

# ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DE MÍNIMA QUANTIDADE DE MEIO DE LAPIDAÇÃO EMPREGANDO O MONITORAMENTO DO PROCESSO

## **Joel Martins Crichigno Filho**

Universidade do Estado de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Processos de Usinagem  
Campus Universitário Prof. Avelino Marcante S/N - Bairro Bom Retiro  
Caixa postal 631 – Joinville - SC  
CEP: 89223 - 100  
e-mail: crichigno@joinville.udesc.Br

## **Cleiton Rodrigues Teixeira**

Fundação Universidade Federal de Rio Grande  
Departamento de Materiais e Construção  
Rua Alfredo Huch, 475  
Caixa Postal 474 – Rio Grande – RS  
CEP: 96201-900  
e-mail: cleiton@dmc.furg.br

**Resumo.** *Para renovar a capacidade de corte dos grãos gastos, retirar da zona de trabalho o material removido, e repor o fluido de lapidação evaporado, novo meio de lapidação ou suspensão deve ser adicionado ao processo. A quantidade e o momento de adição devem ser otimizados com o objetivo de minimizar a lama formada que tem que ser descartada. Uma maneira de se otimizar a adição de meio de lapidação ou de um fluido seria empregando o monitoramento do processo medindo emissão acústica e força tangencial. A emissão acústica é proporcional à taxa de remoção de material e, por isso, pode ser usada para monitorar quando se deve adicionar uma nova quantidade de meio. Já a força tangencial está relacionada à densidade do meio de lapidação. À medida que a densidade do meio aumenta, por meio do aumento do material removido e da evaporação do meio de suspensão, aumenta também a força tangencial. O grande perigo nesse caso é a possibilidade de rompimento do filme, e conseqüentemente, o contato entre peças e ferramenta, o que leva à piora da rugosidade das peças. Este trabalho apresenta uma estratégia de monitoramento na lapidação com o objetivo de aplicação de mínimas quantidades do meio de lapidação ou de fluido como lubrificante. Os resultados mostram que é possível a realização do monitoramento da aplicação do meio de lapidação monitorando essas duas grandezas empregando uma estratégia de fronteira fixa.*

**Palavras chaves:** *usinagem, lapidação, monitoramento.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A lapidação é um processo de fabricação empregado na produção de vários componentes de precisão, com o qual são obtidas peças com alta qualidade superficial em conjunto com precisão de

forma e tolerâncias dimensionais apertadas [1]. O processo é de fácil operabilidade, entretanto, os resultados de trabalho são de difícil reprodutibilidade. Isso ocorre porque, conforme apresentado em Zeiss<sup>(2)</sup>, as variáveis envolvidas na lapidação são muitas, o que propicia, segundo Pfeifer<sup>(3)</sup>, com que os resultados de processo variem, de peça para peça, de lotes para lotes e com o tempo de fabricação. Entretanto essa característica de variação acontece em praticamente todos os processos de fabricação devido à impossibilidade de controle de alguns parâmetros levando a erros sistemáticos e aleatórios.

Os principais fatores que levam ao desvio dos resultados de trabalho estão relacionados às mudanças das condições do ambiente de trabalho (temperatura, grau de limpeza), à variação das características das peças (sobremetal, rugosidade inicial), ao operador (erro no ajuste dos parâmetros) e às condições do processo (erro de planicidade do disco, variação da quantidade de meio de lapidação adicionado) durante a produção.

Na lapidação os resultados do processo são dependentes da experiência do operador, onde o tempo do processo é utilizado como um dos principais parâmetros de controle para se alcançar a remoção e a rugosidade desejadas. Desse modo, o processo é interrompido várias vezes, para a medição desses resultados. Se houver o desvio dos resultados previstos, um novo tempo de lapidação é calculado. Em vista disso, a lapidação pode se tornar um processo relativamente demorado, o que inclui no custo de fabricação.

Com o objetivo de assegurar com que os resultados do processo sejam obtidos dentro da faixa de tolerância requerida, Westkämper<sup>(4)</sup> apresenta algumas medidas para otimização e garantia dos resultados de trabalho. Uma delas é o emprego de sistemas inteligentes, com os quais os desvios do processo, em decorrência de anomalias, podem ser corrigidos, com o intuito de assegurar os resultados dentro das tolerâncias requeridas.

O monitoramento do processo é uma etapa de vital importância, uma vez que por meio do sensoriamento, os desvios devem ser detectados para posteriormente correção do processo por um sistema inteligente. E esse tem sido, nos últimos anos, um dos principais temas de pesquisa, objetivando detectar desvios e problemas ocorridos durante o processo, antes que uma correção seja feita. Sinais gerados durante a usinagem, como por exemplo, forças de corte, temperatura, corrente do motor de acionamento e EA, podem ser diretamente relacionados à situação do processo. Os resultados de trabalho podem ser determinados, como a remoção de material, a rugosidade e o mecanismo de desgaste da ferramenta, analisando as características do sinal monitorado. A correção dos desvios durante o processo ocorre controlando alguns parâmetros [4].

O emprego eficiente de um sistema de monitoramento depende da sensibilidade dos sinais às mudanças das condições do processo. Segundo Crichigno Filho<sup>(5)</sup>, na lapidação existe uma boa correlação entre a curva EA e o processo. A variação de EA em relação a um sinal padrão está relacionada à variação das condições de trabalho na fenda de lapidação. Entretanto, deve-se verificar a influência dos parâmetros de entrada do processo na característica do sinal EA, uma vez que a mudança desses parâmetros modifica as condições de trabalho na fenda de lapidação. Monitorando-se, portanto, o sinal acústico, pode-se detectar a ocorrência do desvio das condições do processo, contribuindo assim para a minimização do número de paradas, aumentando a produtividade do processo. Segundo o conhecimento do autor, apesar da importância do processo na fabricação de precisão, não existem trabalhos que relacionem os sinais do processo com a necessidade de aplicação de meio e fluido de lapidação.

## **2. RESULTADOS DE TRABALHO NA LAPIDAÇÃO**

### **2.1. Emissão Acústica**

A EA é formada por sinais gerados pela liberação de uma energia elástica, devido às deformações microscópicas do material quando sofre tensão, que se propagam para o meio (ferramenta de corte, estrutura da máquina e peça). Os mecanismos de formação da EA em processos de usinagem

acontecem devido à deformação plástica, à mudança de fase do material (por exemplo, na formação da martensita), ao riscamento e ao atrito. A frequência dos sinais gerados se apresentam, dependendo do tipo e do tamanho da fonte, na faixa de 16 kHz até cerca de 30 MHz. Entretanto, devido à tecnologia atual dos sensores e dos aparelhos para análise dos sinais, o campo de aplicação utilizada no monitoramento de processos se situa entre 50 kHz e 2 MHz [6].

Na lapidação a geração da EA ocorre devido ao riscamento do grão nas superfícies da peça e do disco no momento em que o grão incrusta em uma das superfícies, à deformação plástica quando o grão rola na fenda de lapidação e à quebra dos grãos. Entre a ferramenta e a peça (fenda de lapidação) se encontra o meio de lapidação (mistura de grãos soltos suspensos em um fluido ou em uma pasta). Devido ao movimento relativo entre a ferramenta e a peça, os grãos atuam promovendo a remoção em ambas as superfícies. Basicamente, existem dois modelos de remoção de material. O primeiro acontece em decorrência do rolamento do grão na fenda de lapidação. Neste caso a superfície do material é deformada elástica e plasticamente sem nenhuma formação de cavaco. A superfície é alisada e encruada. Devido à fadiga o material se enfraquece até que pequenas partículas se soltem. Já no outro modelo, o grão está incrustado na superfície da peça ou do disco de lapidação, removendo material por meio da formação de cavaco. A predominância de um tipo do mecanismo de remoção depende de fatores como o carregamento sobre os grãos, a forma dos grãos, a viscosidade do fluido de lapidação e a dureza do disco de lapidação e das peças.

A emissão acústica na lapidação é dependente do tamanho médio dos grãos, da velocidade bem como do número de grãos ativos na fenda de lapidação e a força normal em cada grão. Esses parâmetros estão ligados à taxa de remoção. O nível de emissão acústica está diretamente relacionado com a taxa de remoção. Outro fator que influencia na emissão acústica é a quebra dos grãos [5, 7]. Após a adição do meio de lapidação, os grãos abrasivos se quebram e a capacidade de remoção diminui em decorrência da diminuição do tamanho médio dos grãos e da profundidade de penetração, apesar do aumento do número de grãos em decorrência da quebra. O nível da emissão acústica no início é alto por causa da alta taxa de remoção e da quebra dos grãos, mas diminui devido à diminuição da taxa de remoção e quebra dos grãos.

## **2.2. Força Tangencial**

A força tangencial que atua nas peças é decorrente tanto devido à atuação dos grãos, removendo material, como também da influência do efeito da viscosidade do meio de lapidação. A força devido à remoção de material é determinada pelo número de grãos ativos e a penetração de cada um no material da peça, bem como da velocidade relativa entre peças e disco. Dependendo do fluido empregado no meio, este pode evaporar durante o processo. Ao mesmo tempo, partículas de material removido da peça e do disco se misturam no meio de lapidação. Como resultado desses dois processos, a densidade do meio de lapidação aumenta, aumentando com isso o atrito. Chega um momento que o filme rompe devido ao excesso de material e à evaporação do fluido no meio. O rompimento do filme levando ao contato entre as peças e o disco de lapidação, piorando significativamente a qualidade superficial das peças [5].

## **3. PROPOSTA DE UMA ESTRATÉGIA DE APLICAÇÃO DE MÍNIMA QUANTIDADE DE MEIO DE LAPIDAÇÃO**

Uma vez que após a aplicação do meio de lapidação, os grãos se desgastam e o meio é contaminado com partículas de material removido, uma nova quantidade de meio deve ser adicionada. A estratégia adotada na indústria ainda hoje é a aplicação contínua do meio de lapidação a uma determinada taxa, ou de tempo em tempo o operador da máquina adiciona fluido e/ou meio de lapidação de acordo com a sua experiência. A aplicação contínua mantém a capacidade de remoção na lapidação, mas muitos grãos que têm capacidade de corte são expulsos do disco. Por isso, uma grande quantidade de lama de

lapidação é produzida. Esta constitui um problema para a indústria, uma vez que o seu descarte é caro. Por outro lado, adição do meio de acordo com a experiência do operador pode levar à variação dos resultados do processo, ocorrendo em alguns casos o rompimento do meio de lapidação e conseqüentemente o contato entre peça e disco. Isso leva à piora da qualidade superficial das peças.

Monitorando os sinais de emissão acústica e da força tangencial tanto a capacidade de corte dos grãos abrasivos bem como a contaminação do meio de lapidação podem ser monitoradas. Com isso, a escolha da adição de uma nova quantidade de meio de suspensão ou fluido e quando devem ser adicionados será somente em função do estado do processo e não mais de acordo com a experiência. Este trabalho tem, portanto, o objetivo analisar as curvas de emissão acústica e força tangencial quando meio e fluido de lapidação são adicionados durante o processo.

#### 4. METODOLOGIA DE ENSAIO

Para a realização dos ensaios, foi empregada uma lapidadora plana de um disco com potência de acionamento de 2 kW. O disco de lapidação utilizado foi de ferro fundido cinzento com diâmetro de 700 mm. Por motivos ecológicos, o fluido de lapidação, consistido normalmente de óleo, foi substituído por uma mistura de 47 % água, 50 % glicerina e de 3 % anti-corrosivo. Grãos de  $Al_2O_3$  foram misturados no fluido, formando o meio de lapidação. O grau de recobrimento do disco de lapidação foi de 2 anéis de dressamento (de ferro fundido com 300 mm de diâmetro externo e espessura de parede de 10 mm), contendo cada um 3 corpos de prova de aço SAE 1015 de 30 mm de diâmetro, posicionados em gaiolas.

A figura 3 apresenta, esquematicamente, o aparato experimental, consistindo de um sensor EA rotacional posicionado no centro do disco de lapidação e uma célula de carga para monitorar a variação da força tangencial, que era transmitida por um braço articulado em contato como um dos anéis de dressamento.

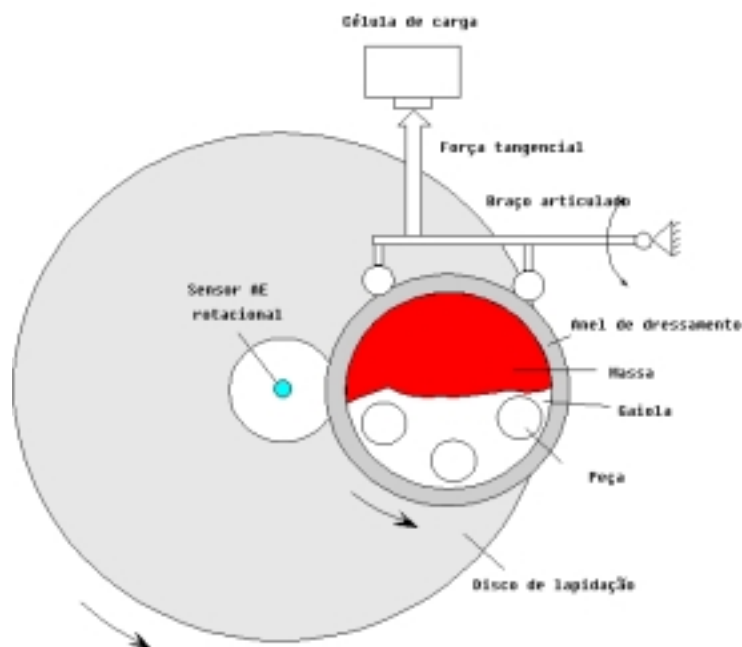


Figura 1. Desenho esquemático da medição da força tangencial e da EA na lapidação plana

A pressão de lapidação de 4,4 N/cm<sup>2</sup> foi obtida pelo posicionamento de uma massa de 9,5 kg sobre os corpos de prova. O sensor EA empregado foi rotacional, tipo RSA da firma Nordmann, com frequência de trabalho situada entre 100 kHz e 200 kHz. O sinal captado pelo sensor foi amplificado e tratado por um “pré-processador”, obtendo-se como sinal de saída o seu valor efetivo (RMS). Um sistema “Tool Monitor” serviu como fonte de alimentação para o sensor e visualização da curva de EA durante os ensaios.

O equipamento utilizado para a medição de força foi uma célula de carga HLW da Firma VEB RFT Meßelektronik Otto Schön Dresden do tipo KWH 10. Os sinais gerados de EA e força tangencial foram adquiridos por um PC 386, utilizando-se uma placa A/D. A frequência de aquisição foi de 37,5 kHz por canal, adquirindo cerca de 600 pontos por canal em intervalos de um segundo. Os pontos foram tratados e analisados em um segundo microcomputador utilizando-se o programa MatLab®.

## 5. RESULTADOS DOS ENSAIOS

A Figura 2 apresenta as curvas de EA e força tangencial. Os dois resultados são normalizados pelos máximos valores dos dois sinais.

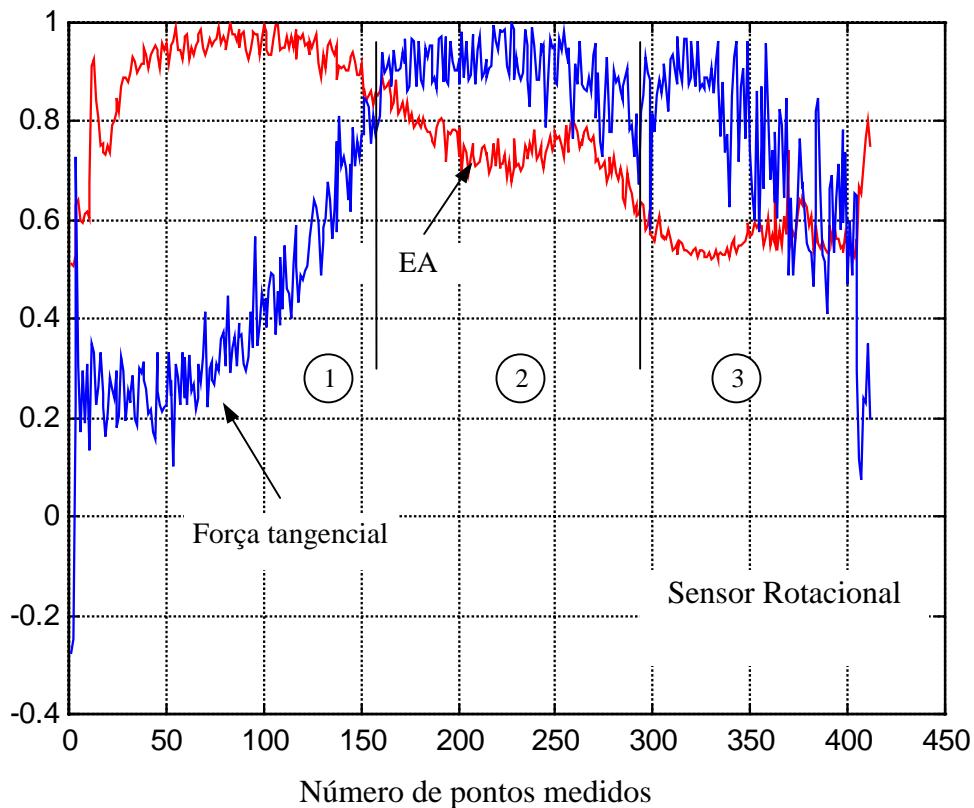


Figura 2. Curvas normalizadas de EA e da força tangencial em função do tempo

No início do processo o sinal EA cresce até um máximo, decaindo lentamente em seguida. Uma explicação para que isso aconteça está relacionada, principalmente, à profundidade de penetração, a quantidade dos grãos na fenda de lapidação e a quebra dos grãos [5]. A força tangencial também cresce até um máximo, permanecendo por um dado momento decaindo depois. As curvas podem ser divididas em 3 regiões. Na primeira foram observadas condições normais de lapidação. Na segunda o aspecto do disco de lapidação apresentava-se seco (pouca “quantidade” de meio de lapidação e fluido de

lapidação). Devido à força tangencial alta, se observava a diminuição da velocidade de rotação do disco. Na terceira o filme formado pelo meio de lapidação se rompia e com isso o aparecimento de um forte ruído em decorrência do contato entre o disco e as peças.

Com o intuito de evitar o rompimento do filme de lapidação, formado pelo meio entre as peças e o disco, é necessária a adição de fluido como meio lubri-refrigerante. Como parte da força normal que é exercido sobre os corpos de prova é absorvida pelo fluido que consiste no meio de lapidação, sua evaporação leva ao aumento da força por grão e conseqüentemente à uma quebra prematura. Entretanto, a adição aleatória de fluido pode trazer prejuízo ao processo, influenciando na taxa de remoção de material. Com isso havia a necessidade de se monitorar um parâmetro que estivesse relacionado diretamente com a evaporação do fluido de lapidação. Este parâmetro poderia ser obtido por meio do monitoramento da força tangencial. Uma relação entre a variação da força tangencial e a evaporação do fluido de lapidação é demonstrada por Crichigno Filho<sup>(5)</sup>. Por sua vez, quando os grãos de lapidação perdem a sua capacidade de remoção de material, uma nova quantidade de meio de lapidação deve ser adicionada para repor os grãos gastos. Essa característica pode ser monitorada pelo sinal de emissão acústica EA, que é uma grandeza que está diretamente relacionada com a quantidade de material removido por tempo, ou seja, com a taxa de remoção.

A Figura 3 apresenta os resultados de ensaios para um tempo total de 200 segundos. Os valores de EA e força tangencial foram mais uma vez normalizados pelos respectivos máximos das curvas. As flechas apontam o momento da adição de fluido de lapidação e meio de lapidação.

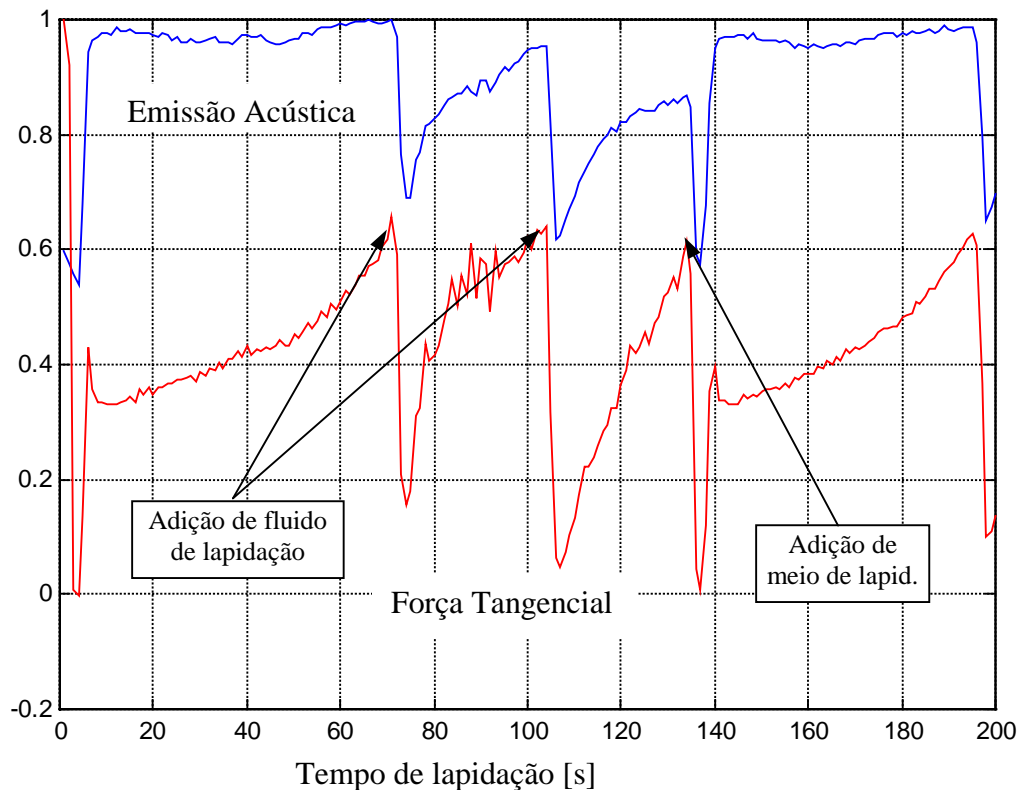


Figura 3. Monitoramento da força tangencial como estratégia de monitoramento da adição de fluido de lapidação

No início do processo meio de lapidação é adicionado e por isso o sinal de EA sobe rapidamente, mas o sinal da força tangencial tende a aumentar progressivamente. Quando a força chega a um máximo, onde é notado que o disco de lapidação apresenta um aspecto “seco”, é adicionado o fluido de

lapidação. Isso acontece em torno de 70 segundos de lapidação. Conseqüentemente, os níveis de EA e da força normal caem, devido ao efeito hidrodinâmico do fluido, mas logo depois os grãos começam a atuar nas superfícies e com isso EA e a força normal aumentam progressivamente. Quando a força tangencial atinge o mesmo nível da primeira adição, novamente fluido de lapidação é adicionado. Isso acontece em torno de 105 segundos. Analisando os valores de EA em torno de 70, 105 e 135 segundos, observa-se que esses valores de máximos localizados estão diminuindo. Esse efeito ocorre por causa da perda da capacidade de remoção de material por parte dos grãos de lapidação. Por isso, no tempo de lapidação de 135 segundo foi adicionado meio de lapidação. Foi observado também que com a adição do meio de lapidação, as duas curvas tem características idênticas do início do processo, mas com um tempo para o início da adição do fluido de lapidação menor.

## 5. CONCLUSÕES

O monitoramento é uma importante etapa para a garantia dos resultados de trabalho na lapidação. Detectando-se os desvios, que ocorrem durante o processo, é possível atuar sobre os parâmetros controláveis, garantindo assim que os resultados de trabalho permaneçam dentro da faixa de tolerância requerida. O monitoramento de sinais inerentes ao fenômeno de remoção de material deve ser correlacionado com a situação do processo, ou seja, com a atuação dos grãos de lapidação na fenda de lapidação. Para tal é necessário averiguar se os sinais monitorados são sensíveis às mudanças das condições de trabalho. Isso pode ser realizado por meio da verificação dos fatores controláveis do processo nas características dos sinais e dos resultados de trabalho. O objetivo deste trabalho foi determinar a influência da adição do meio e fluido de lapidação na variação do sinal EA e da força tangencial. Os resultados mostraram que há a influência nas características das duas curvas quando meio e fluido de lapidação são adicionados e que as características das curvas são idênticas. Dessa forma, é possível empregar EA e força tangencial para monitorar a necessidade de adição de meio e fluido, otimizando o intervalo de adição e, por isso, a quantidade de grãos empregados. Portanto, o monitoramento do processo da lapidação contribui para a minimização da quantidade de meio empregado no processo.

## 6. REFERÊNCIAS

1. KÖNIG, Wilfried; KLOCKE, Fritz. **Fertigungsverfahren – Bd. 2. Schleifen, Honen, Läppen**, 3. ed. Dusseldorf: VDI-Verlag, 1996. 406 p.
2. **Läppen metallischer Werkstoffe**, Jena: VEB Carl Zeiss Jena, 1975.
3. PFEIFER, Tilo. **Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken**. 2. ed. München: Carl Hanser Verlag, 1996. 552 p.
4. WESTKÄMPER, E. Mit leistungsfähigen Technologien Werkstücke mit hoher Präzision fertigen – die Zukunft der Feinbearbeitung. In: 7. Internationales Braunschweiger Feinbearbeitungskolloquium (FBK), 1993, Essen: Vulkan-Verlag, 1993.
5. CRICHIGNO FILHO, J.M. **Überwachung des Prozeßzustandes beim Läppen mittels neuronaler Netze durch Messung des Körperschalls und der Tangentialkraft**. 1999, 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Alemanha. 1999.
6. KÖNIG, Wilfried.; KLOCKE, Fritz. **Fertigungsverfahren – Bd. 1. Drehen, Fräsen, Bohren**. 5. ed. Berlin: Springer VDI-Verlag, 1997. 471 p.
7. CHANG, Y. P. et al. An investigation of the AE signal in the lapping process. **Annals of the CIRP**, v. 45, n. 1, p. 331-334. 1996.

# A STRATEGY OF MINIMAL LAPPING SLURRY QUANTITY APPLICATION THROUGH THE MONITORING OF THE PROCESS

**Joel Martins Crichigno Filho**

Universidade do Estado de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica

Laboratório de Processos de Usinagem

Campus Universitário Prof. Avelino Marcante S/N - Bairro Bom Retiro

Caixa postal 631 – Joinville - SC

CEP: 89223 - 100

e-mail: crichigno@joinville.udesc.br

## ***Abstract.***

*To replenishment of the grit capacity, remove the wasted material from the lapping plate and replace the evaporated fluid from the slurry, additional supplying lubricant slurry or suspension slurry need to be dispensed onto the lapping plate during the process. The quantity and time of supplying should to be optimized with the objective to minimization of the dirty residue that must be rinsed clean after lapping without affect the process results. A method to reach this goal is the monitoring the acoustic emission and the tangential force by lapping. The acoustic emission is proportional to the material removal rate and can be used to monitoring when slurry must be applied. The tangential force is related with the increase of wasted material and evaporation of liquid phase of the slurry. There is the risk of the break of the lapping film and the contact between lapping disc and the workpiece leaving to a worst surface roughness and was observed that the tangential force can be used to predict when lubrication must be supplied. This work presents a strategy to monitoring the lapping process with the subject to apply minimal quantity of slurry or lubrication during the process. The results shows that is possible to control the supplying of slurry through monitoring the acoustic emission and the tangential force on lapping applying fix frontier strategy.*

***keywords:*** machining, lapping, monitoring.