

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DE USINAGEM: UMA ABORDAGEM PARA SISTEMAS DE FABRICAÇÃO FLEXÍVEL QUE FOI IMPLEMENTADA EM UM SISTEMA BASEADO NA WEB

Elesandro Antonio Baptista

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba. Rodovia Santa Bárbara d'Oeste – Iracemápolis, km 1– Santa Bárbara d'Oeste – SP. 13450-000. Fone (19) 31241805 – Fax (19) 3455 1361. e-mail: elesandroab@elesandroab.eng.br

Nivaldo Lemos Coppini

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba. Rodovia Santa Bárbara d'Oeste – Iracemápolis, km 1– Santa Bárbara d'Oeste – SP. 13450-000. Fone (19) 31241767 – Fax (19) 3455 1361. e-mail: ncoppini@unimep.br

Resumo. *A otimização de processos de usinagem tem recebido diversas contribuições nos últimos anos, sempre com a aplicação de procedimentos e tecnologias que resultem na redução dos tempos e dos custos de fabricação. Contudo, muitas abordagens se referem a aplicações em fabricação seriada, restando para a fabricação flexível estudos relativos a técnicas de redução de filas, setup rápido, balanceamento de célula etc. Um dos grandes problemas existentes no cenário de fabricação flexível se refere ao uso adequado da aresta de corte da ferramenta. Em muitos casos, a aresta de corte que foi utilizada na usinagem de um determinado lote de peças é substituído, mesmo que ainda não tenha atingido seu fim de vida. Para o próximo lote de peças é utilizada uma nova aresta de corte, geralmente após novo setup específico para a nova peça. Isso resulta em aproveitamento parcial das ferramentas de usinagem que constituem uma parcela importante do custo de fabricação. O presente trabalho objetiva apresentar um procedimento que possibilita estimar o número de arestas a serem consumidas na usinagem de diferentes lotes de peças, utilizando-se uma mesma ferramenta para diversas peças com geometria e materiais diferentes entre si. A metodologia foi implementada em um sistema baseado na Web, desenvolvido especialmente para auxiliar a otimização de processos de usinagem. As simulações realizadas durante a validação do sistema são apresentadas no decorrer do trabalho e ilustram de forma clara a aplicação do procedimento de otimização para sistemas de fabricação flexíveis.*

Palavras-chave: usinagem, otimização, fabricação flexível.

1. INTRODUÇÃO

A otimização do processo de usinagem é um tema que merece destaque, visto que seus resultados, que se expressam principalmente pela redução de custos ou de aumento da produtividade, podem representar diferencial competitivo importante em um mundo globalizado.

Será possível observar, na seqüência deste trabalho, que muitos esforços de pesquisa têm sido realizado neste assunto, contudo, ainda existe uma lacuna no que se refere à otimização de processos de usinagem que são realizados em fabricação flexível.

Normalmente, são utilizadas técnicas gerenciais para a redução do tempo de fila, redução de setup, entre outros, deixando a otimização dos parâmetros de corte em segundo plano⁽¹⁾.

Este trabalho apresenta uma metodologia que foi implementada em um sistema, desenvolvido exclusivamente com o intuito de auxiliar a complexa tarefa de otimização do processo de usinagem, o qual foi denominado *Machining Optimizer System* – MOS (ver <http://www.elesandroab.eng.br>), que permite estimar com razoável aproximação o número de arestas a serem consumidas na fabricação de pequenos lotes de peças de materiais e com geometrias diferentes. Trata-se de uma preocupação importante devido ao fato de, na grande maioria dos casos, o operador inicia a fabricação de cada lote de peças com uma nova aresta de corte, independente da condição daquela que está em uso. Este procedimento resulta em prejuízos financeiros e, por isso, merece ser estudado mais aprofundadamente⁽²⁾.

Para isto é apresentado uma análise da bibliografia que relaciona o resultado de alguns trabalhos sobre otimização de usinagem. Esta, permitiu embasar as metodologias de otimização utilizadas no desenvolvimento do MOS. Na seqüência é apresentada a metodologia experimental utilizada na validação do sistema, descrevendo detalhadamente a elaboração da família de peças que foram utilizadas nos ensaios. Finalmente, são descritos os resultados e conclusões do trabalho.

As conclusões permitem afirmar que a metodologia de otimização para fabricação flexível foi implementada com sucesso no sistema e passa a ser mais uma ferramenta para auxiliar na tarefa de introdução de melhorias das condições de usinagem em ambiente fabril.

2. ABORDAGENS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE USINAGEM

Aqui serão discutidos as abordagens de otimização estudadas, dando destaque para aquelas utilizadas no desenvolvimento do sistema MOS.

2.1. Revisão da Literatura

A partir dos experimentos realizados por Taylor em 1900, a otimização do processo de usinagem tem sido cada vez mais estudada, sempre objetivando a redução de custos ou aumento de produtividade.

A importância sobre o tema se reflete, sobretudo pela densidade de trabalhos publicados. Em 2004 Baptista⁽²⁾ realizou uma revisão bibliográfica sobre o assunto com o intuito de demonstrar o ineditismo de seu tema de Doutorado. Foram levantados praticamente 6 dezenas de artigos publicados entre os anos de 1989 e 2004 em veículos de difusão do conhecimento internacionais.

Em 2004 Mukherjee⁽³⁾ elaborou um trabalho com o intuito de identificar as diferentes abordagens utilizadas em otimização de usinagem, cujo resultado está descrito na Tabela 1.

Em todos os casos foi possível perceber a preocupação em se testar novas técnicas, desde simples tratamento matemático até a utilização de conceitos avançados de inteligência artificial, e de verificar sua aplicabilidade em ambiente controlado de laboratório. Também foi verificada a utilização dos dados e parâmetros obtidos em catálogos. Nenhuma referência foi feita sobre a aplicação das abordagens encontradas em ambiente fabril ou sobre a utilização de dados obtidos especificamente para o sistema máquina-ferramenta-peça. Este fato, provavelmente se deve à ausência de interesse, dos práticos de usinagem, em divulgarem suas experiências no desenvolvimento de processos quando realizam testes das condições de corte planejadas em ambiente fabril.

Dentre todos os trabalhos pesquisados apenas um, qual seja o trabalho de Kuljanic e Cukor⁽⁴⁾, se refere ao emprego de uma versão expandida da equação de vida de Taylor, contudo, para a obtenção de todos os dados necessários para a definição da referida equação são necessários diversos testes, os quais foram realizados em laboratório.

Durante a revisão da literatura, apenas os trabalhos publicados pela equipe dos autores deste trabalho, os quais serão discutidos mais adiante, se preocupam com a obtenção de dados em ambiente fabril para a realização da otimização de processos de usinagem.

Tabela 1. Diferentes abordagens utilizadas na otimização de usinagem⁽³⁾

Abordagem utilizada	Área de aplicação	Numero de operações/estágio(s)	Destaque
Regressão Estatística	(i) Torneamento (Hassan & Suliman, 1990)	(i) Uma	(i) Nenhuma
	(ii) Torneamento (Feng. & Wang, 2002)	(i) Uma	(ii) Projeto de experimentos
Redes Neurais	(i) Retificação (sathyanarayanan <i>et al</i> , 2002)	(i) Uma	(i) Técnica estatística
	(ii) Corte a jato d'água (Petri <i>et al</i> , 1998)	(ii) Uma	(ii) Nenhum
	(iii) Afiação (Feng <i>et al</i> , 2002)	(iii) Uma	(iii) Testet t & teste F
Lógica Fuzzy	(i) Fresamento de topo (Ip, 1998)	(i) Uma	(i) Nenhum
	(ii) Fresamento (Al-Wedyan <i>et al</i> , 2001)	(ii) Uma	(ii) Análise da superfície
Método Taguchi	(i) Torneamento (Youssef <i>et al</i> , 1994)	(i) Uma	(i) Projeto fatorial
	(ii) Fresamento (Lin, 2002)	(ii) Uma	(ii) Nenhum
	(iii) Retificação (Shaji & Radhakrisnan, 2003)	(iii) Uma	(iii) Nenhum
<i>Response surface design methodology</i>	(i) Torneamento (Taramen, 1974)	(i) Uma	(i) Técnica Estatística
	(ii) Torneamento (Lee <i>et al</i> , 1996)	(ii) Uma	(ii) Modelo de simulação
	(i) Usinagem em vários estágios (Sekhon, 1982)	(i) Quatro	(i) Lagrange
Algoritmo interativo matemático de busca	(ii) Torneamento multi-passe (Tan & Creese, 1995)	(ii) 3 Máx.	(ii) Programação linear sequencial
	(iii) Torneamento (Prasad <i>et al</i> , 1997)	(iii) Uma	(iii) Programação Geometrica e linear
Algoritmo Genético	(i) Fresamento CNC (Liu & Wang, 1999)	(i) Uma	(i) Nenhum
	(ii) Torneamento multi-passe (Onwubolu & Kumalo, 2001)	(ii) Duas	(ii) Lógica Fuzzy
<i>Simulated annealing</i>	(i) Torneamento multi-passe NC(Chen & Tsai, 1996)	(i) Duas	(i) Reconhecimento de padrões de Hook-Jeeves
	(ii) Torneamento CNC(Chen & Su, 1998)	(ii) Quatro	(ii) Nenhum
	(iii) Fresamento HSC (Juan <i>et al</i> , 2003)	(iii) Uma	(iii) Nenhum
<i>Tabu search</i>	(i) Furação (Kolahan & Liang, 1996)	(i) Uma	(i) Nenhum

2.2. Metodologia de Otimização

A metodologia utilizada para otimização dos parâmetros de usinagem, consiste na determinação, em ambiente fabril, dos coeficientes x e K da equação de Vida de Taylor, descritos nas Equações 1 e 2⁽⁵⁾. Os autores acreditam que, a única forma confiável de realizar a otimização das condições de usinagem, está vinculada ao conhecimento da vida da aresta de corte. Assim, a usinagem é executada, em ambiente fabril, para um determinado número de peças, com velocidades de corte selecionadas em catálogos. Em seguida a vida da ferramenta e o tempo de corte para cada velocidade de corte são levantados durante a produção, até que o sistema forneça duas equações a duas incógnitas (1 e 2) e permita calcular os valores dos coeficientes acima mencionados, dentro de uma confiança estatística previamente estabelecida.

$$x = \frac{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)}{\log\left(\frac{V_{c2}}{V_{c1}}\right)} \quad (1)$$

$$K = T_1 \cdot V_{c1}^x \quad (2)$$

Onde: x é o coeficiente e o K é a constante da Equação de Vida de Taylor; T é a vida da aresta de corte [min]; V_c é a velocidade de corte [m/min].

O primeiro trabalho publicado pela referida equipe sobre este assunto, se refere a uma análise da confiabilidade de utilização dos valores de x e K , da Equação de vida de Taylor. Neste trabalho foi determinado que, para uma variação de até 20% entre as velocidades de corte utilizadas no ensaio de usinagem, os valores de x e K são confiáveis, bem como serão as condições operacionais que considerem velocidades de corte dentro do intervalo utilizado para determiná-los. Este trabalho foi publicado por Pallerosi e Coppini⁽⁶⁾.

Os parâmetros de corte recomendados pelos catálogos dos fabricantes, apesar de serem determinados a partir de procedimentos normalizados, não permitem que se determine com precisão as velocidades de referência para condição de mínimo custo V_{cmc} , e de máxima produção V_{cmxp} , cujo significado já é consagrado no meio acadêmico e prático. Este fato ocorre porque existem diferenças importantes entre o cenário utilizado pelos fabricantes de ferramentas e a realidade de suas aplicações. Como exemplo, pode-se citar: diferentes sistemas máquina-ferramenta-peça, diferentes considerações sobre os custos envolvidos, etc. As referidas velocidades podem ser calculadas por meio das Equações 3 e 4.

$$V_{cmc} = \left\{ \frac{K \cdot (S_h + S_m)}{60 \cdot (x-1) \cdot \left[K_{ft} + \left(\frac{S_h + S_m}{60} \right) \cdot t_{ft} \right]} \right\}^{\frac{1}{x}} \quad (3)$$

$$V_{cmxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{(x-1) \cdot t_{ft}}} \quad (4)$$

Onde: V_{cmc} é a velocidade de corte de mínimo custo [m/min]; S_h é o custo homem [R\$/hora]; S_m é o custo máquina ferramenta [R\$/hora]; K_{ft} é o custo do ferramental [R\$/aresta de corte]; t_{ft} é o tempo de troca da ferramenta [min]; V_{cmxp} é a velocidade de corte de máxima produção [m/min].

Desde o início dos trabalhos até o presente momento, a referida equipe tem trabalhado na identificação dos diversos cenários produtivos e adaptações na metodologia básica de otimização, de forma que a mesma possa ser empregada com maior precisão em cada cenário. A metodologia apresentada a seguir é uma das adaptações obtidas.

2.3. A Metodologia de Otimização para Ambientes Flexíveis

Em cenários altamente flexíveis o tempo de troca da aresta de corte, ao final de sua vida, tende a valores muito pequenos, podendo até ser igual a 0 quando a troca é realizada no próprio magazine da máquina. Para essas situações, foi definida a Velocidade de Corte de Mínimo Custo Limite – V_{cmcLim} , a qual pode ser obtida por meio da Equação 5^(7, 8).

$$V_{cmcLim} = \left\{ \frac{K \cdot (S_h + S_m)}{60 \cdot (x-1) \cdot K_{ft}} \right\}^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

Considerada esta velocidade de corte, a metodologia aqui proposta prevê a sua utilização para o cálculo do número de arestas a serem consumidas na usinagem de lotes de peças diferentes, que utilizem ou não o mesmo material, utilizando-se um único setup. Assim, peças diferentes terão vidas diferentes. A metodologia prevê entregar ao operador, juntamente com os lotes de peças que serão usinados em uma jornada de trabalho (por exemplo, 8 horas), uma determinada quantidade de arestas de corte suficiente para a usinagem de todas as peças dos diversos lotes programados. A troca de cada aresta de corte deverá ser providenciada após ser atingida a vida calculada e prevista da mesma. Desta forma, estará garantido que “todas” as arestas de corte foram utilizadas adequadamente sem desperdício. Caso o operador venha a solicitar um número maior de arestas de corte para realizar a usinagem completa dos lotes, alguma coisa está errada e deverá servir de alerta, visando análise e introdução de providências que corrijam tais erros.

O procedimento de otimização consiste em:

- identificar os lotes de peças, com suas respectivas quantidades, que serão usinados;
- selecionar a melhor ferramenta para operações correspondentes optando por aquela que melhor atenda ao maior número de peças diferentes (assim, algumas peças serão fáceis de usar, enquanto que outras serão ou mais fáceis ou mais difíceis que as primeiras);
- calcular a V_{cmcLim} utilizando dados reais obtidos anteriormente quando do desenvolvimento do processo que resultará em boa precisão no cálculo do número de arestas de corte necessárias para cortar os lotes de peças. Caso o processo não tenha sido desenvolvido em planta fabril, podem ser utilizados coeficientes de vida retirados de catálogos, porém, os resultados deverão ser utilizados com maior cautela perante o responsável pela usinagem dos lotes;
- calcular o número de peças usinadas por aresta, por meio da Equação 6;
- calcular o número de arestas necessárias para a usinagem, por meio da Equação 7;
- especificar o número de arestas para o operador.

$$Z_{ti} = \frac{K_i}{t_{ci} \cdot (V_{cmcLimi})^{x_i}} \quad (6)$$

$$n_t = \sum_{i=1}^{nl} \left(\frac{Z_i}{Z_{ti}} \right) \quad (7)$$

Onde: Z_{ti} é o número de peças usinadas por aresta, para o lote i ; K_i é a constante da Equação de Taylor, da peça do lote i ; x_i é o coeficiente da Equação de Taylor, da peça do lote i ; $V_{cmcLimi}$ é a velocidade de corte de mínimo custo limite para o lote i ; n_t é o número total de arestas necessárias para realizar uma determinada operação nos lotes programados; Z_i é o número de peças do lote i ; n_l é o número total de lotes programados.

3. VALIDAÇÃO DO SISTEMA: PROCEDIMENTO

A validação do MOS foi feita por meio de comparação dos resultados obtidos pelo seu uso, com cálculos previamente realizados com auxílio de planilhas eletrônicas. Os dados das peças 1 a 5 foram obtidas em ensaios de laboratório, já as peças 6 e 7 tiveram seus dados obtidos a partir de dados do fabricante da ferramenta. Importante destacar que se trata da validação do sistema e, portanto, a origem dos dados não comprometem a função final do MOS, qual seja, a de auxiliar a otimização de processos de usinagem em ambiente fabril.

A seguir é descrito o procedimento de validação:

1. definição a família de peças: foi adotado peças com o formato de um pino, cujos diâmetros, comprimentos e materiais foram alterados de acordo com a indicação da Figura 1 e Tabela 2. A Tabela 2 considera que a usinagem foi realizada com profundidade de usinagem igual a 1 mm, portanto inicia-se com o diâmetro D2 encerra-se com o diâmetro D1, o que resulta no número de passes especificados;

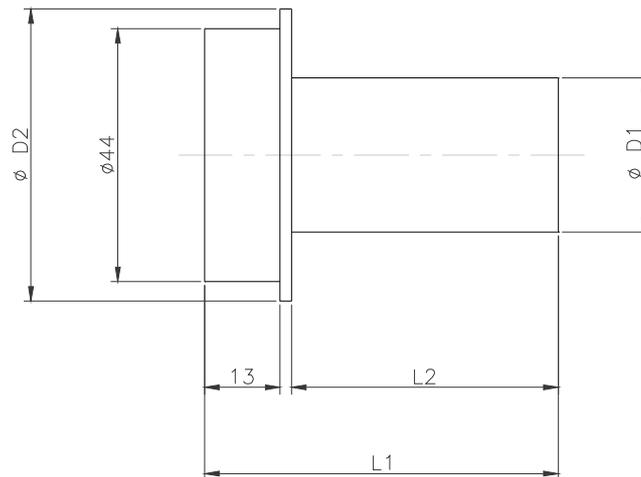


Figura 1. Dimensões das peças utilizadas na validação.

- a partir dos dados descritos na Tabela 2 foram calculadas informações tecnológicas de cada peça, como comprimento efetivo de corte total e a vida da aresta de corte para cada uma das velocidades indicadas, conforme descrito na Tabela 3. Importante destacar que a primeira velocidade de corte foi selecionada com base no catálogo do fabricante.

Tabela 2. Informações dos corpos de prova utilizados.

Peça	Material	D1 (mm)	D2 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	Número de passes ($a_p=1$ mm)
01	SAE 4340	26,8	50,8	61	46	12
02	SAE 4340	30,8	50,8	75	60	10
03	SAE 4340	36,8	50,8	100	85	7
04	SAE 4340	26,8	50,8	165	150	12
05	SAE 4340	36,8	44,0	45	30	4
06	ASTM A353	28,8	50,8	85	70	11
07	SAE 1045	32,8	50,8	80	65	9

Tabela 3. Informações tecnológicas dos corpos de prova utilizados.

Peça	Percorso de avanço l_f (mm)	Vida T (min) ($V_c = 175$ m/min)	t_c (min) ($V_c = 175$ m/min)	Vida T (min) ($V_c = 210$ m/min)	t_c (min) ($V_c = 210$ m/min)	x	K
01	552	24,0	1,50	11,25	1,25	4,16	5,02E+10
02	600	24,0	1,71	11,25	1,43	4,16	5,02E+10
03	595	24,0	1,83	11,25	1,52	4,16	5,02E+10
04	1800	24,0	4,88	11,25	4,07	4,16	5,02E+10
05	120	24,0	0,34	11,25	0,29	4,16	5,02E+10
06	770	53,13	2,14	24,71	1,79	4,20	1,40E+10
07	585	334,0	1,71	155,3	1,43	4,20	8,80E+11

- foi simulada uma quantidade de cada peça que fará parte de cada lote, conforme descrito na Tabela 4. Todos os lotes de peças programados para serem fabricados em um período foram agrupadas dentro de uma Programação Diária (PD). As PD-01, PD-02 e PD-03 foram elaboradas com o intuito de verificar se o sistema seria capaz de identificar se as peças eram iguais ou pertenciam a mesma família. Trata-se de situações que, ao serem identificadas, resultam na aplicação da metodologia tradicional de otimização, que não se caracteriza como fabricação flexível e não é descrita em detalhes neste trabalho. A PD-04 considerou a utilização de lotes compostos por peças de materiais diferentes.

Tabela 4. Lotes sugeridos para a realização da simulação.

Código da Programação Diária	Lotes (código da peça)	Quantidade de peças em cada lote
PD-01	Lote-01 (01)	200
	Lote-02 (01)	200
	Lote-03 (01)	200
	Lote-04 (01)	200
	Lote-05 (01)	200
PD-02	Lote-01 (01)	200
	Lote-01 (02)	200
	Lote-01 (03)	200
	Lote-01 (04)	200
	Lote-01 (05)	200
PD-03	Lote-01 (01)	100
	Lote-01 (02)	300
	Lote-01 (03)	500
	Lote-01 (04)	700
	Lote-01 (05)	900
PD-04	Lote-01 (01)	4
	Lote-01 (06)	2
	Lote-01 (07)	15
	Lote-01 (01)	8
	Lote-01 (06)	12

4. calculou-se o número de peças usinadas por vida e o número de arestas necessárias, ver Tabela 5. Sempre que o número de arestas necessárias ultrapassar 1 deve ser adicionado uma aresta ao total previsto, lembrando que, ao operador, deve-se fornecer um número inteiro de arestas de corte com arredondamento deste número sempre para maior, ver Tabela 5. Assim, apesar da terceira aresta de corte não ter sido utilizada completamente para os lotes programados, ela deve ser considerada.

Tabela 5. Resultado do Lote - 04.

Peça	V_{enclim} (m/min)	Vida T (min)	N_{zt}	Z_L	n_a	Σn_a	Troca
01	179	21,81	14,94	4	0,27	0,27	
06	216	21,95	12,61	2	0,16	0,43	
07	334	22,12	24,58	15	0,61	1,04	1
01	179	21,81	14,94	8	0,54	0,54	
06	216	21,95	12,61	6	0,48	1,02	1
06	216	21,95	12,61	6	0,48	0,48	
Total de arestas de corte previstas							3

Obs.: N_{zt} é o número de peças que poderiam ser usinadas para a vida T ; Z_L é a quantidade de peças usinadas; n_a é a fração de vida da aresta de corte consumida na usinagem das peças do lote Z_L .

Todas as informações descritas no procedimento acima foram inseridas no sistema MOS. Os resultados são apresentados a seguir.

4. RESULTADOS OBTIDOS COM APLICAÇÃO DO MOS

Para PD-01, PD-02 e PD-03 (ver Tabela 4), o MOS identificou corretamente os cenários e iniciou a otimização das peças como sendo um único tipo de peça. Para uma situação como esta, obrigatoriamente deve-se utilizar o tempo como unidade para vida da ferramenta, visto que os

diferentes comprimentos de usinagem de cada peça não permitem que a vida seja considerada em número de peças.

Por outro lado, no caso da PD-04, o MOS identificou como sendo uma situação típica de fabricação flexível e realizou o cálculo do número de arestas de corte necessário para a usinagem de todas as peças. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultado da otimização da PD-04 pelo sistema MOS.

Número de Arestas	Peças	Quantidade de peças usinadas por aresta
1	VTF_P_1	4
	VTF_P_6	2
	VTF_P_7	15
2	VTF_P_1	8
	VTF_P_6	6
3	VTF_P_6	6

Ou seja, serão necessárias 3 arestas para a usinagem dos lotes programados, mostrando que os resultados calculados pelo MOS coincidem com os calculados através da planilha eletrônica.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho permite concluir que:

- a metodologia proposta é para aplicações em ambiente fabril e visa orientar o responsável quanto aos momentos de troca de aresta após a sua completa utilização e, mostrou-se funcional na validação da mesma;
- a confiabilidade dos resultados obtidos pela aplicação da metodologia, entretanto, depende da origem dos valores dos coeficientes da equação de vida de Taylor. A situação mais confiável é aquela em que estes coeficientes tenham sido determinados em ambiente fabril;
- esta metodologia foi implementada com sucesso no MOS que encontra-se disponível para otimização de processos de usinagem, representando uma ferramenta adequada para tal fim.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Fábrica do Milênio e a Sandvik do Brasil S/A e a Unimep.

7. REFERÊNCIAS

1. COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Alternativas de otimização dos parâmetros de corte para cenários de fabricação em usinagem. In.: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18, Niterói, **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998.
2. BAPTISTA, E. A. **Desenvolvimento de um sistema especialista para a otimização do processo de usinagem baseado na WEB.** Santa Bárbara d'Oeste: FEU, UNIMEP, 2004. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, 2004.
3. MUKHERJEE, I.; RAY, P. K. *A review of optimization techniques in metal cutting processes.* **Computers & Industrial Engineering**, n. 50, p. 15 – 34, 2006.
4. KULJANIC, E.; CUKOR, G. *Machinability testing and optimization of machining processes.* In: *International scientific conference on production engineering 7th.*, 2001, Lumbarda. **Annals...** Lumbarda: Zagreb, 2001. p. I 095 – I 104.

5. DINIZ, A. E., COPPINI, N. L., VILELLA, R. C., RODRIGUES, A. C. S. Otimização das condições de usinagem em células. **Máquinas e Metais**, São Paulo, n.281, p. 48-54, jun. 1989.
6. PALLEROSI, C. A., CUPINI, N. L. Durabilidade de ferramentas de corte na usinagem dos metais. **Metalurgia**, São Paulo, n.215, p. 645-649, out. 1975.
7. COPPINI, N. L.; MALAQUIAS, J. C. Gerenciamento em usinagem – proposta para cenário de fabricação flexível. In.: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18, Niterói, **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 1998.
8. MALAQUIAS, J. C. **Otimização e gerenciamento em usinagem para cenário de fabricação flexível**. Santa Bárbara d'Oeste: FEMP, UNIMEP, 1999. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999, 115p.

CUTTING PROCESS OPTIMIZATION: AN APPROACH FOR FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM IMPLEMENTED IN A WEB BASED SYSTEM

Elesandro Antonio Baptista

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba. Rodovia Santa Bárbara d'Oeste – Iracemapolis, Km 1– Santa Bárbara d'Oeste – SP. 13450-000. Fone (19) 31241805 – Fax (19) 3455 1361. e-mail: elesandroab@elesandroab.eng.br

Nivaldo Lemos Coppini

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba. Rodovia Santa Bárbara d'Oeste – Iracemapolis, Km 1– Santa Bárbara d'Oeste – SP. 13450-000. Fone (19) 31241767 – Fax (19) 3455 1361. e-mail: ncoppini@unimep.br

Abstract. *Cutting process optimization is nowadays the focus of several researchers. Always they are looking for how to reduce the manufacturing time. Mainly they are searching contributions to mass production. On the other hand, for flexible manufacturing, the studies are related to queue time reduction, quick setup, cell balance, but in general, no attention is given to optimize the cutting process. The main problem is related with how to use the entire tools cutting edge life. The purpose of this paper is to present a methodology to aid users how to specify the number of tool cutting edges enough to cut batches of different kind of work pieces. MOS – Machining Optimizer System, (see <http://www.elesandroab.eng.br>), allows to use this methodology friendly. The validation of the MOS is showed step by step. MOS means another tool to help users to optimize cutting process also in flexible manufacturing systems.*

Keywords. *Cutting process, optimization, flexible manufacture.*