o critério de fim de vida fosse alcançado.

A Fig. 7 mostra os níveis RMS de aceleração em função do número de furos de uma das arestas da ferramenta para a primeira condição de corte. Os resultados para a outra aresta de corte teve um comportamento idêntico, e por conseguinte não serão apresentados.

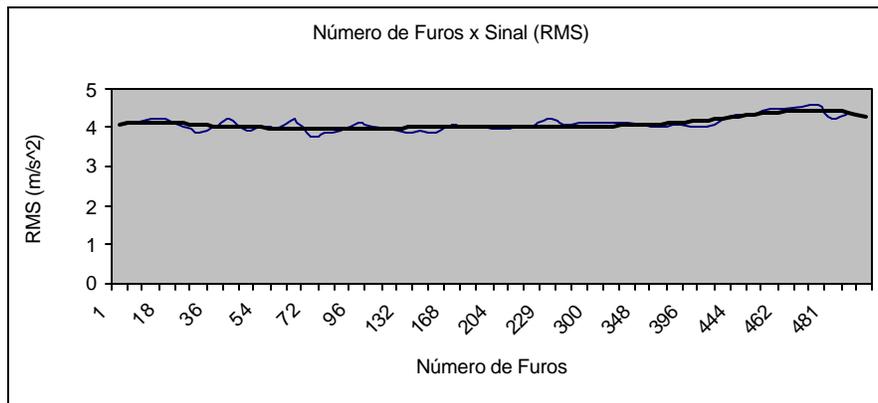


Figura 7 – Nível RMS vs. número de furos ($v_c = 13,1$ m/min).

Da análise da Fig. 7 pode-se observar que o sinal RMS não variou de uma forma considerável com o número de furos, apesar de que após o furo 450 observa-se uma pequena inclinação ascendente dos níveis RMS com o número de furos.

As curvas de níveis RMS em função do desgaste não precisa ser mostrada, uma vez que o número de furos está intimamente relacionado com o desgaste das ferramentas, ou seja: as curvas de níveis RMS em função do número de furos e em função do desgaste ($VB_{B\text{máx}}$) são idênticas.

A Fig. 8 mostra os níveis RMS de aceleração em função do desgaste de uma das arestas da ferramenta (denominada de aresta 1), para a segunda condição de corte ($v_c = 28,8$ m/min).

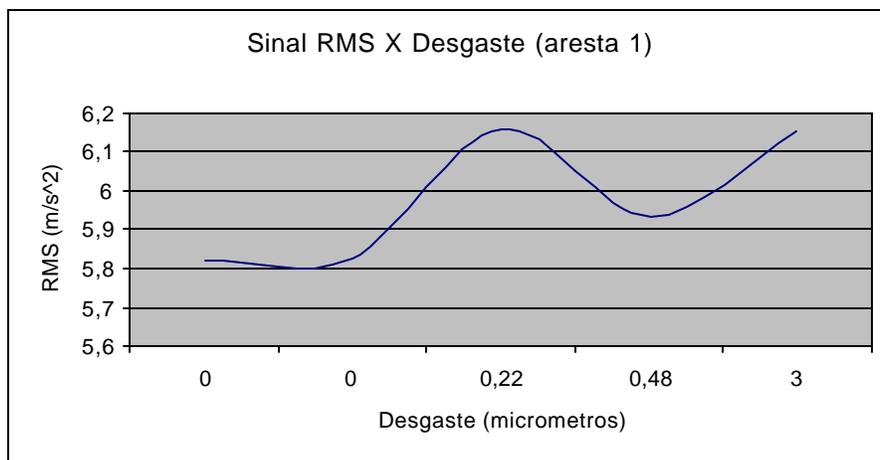


Figura 8 – Nível RMS vs. desgaste da aresta 1 da ferramenta de corte ($v_c = 28,8$ m/min).

Para a segunda condição de corte, observa-se variações significativas nos níveis RMS do sinal de aceleração (Fig. 8) ao longo do processo de furação. Porém, o resultado mais interessante, que pode ser observado na Fig. 8, é a forte influência que a posição do eixo-árvore tem sobre os níveis globais de vibração RMS, apesar do ponto 1 ser um ponto cujas FRF apresentaram a menor sensibilidade global com relação a posição do eixo-árvore.

A Fig. 8 mostra claramente a dificuldade de se utilizar níveis de vibração globais (RMS) para o monitoramento do desgaste de ferramentas em máquinas cujas propriedades dinâmicas variam. Neste caso, é impossível determinar um ponto da máquina cujas FRF completas sejam pouco alteradas por modificações nas propriedades dinâmicas da mesma. A solução para este problema é tentar achar pelo menos uma região do espectro, que contenha frequências relacionadas com o processo do desgaste, cujas FRF sejam pouco sensíveis a variações das propriedades dinâmicas da máquina (Santos, 2001), ou seja é necessário realizar uma análise em bandas de frequência. Neste trabalho optou-se por bandas de 1/3 de oitava.

As Figs. 9 e 10 mostram as curvas de níveis de aceleração na banda de 250 Hz, para a condição de corte 1, e na banda de 61 Hz, para a condição de corte 2, respectivamente, onde pode-se observar uma boa correlação entre os níveis de vibração e o desgaste das ferramentas. É interessante observar que os melhores resultados foram obtidos dentro da banda em frequência oriunda da análise de sensibilidade (Figs. 3 e 4).

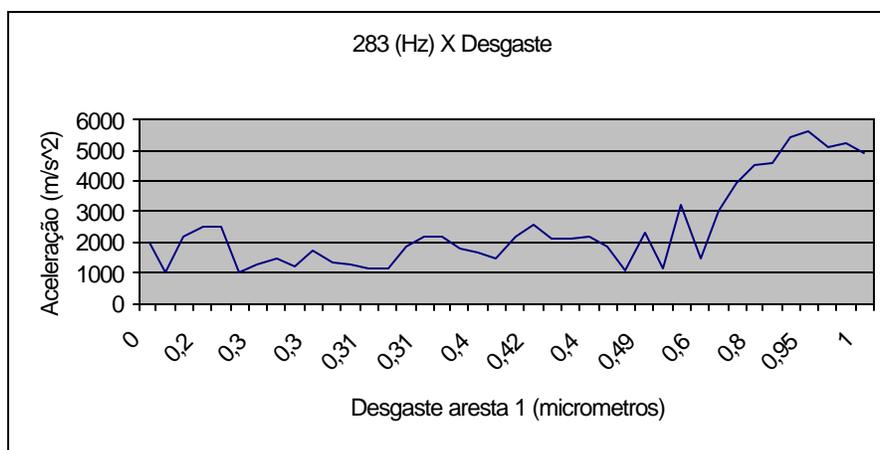


Figura 9 – Nível de aceleração (banda de 250 Hz) vs. desgaste ($v_c = 13,1$ m/min).

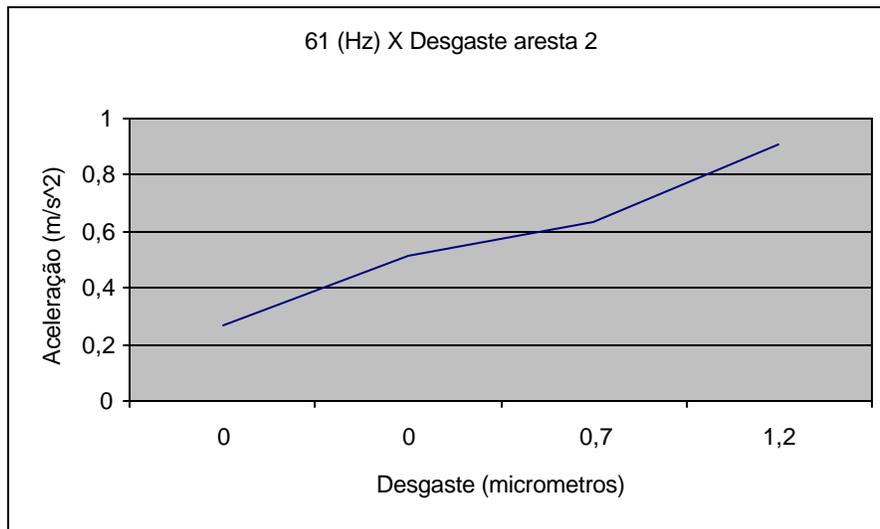


Figura 10 – Nível de aceleração (banda de 61 Hz) vs. desgaste ($v_c = 28,8$ m/min).

4. CONCLUSÕES

A principal conclusão tirada neste trabalho é a de que os níveis de vibração medidos numa furadeira radial podem ser utilizados para o monitoramento do desgaste das ferramentas, desde que se tenha o cuidado de realizar, primeiramente, uma análise de sensibilidade das Funções de Resposta em Frequência da máquina (excitação na ferramenta) em função das variações das propriedades dinâmicas da mesma (mudanças na distribuição de inércia e rigidez), para se determinar os melhores pontos de medição e respectivas bandas de frequência.

Numa próxima etapa serão realizados ensaios com uma gama mais variada de parâmetros de corte (v_c , f e ap) visando a modelagem, via redes neurais, do desgaste da ferramenta em função dos parâmetros de corte e das vibrações medidas da máquina.

REFERÊNCIAS

- Bonifácio M. E. R., and Diniz E. A.**,1994, “Monitoring the Tool Life in Finish Turning Using Vibration Signals.”RBCM – J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences Vol XVI num 1, pag. 58-71.
- Choudhury, S. K. And Raju, G.**,2000, Investigation into crater wear in drilling, International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol 40 pp 887, 898.
- Santos, A. B.**, 2001, “Uma Metodologia via Redes Neurais para a Estimativa da Rugosidade e do Desgaste de Ferramentas de Corte no Processo de Fresamento”, , Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia..
- Santos S. C.,Machado, A . R.**, 1999, Furação de Ferro Fundido Cinzento com Brocas de Metal Duro Integral. Dissertação de Mestrado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, 115 p.
- Silva, L. A., Duarte, M. A. V. e Rade, D. A.**, 1997; “Estimação de Funções Resposta em Frequência em Ambientes Ruidosos”, XIV COBEM, 08 a 12 de dezembro de 1997, Bauru, SP, Anais em CD.
- Sousa, M. M. de**, 1998, “Utilizando a Vibração Mecânica para Monitorar o Desgaste das Ferramentas de Corte e o Acabamento Superficial no Processo de Fresamento”, Tese de Doutorado Apresentada à Universidade Federal de Uberlândia.

- Stewart R. M.**, 1977 “Some Useful Data Analysis Techniques for Gearbox Diagnostics”
Proc. Of Meeting on Applications of Time Series Analysis, ISVR, Southampton
september.
- Wilver B. Menegati e M. A. V. Duarte**, 1999, “Identificação de Falhas em Engrenagens de
Câmbios”, XV COBEM, Águas de Lindóia, Anais em CD.

USING VIBRATION SIGNALS FOR TOOL WEAR MONITORING DURING DRILLING WITH HSS DRILLS

***Abstract.** Experiments have been carried out in an attempt to monitor the increase of tool wear through the variation of the vibration signal in drilling. The vibration was measured using a piezoelectric accelerometer attached to the bearing of the main shaft of the machine tool. The signal analysis was done in both, the time domain (using RMS level of the signal) and frequency domain. The material machined was the GH 190 grey cast iron, using HSS drills. The results showed that the use of the vibration signal is an efficient method to monitoring tool wear. The behavior of the vibration signal is similar to the tool wear, i. e., the increase in tool wear implies in a proportional increase of the vibration signal in predefined frequency bands.*