

# OTIMIZAÇÃO DO “SET-UP” DE MÁQUINAS CNC COM O USO DE SISTEMAS DE MONITORAMENTO

**Milton Vieira Junior**

Universidade Metodista de Piracicaba – Email: [mvieira@unimep.br](mailto:mvieira@unimep.br)

**Ivan Correr**

Universidade Metodista de Piracicaba – Email: [icorrer@unimep.br](mailto:icorrer@unimep.br)

**Carlos Eduardo Carraro**

Universidade Metodista de Piracicaba – Email: [cecarrar@unimep.br](mailto:cecarrar@unimep.br)

Rod. Santa Bárbara – Iracemápolis, Km 01. Santa Bárbara d’Oeste – SP. CEP: 13450-310 Fone: (019) 31241769 Fax: (019) 34551361

**Resumo.** Visando reduzir os tempos de “set-up” de máquinas CNC e aumentar sua disponibilidade para utilização e, por consequência, a sua flexibilidade e a produtividade, propõe-se a utilização de um sistema de monitoramento de processo por meio da emissão acústica, com o intuito de identificar o momento de contato entre as ferramentas de um Centro de Usinagem CNC em um dispositivo de referência instalado na máquina. A identificação desse momento de contato permite que a referenciamento das ferramentas possa ser feita na máquina de forma mais rápida e precisa, com o uso de programação automática e de armazenamento imediato das coordenadas de referência dos eixos de programação. Assim, torna-se possível reduzir o tempo de uma das atividades de “set-up” de máquinas CNC que ainda é realizada manualmente por grande parte dos usuários desse tipo de equipamento.

**Palavras-chave:** Redução de “set-up”, Automação de Processos, Monitoramento de Processos.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento do uso de máquinas CNC de concepção mais moderna, com recursos que permitem o uso de velocidades mais elevadas para o deslocamento dos eixos, trouxe uma realidade aos processos de fabricação: redução dos tempos de usinagem, utilização de velocidades de corte mais altas, ferramentas com geometrias e materiais que permitem maior remoção de cavaco, entre outros.

Trata-se de uma realidade que visa, principalmente, atender a cenários flexíveis de fabricação, nos quais prevalece a produção em pequenos e médios lotes, uso da tecnologia de grupo, uso de ferramentais de grupo, etc. Diversos autores já propuseram soluções para algumas questões que surgem nesse cenário: Malaquias (1999) e Baptista (2000) trabalharam com a otimização dos processos de usinagem, visando obter velocidades de corte maximizadas que oferecessem custo e produção compatíveis com as necessidades de sistemas flexíveis de fabricação; Correia Filho (1998) identificou as vantagens e desvantagens do uso de ferramentas padronizadas para uma determinada

família de peças, propondo ainda a utilização de índices de avaliação para identificar a adequação desse ferramental a cada peça da família; Coelho et al (2001) apresentou um levantamento do estágio das pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no Brasil no campo da usinagem com altíssima velocidade de corte.

Pelo lado dos equipamentos o desenvolvimento mostra-se nos aspectos construtivos, que privilegiam inovações estruturais das máquinas (MASON; METTERNICH e WÜRSCHING, 2001), alterações nos sistemas de transmissão dos movimentos (SIMON, 2001b) e mudanças no eixo-árvore que permitem trabalhar com velocidades de corte mais elevadas (LAYNE, 2001; SCHLEINKOFER et al, 2002), estes avanços que as máquinas estão sofrendo, pode ser observada claramente na Fig.(1).

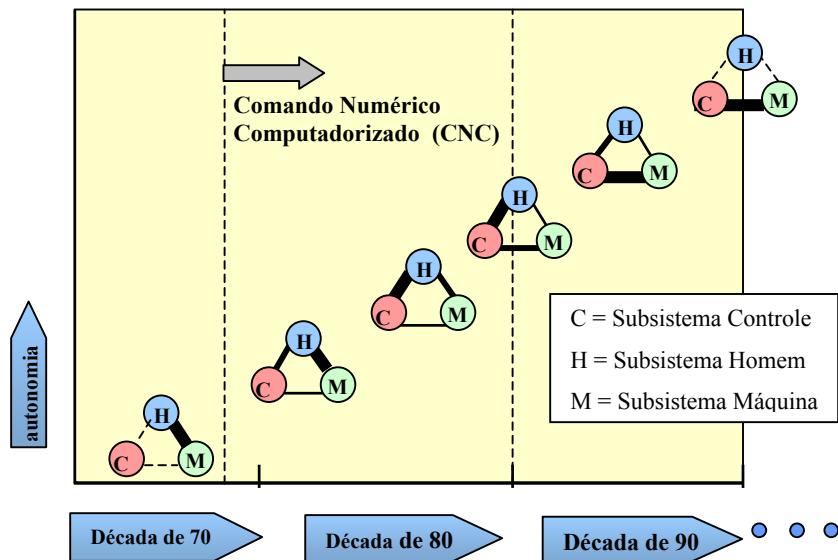


Figura 1 – Evolução da automação dos processos de usinagem (OLIVEIRA, 1995 *apud* FELIPE; FELIPE, 1996)

Entretanto, a questão da segurança na utilização dos equipamentos CNC ainda merece atenção. É comum que as máquinas cheguem aos usuários sem dispor de recursos que os auxiliem a identificar uma série de problemas que ocorrem tanto durante as operações de remoção do material, mas também (e principalmente) nos momentos em que ocorrem deslocamentos em vazio para posicionamento das peças e/ou ferramentas. São poucos os trabalhos que procuram soluções para esse tipo de problema, sendo que uma grande maioria está voltada para o uso em máquinas retificadoras. Felipe (1996) propôs o uso de sistemas de monitoramento por emissão acústica para, entre outras funções, identificar a ocorrência de colisões em uma retificadora CNC; Souza (1999), propôs o uso de sistema de monitoramento via emissão acústica através de funções inteligentes para monitorar um processo de torneamento; Hara (1999) procurou também tratar o assunto no sentido de evitar colisões em operações de retificação cilíndrica em mergulho com o uso de sensores de emissão acústica; Sobrinho (1999) tratou do uso de sensores de proximidade para monitorar a aproximação e o desgaste de ferramentas em operações de fresamento.

Outro problema que deve ser enfrentado tendo em vista a automação dos processos industriais é a baixa utilização de sistemas de pré-ajustagem de ferramentas (*presetting*) em máquinas CNC. Simon (2001 a) identificou que apenas uma pequena parte dos usuários de máquinas CNC, em especial os usuários de Centros de Usinagem, utilizam-se de recursos que permitam a realização do *presetting* antes da montagem das ferramentas no magazine das máquinas. Preferem realizar esse tipo de ajustagem com as ferramentas já montadas na máquina em uma atividade que demanda tempos de

ordem significativa, pois é uma ajustagem realizada manualmente e, geralmente, com a ferramenta parada. A implementação de funções de auxílio ao *presetting* de ferramentas a partir de sinais de saída de sistemas de monitoramento também podem vir a ser objeto de pesquisa e desenvolvimento.

### **1.1. Utilização de “*Presetting*” Automático de Ferramentas**

A viabilização da implementação e utilização de “*presetting*” através de sistemas de monitoramento em máquinas-ferramenta, especialmente em Centros de Usinagem, pode possibilitar um aumento e melhoria na confiabilidade das operações de usinagem, aliada a uma melhor performance e aumento da qualidade, bem como a redução de custos. Isto vem a ocorrer uma vez que um sistema de monitoramento funcione como se fosse um tipo de operador dedicado, atencioso e com precisão, que observa desde o começo até o fim o ciclo de cada peça a ser produzida. As operações de usinagem possuem funções que podem ser monitoradas e automatizadas por sistemas de monitoramento, que são capazes de decidir ações corretivas.

Um dos métodos de monitoramento mais utilizados e estudados em máquinas-ferramenta, é o que emprega a análise de emissão acústica (EA). Uma das principais vantagens deste método é o de não ser intrusivo ao processo, já que o sistema capta os sinais de EA gerados em um processo de usinagem através de um sensor fixado em algum ponto da estrutura da máquina-ferramenta. Uma outra vantagem é que este sistema pode ser aplicado no monitoramento de diversos fenômenos ocorridos durante um processo de usinagem, no caso do monitoramento em um centro de usinagem, este sensor pode ser utilizado para identificar, colisões, contatos, desgastes de ferramentas dentre outros fenômenos decorrentes do processo, utilizando apenas um sensor fixado em um ponto da máquina-ferramenta que permita captar os sinais gerados por estes fenômenos.

Portanto, a utilização das técnicas de EA, pode viabilizar a implementação e automação de diversas operações de usinagem, uma vez que os sinais de EA são excelentes para avaliar a existência de contato entre superfícies em movimento, o que ocorre muito em um processo de usinagem em máquinas CNC.

## **2. SISTEMAS DE MONITORAMENTO**

A principal função de um sistema de monitoramento e controle do processo de usinagem é promover a substituição de funções que o homem ainda exerce na produção de bens usinados. As máquinas CNC já perfazem diversas funções anteriormente realizadas pelo homem, como aproximação, afastamento e posicionamento da ferramenta, fixação do avanço e velocidade de corte, indexação da ferramenta, etc. Algumas funções ainda permanecem sob a responsabilidade do operador, como o estabelecimento do momento de troca da ferramenta, inspeção da peça e a própria troca da ferramenta. Estas são algumas atividades que um sistema de monitoramento e controle dos processos de usinagem procura realizar. A Figura (2) mostra um gráfico baseado no levantamento realizado por Byrne *et al.* (1995), especificando em quais processos o monitoramento vem sendo mais utilizado.

Diversas são as razões que fazem com que o desenvolvimento de tais sistemas seja realizado (DINIZ, 1992), dentre elas:

- O surgimento de novos e caros materiais para ferramentas que precisam ter sua utilização otimizada;
- O surgimento de materiais de difícil usinagem e cujo comportamento no processo ainda é desconhecido;
- As mudanças dos processos produtivos que estão tornando os lotes cada vez menores, encarecendo a rejeição de peças;
- A busca por aumentos de produtividade;

- A busca pela flexibilidade e pela automação da manufatura.

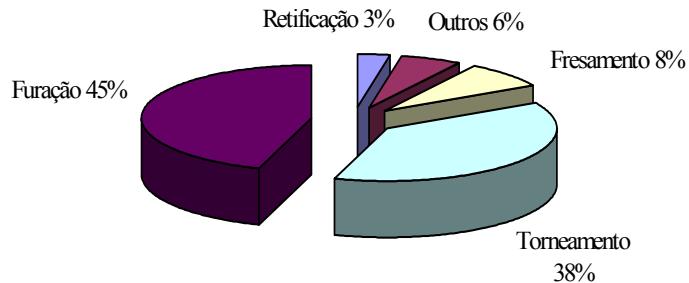


Figura 2 - Aplicação de sistemas de monitoramento nos processos de fabricação (BYRNE *et al.*, 1995)

A tendência atual da usinagem está voltada para o aumento da taxa de remoção de material com alto grau de automação e a redução intervenção humana. Isto requer processos e sistemas de monitoramento extremamente confiáveis. Dentre as grandezas monitoradas mais comuns estão a vibração mecânica, a emissão acústica, a corrente elétrica consumida pelo motor (indicador dos esforços de corte) e a temperatura do processo, que são associadas aos resultados do processo em questão (acabamento superficial, tolerâncias dimensionais ou geométricas e integridade microestrutural). Eventualmente pode ser necessário um processamento digital dos sinais para ressaltar um determinado fenômeno.

### 3. COMPONENTES DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE

A Figura (3) mostra os componentes de um sistema completo de monitoramento de controle: sensor, condicionador de sinais, modelo matemático e estratégia de ação e controle (DORNFELD, 1994).

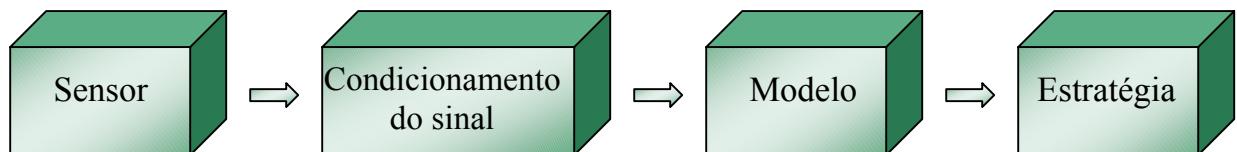


Figura 3 – Componentes de um sistema de monitoramento (DORNFELD, 1994)

O sensor tem a função de captar o sinal de interesse no processo e conduzi-lo a um processo de condicionamento (amplificação ou atenuação, filtragem e etc.). Uma vez condicionado o sinal, é possível comparar seu comportamento a um modelo matemático previamente estabelecido para se poder decidir as estratégias de ação e controle a serem adotadas.

### 4. PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DO “SET-UP” DE MÁQUINAS CNC COM USO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO

Como foi observado no início do presente trabalho, Simon (2001a) identificou a ausência do uso de “presetting” externo de ferramentas como uma das principais causas para a sub-utilização de máquinas CNC, no parque industrial brasileiro (Tab.1).

Tabela 1 – Máquinas-ferramenta CNC instaladas no parque industrial brasileiro X Quantidade de máquinas-ferramenta CNC NÃO apoiadas por aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas do parque industrial brasileiro (SIMON, 2001a)

Grupo de máquinas CNC	Total de máquinas	Total de máquinas que NÃO utilizam sistema de <i>presetter</i>
Tornos CNC	8.408	5.658
Centros de usinagem	5.978	1.295
Mandriladoras CNC	279	170
Fresadoras CNC	1.375	544
Total de máquinas CNC no parque industrial brasileiro	16.040	7.667
Total de máquinas CNC que NÃO utilizam <i>presetter</i>		<b>8.373</b>

As ferramentas são montadas no porta-ferramentas da máquina e a definição das condições de ajustagem são feitas manualmente, com a aproximação de cada ferramenta até uma posição de referência e o registro manual das posições dos eixos no comando numérico.

Essa atividade, apesar de parecer simples, consume um tempo elevado e compromete a disponibilidade da máquina. Dependendo da quantidade de ferramentas que são utilizadas e da quantidade de trocas que são efetuadas, o resultado final disso é a redução acentuada dos índices de flexibilidade e de produtividade da máquina (AGOSTINHO, 1988), a sua consequente sub-utilização e a possibilidade de comprometimento das programações de produção. Uma máquina CNC, que normalmente já tem um custo de operação (“hora-máquina”) elevado, acaba tendo acréscimos devido a essa baixa utilização. A Tabela (2) compara um processo utilizando pré-ajustagem de ferramentas, com um processo que não utiliza, pode-se ver claramente o tempo inativo da máquina no processo em que não se utiliza uma pré-ajustagem de ferramentas.

Tabela 2 – Redução de tempo de preparação em centro de usinagem através da pré-ajustagem de ferramentas (ZOLLER & DAVIS TOOL apud SIMON, 2001a)

Operação	Ferramenta pré-ajustada	Ferramenta NÃO pré-ajustada
Colocar a ferramenta no magazine	20s	20s
Mover até a superfície da peça, calcular a correção, mover a ferramenta de volta para a posição anterior	---	120s
Entrar com a correção da ferramenta	30s	30s
Executar a usinagem	Igual	Igual
Verificar dimensão	---	30 s
Tempo necessário para preparação de uma ferramenta	50s	210s
Redução de tempo através da pré-ajustagem		160 s (2,66 min)

A proposta que aqui se apresenta é a utilização de um sistema de monitoramento do contato entre a ferramenta e um dispositivo de “*presetting*” através do uso da Emissão Acústica (EA) para a redução do tempo de ajustagem inicial das ferramentas. Um sensor de EA pode identificar claramente o momento de contato entre a ferramenta e uma posição de referência na máquina, executando uma movimentação automática, programada com velocidade de avanço igual ou maior que a definida para o processo de usinagem. Ao ocorrer o início desse contato, o sinal deve ser enviado ao CNC da máquina para interromper a movimentação e identificar as posições dos eixos a fim de armazená-las automaticamente na memória do comando.

A Figura (4), mostra como se dá o comportamento do sinal de EA. A ocorrência de um sinal de pico pode indicar que o contato entre ferramenta e o dispositivo ocorreu e que as ações de controle devem ser tomadas. Um sinal contínuo pode indicar tanto a movimentação dos eixos da máquina, quanto a ocorrência do processo de usinagem; a diferença nesses dois casos se dará pelo nível de intensidade maior durante o corte do material.



Figura 4 – Exemplos de sinais de picos e sinais contínuos

Para viabilizar essa proposta, pretende-se utilizar a montagem experimental apresentada na Fig (5). O sinal captado junto à máquina deve ser condicionado (amplificado e filtrado) através do equipamento SENSIS BM12 e armazenado em um microcomputador provido de uma placa A/D e de um “software” de acompanhamento do processo (“LabView”). As características do sinal de pico originado pelo contato entre ferramenta e peça sob diversas velocidades de avanço serão estudadas e diferenciadas de outros tipos de sinal no que se refere ao tempo de duração e à intensidade. Essas características serão programadas no CNC da máquina para a posterior identificação do contato e armazenamento das posições de referenciamento.

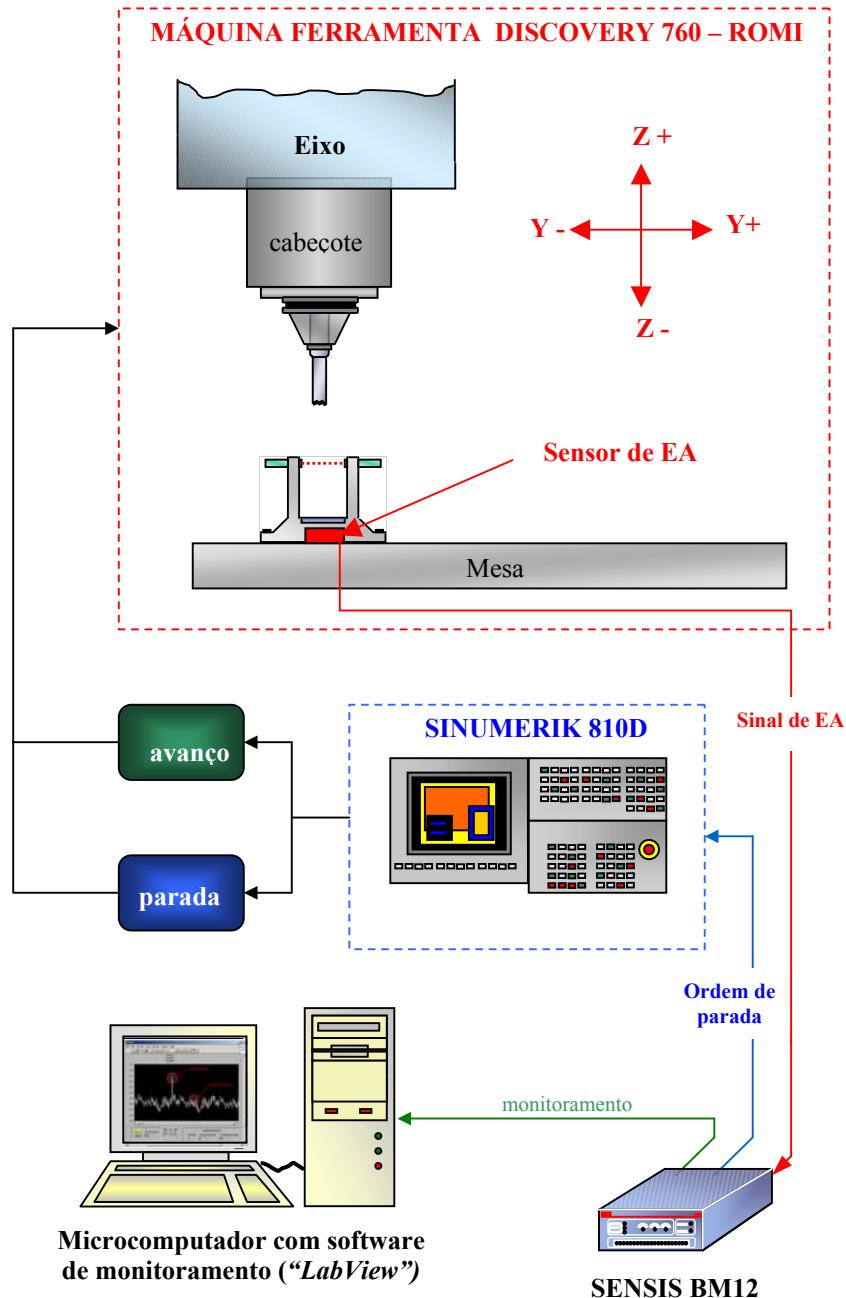


Figura 5 – Montagem experimental do banco de ensaios

Sabe-se que o CNC da máquina ferramenta (SINUMERIK 810D) possui alguns comandos (Ex. *MEAS*) que fazem a intercomunicação entre o software e o hardware da máquina. Através de algumas entradas e saídas físicas é possível, através de um pulso elétrico de 24Vcc habilitar ou desabilitar as mesmas possibilitando a implementação deste tipo de monitoramento para intervir no processo, caso venha a ocorrer o contato da ferramenta ou até mesmo uma colisão. Para fazer esta comunicação entre o sistema de monitoramento será utilizado o equipamento SENSIS BM12 que possui dois canais configuráveis, um para detecção de contato e outro para colisão (Fig.6).

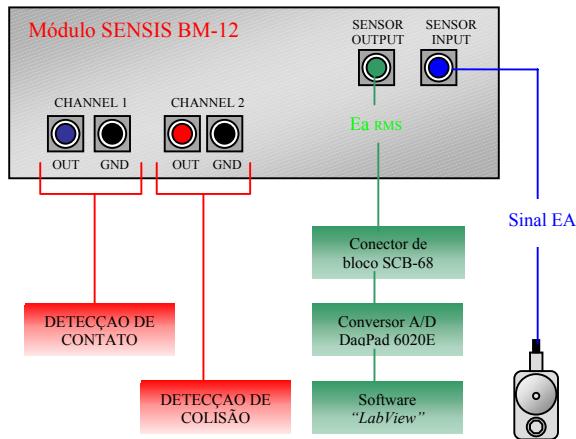


Figura 6 - Canais de saída do SENSIS BM12

Para a detecção de contato da ferramenta, está sendo desenvolvido um dispositivo que melhor se adapte a um centro de usinagem. Sabe-se que existem muitos tipos de sistemas de “*presetting*” automático de ferramentas que estão sendo utilizados por empresas, mas o custo deste tipo de equipamento é muito elevado, impossibilitando a maioria das empresas possuírem este tipo de instrumento.

No entanto, esse tipo de sistema (através de emissão acústica) que está sendo utilizado para o desenvolvimento deste projeto possui um valor de custo relativamente baixo, e com apenas um sensor (EA) é possível ainda monitorar todo o processo, como por exemplo detectar desgastes, quebras de ferramentas, colisões, dentre outras variáveis importantes para a melhoria da qualidade do produto final.

A fase de condicionamento do sinal se faz necessária para evitar que ruídos ou interferências possam ser interpretadas como sinais de pico. A Figura (7) apresenta como o condicionamento promove a eliminação das interferências não desejadas.

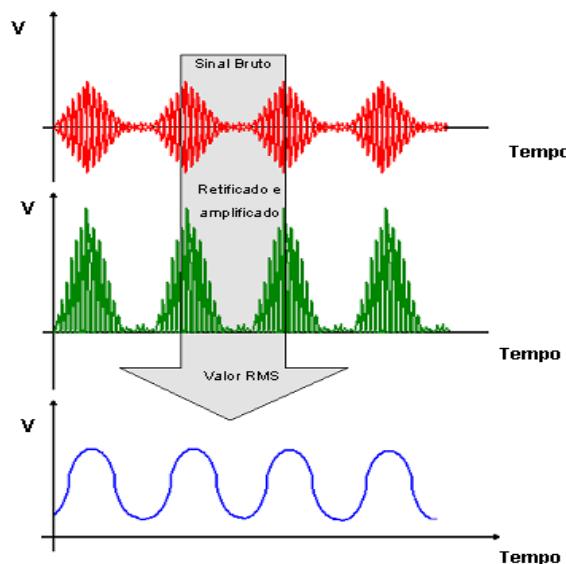


Figura 7 - Sinal bruto, sinal retificado e amplificado e sinal RMS

O sinal RMS é que efetivamente será monitorado durante a movimentação programada da máquina. Quando esse sinal apresentar uma característica de pico durante um intervalo de tempo pré-estabelecido, chega-se ao fim da operação de referência para cada ferramenta.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema proposto ainda está sendo efetivamente implementado. Até o presente momento foi possível caracterizar o comportamento dos sinais de EA durante a movimentação dos eixos da máquina, durante a usinagem de diversos tipos de material e no momento em que se inicia o contato entre ferramenta e peça para a usinagem. A existência de alguns sinais de interferência do processo está sendo eliminada com o uso de recursos de filtragem digital e redes neurais.

A implementação completa do sistema proposto deve passar pela interação entre a máquina e o sistema de monitoramento, o que exige a implementação de uma série de comandos adicionais ao software do CNC.

Com a efetiva implementação desse recurso, espera-se que as atividades de referência de ferramentas em máquinas CNC sejam aceleradas e promovam a redução dos tempos de “set-up”, mesmo para os casos de empresas em que não se utilizam os recursos de “presetting” externo (grande parte das empresas brasileiras). Dessa forma, torna-se possível aumentar a disponibilidade para utilização das máquinas e, consequentemente, a flexibilidade e a produtividade destas.

## 6. REFERÊNCIAS

- Agostinho, O.L., 1988, “Estudo da Flexibilidade dos Sistemas Produtivos”.Tese (Doutorado), EESC-USP, São Carlos.
- Baptista, E.A., 2000, “Desenvolvimento de um Sistema Especialista Para a Otimização de Ajustador e Montador Mecânico”. Dissertação (Mestrado), UNIMEP, Santa Bárbara D’Oeste.
- Byrne et al, 1995, “Tool Condition Monitoring - The Status of Research and Industrial Application”.Annals of CIRP, Vol.44,No.2,p.541-67.
- Coelho et al, 2001. “The Aplication of High Speed Cutting Technology en Brazil – First Results”.Anais do 6º Seminário Internacional de Alta Tecnologia Manufatura Avançada, Vol.1,No.1,p.89-119.
- Correia Filho, A.N., 1988, “Proposta de um Método para Identificação do Ferramental de Grupo de Peças”. Dissertação (Mestrado), UNIMEP, Santa Bárbara D’Oeste.
- Diniz, E.A., 1992, “Monitoramento e Controle Automático do Processo de Usinagem”. Notas de aula, UNICAMP, Campinas.
- Dornfeld, D.A., 1994, “In-Process Recognition of Cutting States”.JSME International Journal,Vol.37, No.4,p.638-50.
- Felipe Junior, J., 1996, “Contribuição para Implementação de Funções de Retificação Inteligentes (RI) Utilizando Técnicas de Monitoramento por Emissão Acústica”.Tese (Doutorado), EESC-USP, São Carlos.
- Hara, C.M., 1999, “Uma Contribuição Para o Monitoramento de Retificação Cilíndrica de Mergulho”. Tese (Doutorado), UNICAMP, Campinas.
- Layne, M.L., 2001, “Detecção e Correção do Desbalanceamento em Suportes de Ferramentas”.Máquinas e Metais, Ano XXXVIII, No.424, maio.Aranda Editora
- Malaquias, J.C., 1999, “otimização d eGerenciamento em Usinagem para Centro de fabricação Flexível”.Dissertação (Mestrado), UNIMEP, Santa Bárbara D’Oeste.
- Mason, F., 2001, “ Bases de Máquinas de Polímeros Fundidos”.Máquinas e Metais, Ano XXXVIII, No.423, abril. Aranda Editora.
- Metternich, J., Würsching, B., 2001, “Conceitos de Plataformas na Construção de Máquinas-Ferramenta”. Máquinas e Metais, Ano XXXVIII, No.431,dezembro.Aranda Editora

- Schleinkofer, U. et al., 2002, "Como Deixar as Ferramentas em Forma para HSC e HPC". Máquinas e Metais, Ano XXXVIII, No434, março.Aranda Editora.
- Simon, A.T., 2001, "Condições de Utilização de Tecnologia CNC: Um Estudo para Máquinas ferramentas de uSinagem na Indústria Brasileira". Dissertação (Mestrado), Unicamp, Campinas.
- Simon, A.T., 2001, "A Exposição Mundial de Tecnologias Inovadoras de Manufatura". Ma'quinas e Metais, Ano XXXVIII, No.430, novembro.Aranda Editora.
- Sobrinho, O., 1999, "Avaliação Experimental de Sensor de Proximidade para Monitoramento de Ferramentas no Fresamento de Ranhuras de Grande Profundidade". Dissertação (Mestrado), EESC-USP, São Carlos.
- Souza, A.J., 1999, "Desenvolvimento e Implementação de Funções de Automação Inteligentes num Torno CNC Utilizando Técnicas de Monitoramento por Emissão Acústica". Dissertação (Mestrado), EESC-USP, São Carlos.

## **SET-UP OPTIMIZATION ON CNC MACHINE TOOLS WITH MONITORING SYSTEMS**

**Milton Vieira Junior**

Methodist University of Piracicaba – Email: [mvieira@unimep.br](mailto:mvieira@unimep.br)

**Ivan Correr**

Methodist University of Piracicaba – Email: [icorrer@unimep.br](mailto:icorrer@unimep.br)

**Carlos Eduardo Carraro**

Methodist University of Piracicaba – Email: [cecarrar@unimep.br](mailto:cecarrar@unimep.br)

Rod. Santa Bárbara – Iracemápolis, Km 01. Santa Bárbara d'Oeste – SP. CEP: 13450-310 Fone: (019) 31241769 Fax: (019) 34551361

**Abstract.** *In order to reduce the time of set-up on CNC machine tools and to increase its availability, flexibility and productivity, the use of a monitoring system by means of the acoustic emission is proposed, aiming to identify the moment of contact between the tools and a device installed on the machine tool. The identification of the contact allows a quick and precise set-up, using automatic programs and automatic storage of presetting data. This resource makes possible the time reduction of an operation that is usually made in a manual way by the most of the users of CNC machine tools.*

**Keywords:** *Reduction of set-up, Process Automation, Process Monitoring.*