



## 15° Congresso de Iniciação Científica

### OBTENÇÃO DE DADOS DE USINAGEM VISANDO A OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE USINAGEM EM CENÁRIO DE FABRICAÇÃO FLEXÍVEL

#### Autor(es)

---

JOÃO LUÍS FAVARI

#### Orientador(es)

---

Milton Vieira Júnior, Nivaldo Lemos Coppini

#### Apoio Financeiro

---

PIBIC

#### 1. Introdução

---

A otimização de processos de usinagem pode resultar em redução do tempo produtivo ou do aumento de produtividade. A principal dificuldade no que tange a aplicação de técnicas de otimização em ambiente fabril está relacionada com algumas dificuldades de execução dos procedimentos da metodologia de otimização. Assim, se faz necessário o desenvolvimento de novas abordagens e adaptações relacionadas à obtenção de dados confiáveis. O presente projeto destina-se a obter dados reais das condições de usinagem de alguns materiais, com o uso de uma ferramenta, a partir de experimentos práticos realizados em laboratório, e por isso, torna-se uma etapa importante que antecede a sua aplicação em ambiente fabril. No relatório foram abordados os conceitos sobre torneamento, forças e potências de corte no torneamento, ferramenta de corte, velocidade de corte, equação da Taylor, aspectos econômicos de usinagem, desgastes sofridos pela ferramenta e vida da ferramenta. O relatório relata o experimento de dois materiais utilizando duas velocidades distintas para medição do tempo de vida da ferramenta baseado no desgaste VB previamente adotado. O outro material utilizado foi estudado a partir da bibliografia e este teve o critério de fim de vida adotado com o auxílio do catálogo do fabricante da ferramenta. Também, a velocidade de corte de mínimo custo limite foi calculada. Por fim, estimou-se a vida útil da ferramenta levando em consideração a sua flexibilidade em trabalhar com materiais distintos.

#### 2. Objetivos

---

O projeto destina-se a obter dados reais das condições de usinagem de três materiais distintos, com o uso de uma ferramenta de corte, a partir de experimentos práticos realizados em laboratório, e também, da

bibliografia e do catálogo do fabricante da ferramenta.

### 3. Desenvolvimento

De início, a experiência foi planejada para ser realizada pela máquina de Controle Numérico Computadorizado (CNC) do laboratório de processos da Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), juntamente com o auxílio do técnico do laboratório. Porém, constatou-se que o torno CNC não seria capaz de realizar a usinagem devido aos altos valores das velocidades de corte exigidas para realização do experimento. Assim, os experimentos foram transferidos e realizados na Universidade de Taubaté (UNITAU). Para a definição das peças, levou-se em conta o fato de realizar a usinagem com – pelo menos – dois materiais distintos, pois isto garante uma simulação das diferentes peças utilizadas para a formação dos lotes. No projeto foram considerados três materiais diferentes, dois utilizados propriamente em laboratório e um extraído da bibliografia. Os seguintes materiais foram empregados nos ensaios em laboratório: aço VND e aço inoxidável 304, os quais estavam em forma de cilindros. No ensaio, para cada material, destinaram-se dois corpos de prova (CP). Os parâmetros de corte foram definidos a partir do catálogo do fabricante da ferramenta e estão apresentados na tabela 01 juntamente com as dimensões de cada CP. Juntamente com esta etapa definiu-se o critério de fim de vida da ferramenta, o qual foi o mesmo para a usinagem de todas as peças envolvidas no experimento. Este critério foi adotado como sendo o desgaste VB sofrido pela ferramenta no seu flanco. No caso, foi adotado o desgaste VB = 0,25 mm. O desgaste foi medido a cada passe que a ferramenta realizava. Nestes experimentos, cada passe medido foi considerado como a fabricação de uma peça. A medição do desgaste foi realizada com auxílio de um projeto de perfis e do software AutoCAD®. O experimento realizado explorou velocidades de corte diferentes, medindo a vida da ferramenta baseado ao desgaste VB. Paralelamente foram medidos outros critérios tais como a dureza Brinell (HB) e Vickers (HV) dos materiais ensaiados. Das velocidades de corte retiradas do catálogo da ferramenta, as do aço inoxidável 304 e do aço VND foram diferentes. Para o aço inoxidável 304 utilizou-se somente a  $V_c I = V_c F = 260$  m/min tanto para os CP1 e CP2. Já para o aço VND, utilizaram-se duas velocidades distintas para cada CP. Para o CP3, utilizaram-se  $V_c I = 260$  m/min e  $V_c F = 432$  m/min. Já para o CP4,  $V_c I = 260$  m/min e  $V_c F = 360$  m/min. Os ensaios foram realizados sem fluido de corte, ou seja, cortes a seco. A interrupção do processo de usinagem ocorreu no momento em que foi decretado o fim de vida da primeira aresta da ferramenta. Após a troca desta, deu-se continuidade ao ensaio, para obtenção de um segundo valor de vida da ferramenta, com outra velocidade de corte. O programa da máquina CNC foi alterado realizando-se a substituição da  $V_c I$  para  $V_c F$ . Quanto ao terceiro material, escolheu-se o aço SAE 4340. Para este, utilizou-se o conceito de “extrapolação”, ou seja, após os experimentos este material foi retirado da bibliografia considerando condições de similaridade, em relação às peças dos experimentos práticos, para a determinação de sua geometria, apresentados na tabela 03. Com este conceito, o próximo passo foi consultar o catálogo do fabricante da ferramenta e verificar as velocidades de corte recomendadas para a usinagem do par ferramenta-peça. Para a usinagem do aço SAE 4340, o catálogo recomenda as seguintes velocidades de corte: 395 m/min, 330 m/min e 200 m/min. Para a ferramenta em estudo, a velocidade adotada será a intermediária, ou seja, 330 m/min. O critério de fim de vida da ferramenta, conforme tabela 02, para este caso também foi definido a partir do catálogo e ficou estabelecido como sendo de 15 minutos. Os parâmetros de corte adotados e as dimensões de cada CP estão apresentados na tabela 03.

Ao final, com as informações sobre os materiais e a ferramenta utilizada, definiu-se uma programação de lotes de peças para realização da simulação da quantidade de trocas feitas durante o processo de usinagem. As ferramentas de corte de metal-duro utilizadas nos experimentos práticos foram do fabricante Sandvik Coromant, da classe GC 4025, formato losangular, com inserto: CNMG 12 04 08-PM. Também, determinou-se o coeficiente  $x$  e a constante  $K$  da equação de Taylor para cada par ferramenta-peça, realizando o cálculo do tempo de vida da ferramenta e depois a construção do gráfico para melhor visualização. Em relação aos custos de usinagem, eles foram estimados juntamente com o auxílio da bibliografia e do catálogo do fabricante. O salário máquina, SM, é de R\$ 26,00. O salário homem, SH, é de R\$ 30,00. Já o custo por cada ferramenta,  $K_f$ , é de R\$ 15,00. Por fim, levou-se em conta os custos de usinagem para a determinação da velocidade de corte de mínimo custo limite ( $V_{c\text{mcLim}}$ ), a qual servirá de

referência para a otimização do processo de usinagem.

#### 4. Resultados

Aço Inoxidável 304 (CP1 e CP2) Este material não foi utilizado nos resultados em razão dos valores das medições das durezas HB e HV encontrarem-se duvidáveis, ou seja, a dureza do material a ser usinado supera os limites de velocidade suportados pela ferramenta de corte, como indicado no catálogo do fabricante. Aço VND (CP3 e CP4) Este material foi utilizado nos resultados em razão dos valores das medições das durezas HB e HV estarem coerentes com o catálogo do fabricante da ferramenta - Para o CP3, usinado com  $V_c = 432$  m/min, a vida da ferramenta expressa em número de peças,  $Z_t$ : 11 peças. - Para o CP4, usinado com  $V_c = 360$  m/min, a vida da ferramenta expressa em número de peças,  $Z_t$ : 13 peças. Por conseguinte, foram realizados os cálculos necessários para obtenção do tempo de vida da ferramenta: - o tempo de corte para  $V_c = 432$  m/min = 0,60 min - o tempo de corte para  $V_c = 360$  m/min = 0,73 min - o coeficiente  $x = 2,048$  - a constante  $K = 1,68 \times 10^6$  Portanto, os tempos de vida da ferramenta para as  $V_c = 432$  m/min,  $V_c = 360$  m/min,  $V_c = 260$  m/min, respectivamente:  $T = 6,60, 9,59$  e  $18,67$  min. Por fim, a velocidade de corte de mínimo custo limite foi calculada:  $V_{cmLim} = 273$  m/min Os resultados calculados a partir do material retirado da bibliografia e do conceito de "extrapolação" foram: - Aço SAE 4340 (CP5 e CP6) A vida útil da ferramenta foi calculada a partir do catálogo realizando a multiplicação da velocidade de corte pelo fator de correção indicados: - Para o CP5: Quando  $V_c = 330$  m/min;  $T = 15$  min Quando  $V_c = 395$  m/min;  $T = 5$  min Por conseguinte, foram realizados os cálculos necessários para obtenção do tempo de vida da ferramenta: - o tempo de corte para  $V_c = 330$  m/min = 0,80 min - o tempo de corte para  $V_c = 395$  m/min = 0,67 min - o coeficiente  $x = 6,026$  - a constante  $K = 2,252 \times 10^{16}$  - Para o CP6: Quando  $V_c = 200$  m/min;  $T = 80$  min Por conseguinte, foram realizados os cálculos necessários para obtenção do tempo de vida da ferramenta: - o tempo de corte para  $V_c = 200$  m/min = 1,32 min - o coeficiente  $x = 3,343$  - a constante  $K = 3,94 \times 10^9$  Por fim, a velocidade de corte de mínimo custo limite foi calculada:  $V_{cmLim} = 250$  m/min - Configuração dos lotes de peças Para verificação da otimização de lotes formados por peças diferentes, no caso, os aços VND e SAE 4340, elaborou-se uma planilha para cálculo do número de arestas consumidas, através do número de trocas previstas, conforme demonstra a tabela 09.

Conforme a tabela deve-se iniciar a usinagem das 4 peças, que consumirão 34% da vida da primeira aresta da ferramenta. As 12 peças seguintes consumirão os outros 66% da primeira e mais 36% da segunda aresta. A soma das porcentagens possui valor igual a 136%, indicando assim, a necessidade de troca da aresta. Na seqüência, as 8 peças seguintes consumirão 39%, restando 25% de vida para a segunda aresta. Logo, as 25 peças seguintes consumirão estes 25%, indicando uma troca, e mais 66% de vida da terceira aresta. As 15 peças restantes consumirão os 34% restantes de vida da terceira aresta, indicando uma troca, e mais 100% de vida da quarta última aresta trocada. Portanto, o número total de arestas a serem consumidas na usinagem do lote de 64 peças é igual a 4. Além disso, a usinagem foi finalizada com a quinta aresta da ferramenta, a qual possuía, ainda, 12% de vida restante.

#### 5. Considerações Finais

Apesar do aço inoxidável 304 não ter sido utilizado nos resultados, com os outros dois materiais foi possível à obtenção de valores de tempos de vida da ferramenta satisfatórios, que podem ser informações úteis para otimização no processo de usinagem nos ambientes fabris. E ainda, os valores das velocidades de corte de mínimo custo limites estão localizados dentro do Intervalo de Máxima Eficiência (IME).

Cabe ressaltar também que o desgaste VB pode causar um acabamento superficial de má qualidade ou fora da tolerância. Algumas possíveis soluções para não haver o desgaste VB pode ser a redução da velocidade de corte e a seleção de uma ferramenta com uma classe mais resistente ao desgastes.

#### Referências Bibliográficas

- BAPTISTA, E. A. **Desenvolvimento de um sistema especialista para a otimização do processo de usinagem**. Santa Bárbara d`Oeste: FEMP, UNIMEP, 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 2000.
- COPPINI, N. L; MALAQUIAS, J. C; MARCONDES, F. C. **Otimização em Usinagem – Uma visão gerencial**. In: Congresso de Engenharia Mecânica – Norte Nordeste – UFPB, João Pessoa, out. 1998.
- DINIZ, A. E., COPPINI, N. L., MARCONDES, F. C. **Tecnologia de usinagem dos materiais**. São Paulo: mm editora, 2001.
- DOYLE, L. E. **Processos de fabricação e materiais para engenheiros**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1978, p. 359-366.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1977.
- LUX, S. **Ferramentas polivalentes de alto desempenho**. Revista Máquinas e Metais. n. 482, p. 28, mar. 2006.
- MACHADO, A. R.; SILVA, M. B. **USINAGEM DOS METAIS**. 4. ED. UBERLÂNDIA: LABORATÓRIO DE ENSINO E PESQUISA EM USINAGEM – UFU, 1999, APOSTILA, P. 214.
- MALAQUIAS, J. C. **Otimização e gerenciamento em usinagem para cenário de fabricação flexível**. Santa Bárbara d`Oeste: FEMP, UNIMEP, 2000. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999.
- MARCONDES, F. C. **Alternativas para a maximização da usinagem sob a ótica da análise ou engenharia de valor**. Campinas: FEM, UNICAMP, 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001.
- RECH, J. **Questões relativas à preparação de arestas de corte**. Revista Máquinas e Metais. n. 484, p. 28, maio. 2006.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JONNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002. p. 75.
- SANDVIK COROMANT**. Corokey, seu guia de produtividade: catálogo. 8. ed. São Paulo, 2005.

## Anexos

---

	Aço inoxidável 304		Aço VND	
	CP1	CP2	CP3	CP4
$V_{cI}$ [m/min]	260,00	260,00	260,00	260,00
$V_{cF}$ [m/min]	260,00	260,00	432,00	360,00
$A_p$ [mm]	1,50	1,50	1,50	1,50
$f$ [mm/volta]	0,15	0,25	0,25	0,25
$d$ [mm]	70,00	97,00	97,00	97,00
$l_f$ [mm]	170,00	185,00	212,00	217,00

Tabela 01 – Valores dos parâmetros e geometrias utilizados nos experimentos

	Aço SAE 4340	
	CP5	CP6
$V_{cI}$ [m/min]	300,00	330,00
$V_{cF}$ [m/min]	395,00	200,00
$A_p$ [mm]	1,00	1,00
$f$ [mm/volta]	0,25	0,25
$d$ [mm]	97,00	97,00
$l_f$ [mm]	217,00	217,00

Tabela 02 – Valores dos parâmetros e da geometria de cada CP

Quantidade de peças	Material	x	K	$V_c$ (m/min)	$t_c$ (min)	T (min)	Trocas
4	Aço VND	2,048	$1,648 \times 10^6$	432	0,60	6,60	
12	Aço 4340	6,026	$2,252 \times 10^{16}$	330	0,80	15,00	X
8	Aço VND	2,048	$1,648 \times 10^6$	360	0,73	9,65	
25	Aço 4340	3,343	$3,941 \times 10^9$	395	0,67	5,00	X
15	Aço VND	2,048	$1,648 \times 10^6$	432	0,60	6,60	XX

Tabela 03 - Cálculo do número de arestas consumidas, através do número de trocas previstas