

USINAGEM DE MATERIAIS ENDURECIDOS

Francisco Lima

franciscolima@unifor.br

Maurício Corrêa

maucor@uol.com.br

Resumo

Com o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte, o processo de torneamento de aços endurecidos tem estado cada vez mais em evidência, a ponto de, em alguns casos, substituir o processo de retificação por possibilitar a redução do tempo de produção e do custo de fabricação. Adicionado a isso, é possível se obter peças com elevado acabamento superficial e tolerâncias apertadas; contudo, vale ressaltar que as condições de usinagem empregadas no torneamento de aços endurecidos diferem daquelas utilizadas no torneamento convencional e a máquina-ferramenta empregada deve ter alta rigidez e acuracidade. Este trabalho faz um estudo sobre a integridade superficial de peças endurecidas (58 a 63 HRC) quando usinadas pelo processo de torneamento utilizando insertos de Nitreto Cúbico de Boro (CBN). Foram levantados os principais parâmetros de rugosidade, erros de forma (circularidade) e o nível de tensão residual provocado pelo processo, tanto na superfície das peças quando nas camadas subsuperficiais.

Palavras-chave: *torneamento, nitreto cúbico de boro, integridade superficial, tensão residual.*

Abstract

Turning has merged as a visible alternative to finish machining of hardened steels. It is known the surface finish and residual stresses can affect the resistance of components to failure when subjected to high cycle fatigue loads. This paper presents an experimental study of the influence of turning parameters on surfaces roughness and residual stresses. The results of variations in three process parameters were measured and analyzed. The influence of cutting speed on tool wear is considerable. A CBN tool is used as the cutting tool. The results show that both surface finish and residual stresses are influenced by the cutting speed, feed rate and the nose radius.

Keywords: *turning, machining of hardened steels, residual stresses, integrity surface.*

1 Introdução

O interesse na usinagem de aços endurecidos vem inicialmente das indústrias automotiva, aeroespacial e metalúrgica. Nesses três ramos industriais, ferramentas de Nitreto Cúbico de Boro (CBN) são comumente utilizadas pois reduzem o custo na produção e melhoram a qualidade do produto. Por isso, em muitos casos, o torneamento com esse tipo de ferramenta pode substituir o processo de retificação na operação de acabamento, principalmente na produção seriada de peças de transmissão na indústria automotiva. Segundo MOMPER(2000), o custo por peça produzida pelo processo de torneamento de materiais endurecidos, quando comparado com o processo de retificação, pode ser reduzido em mais de 60%. Adicionado a isso, o investimento menor exigido para um torno, o tempo de usinagem mais curto e a maior flexibilidade favorecem a difusão do processo de torneamento de materiais endurecidos.

Na usinagem de materiais endurecidos, as forças de corte não são necessariamente altas, uma vez que a deformação plástica do cavaco é relativamente pequena e, também, devido à pequena área de contato deste cavaco com a ferramenta. Não

obstante, as forças de corte na usinagem de materiais endurecidos são de 30 a 80% maiores do que aquelas desenvolvidas quando se usina materiais de menor dureza, o que nos obriga a escolher, cuidadosamente, a geometria da ferramenta (ABRÃO & ASPINWALL, 1996).

TÖNSHOFF, WOBKER & BRANDT (1995) afirmam que o desgaste da ferramenta e a integridade superficial das peças usinadas são fortemente influenciados pela utilização ou não de fluidos refrigerantes, uma vez que os mesmos agem no sentido de reduzir a carga térmica na aresta de corte, aumentando, assim, a vida da ferramenta quando comparado com o corte a seco.

Já é bastante conhecido que o acabamento superficial e a tensão residual podem, significativamente, afetar a resistência dos componentes quando estes são submetidos a altos ciclos de fadiga (sob cargas). As trincas geradas por fadiga, em geral, são nucleadas na superfície das peças e, posteriormente, se propagam para o seu interior. Como as trincas se expandem, a resistência da seção é reduzida e, então, a seção poderá não mais resistir à carga aplicada e uma falha poderá ocorrer. Conseqüentemente, o estado de tensão na superfície, onde as trincas são nucleadas, é de fundamental importância. Este estado de tensão é a soma de tensões devido à carga aplicada e à tensão residual gerada durante a usinagem. Se a tensão residual na superfície é trativa e a tensão aplicada, também é trativa, a resistência à fadiga poderá ser reduzida de maneira significativa.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Máquina-ferramenta utilizada

Para a realização deste trabalho foi utilizado um Centro de Torneamento Vertical VSC250 Romi-Emag (Fig. 1) especialmente apropriado à operação desejada.



Figura 1. Centro de Torneamento Vertical Romi-EMAG VSC 250.

2.2 Peça usinada

Neste trabalho foram usinadas engrenagens utilizadas para transmissões automotivas (Fig. 2), fabricadas pela EATON Ltda. — Divisão de Transmissões Médias - Valinhos - SP — para clientes como FORD, GMC, GMB, VW, DINA e IVECO. Estas peças apresentam uma dureza da ordem de 58 a 63 HRC.

2.3 Ferramentas

Para a operação de desbaste foram utilizados insertos de CBN - TNGA 160408S1020 e TNGA 160412S1020 Classe 7020 SANDVIK. Para a operação de acabamento os insertos utilizados foram: CNGA 120408S1020 e CNGA 120412S1020 Classe 7020 SANDVIK. O sistema de fixação da peça adotado foi uma placa auto-centrante, com mordentes e encosto independentes. Para auxiliar a fixação, utilizou-se “gaiolas” de esferas (Fig. 3a).

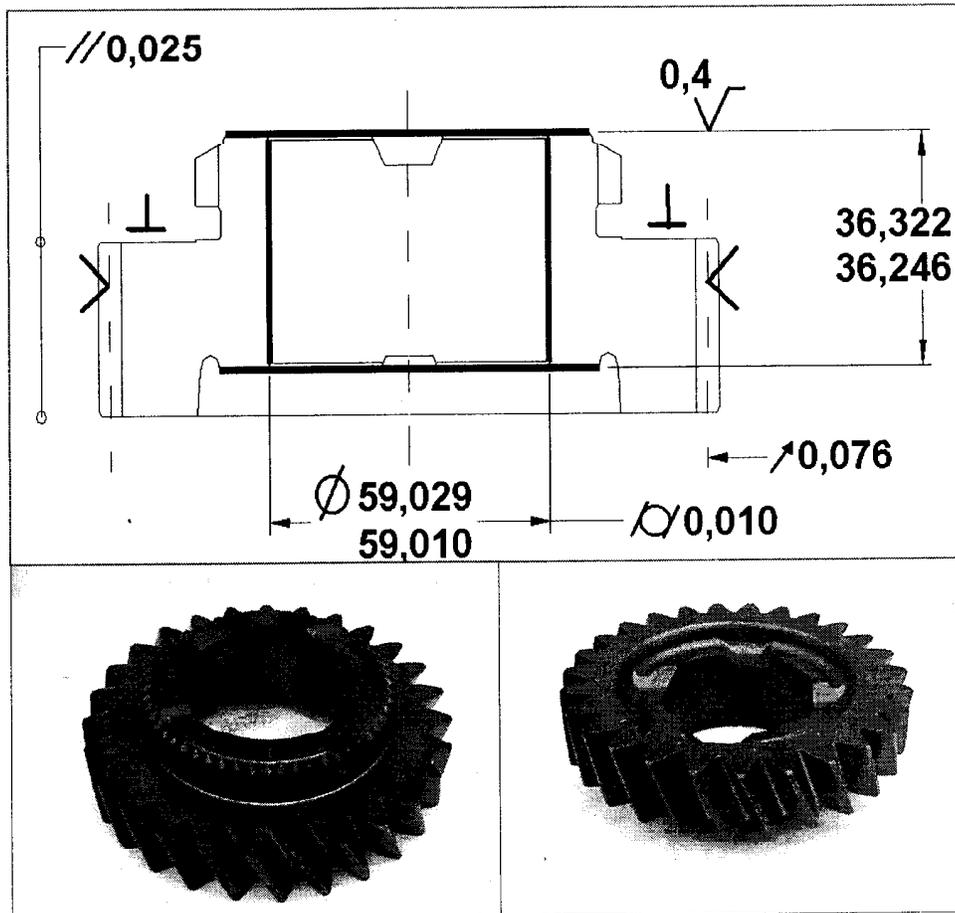


Figura 2. Croqui e vistas superior e inferior da engrenagem.

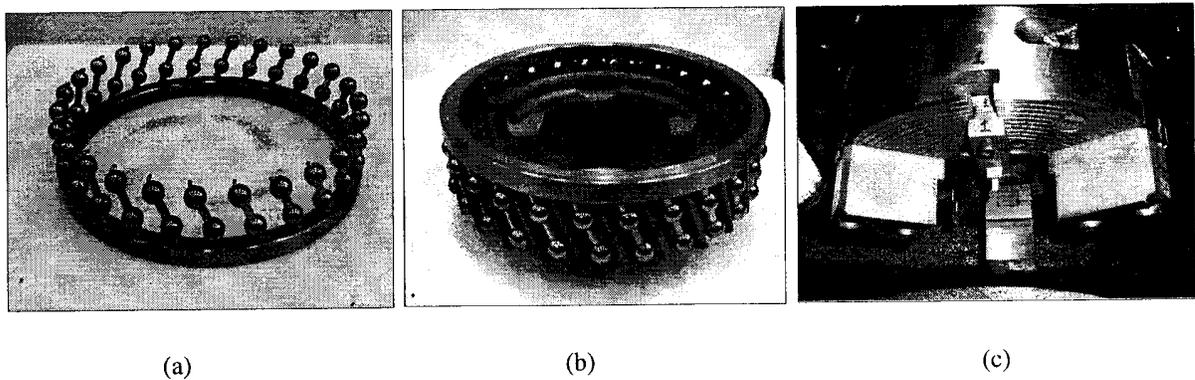


Figura 3. (a) Gaiolas de esferas; (b) Engrenagem envolvida pela gaiola de esferas; (c) Placa com mordente e encosto.

2.4 Condições de usinagem

Para a realização deste trabalho adotou-se quatro condições de usinagem Tab. (1) depois de serem realizados vários pré-testes.

Tabela 1. Condições de usinagem empregadas no torneamento das engrenagens

	OPERAÇÃO	V_c (m/min)	f_n (mm/rot)	a_p (mm)	r_ϵ (mm)
Primeira condição	Desbaste	150	0,16	0,10-0,15	0,8
	Acabamento	165	0,08	0,05	0,8
Segunda condição	Desbaste	165	0,20	0,10-0,15	0,8
	Acabamento	165	0,08	0,05	0,8
Terceira condição	Desbaste	165	0,20	0,10-0,15	1,2
	Acabamento	165	0,08	0,05	0,8
Quarta condição	Desbaste	165	0,20	0,10-0,15	1,2
	Acabamento	200	0,08	0,05	0,8

Para este estudo foram obtidos os valores de rugosidade, circularidade e tensão residual das peças usinadas. A usinagem das peças foi realizada a seco e adotou-se como critério de fim de vida da ferramenta o valor da rugosidade $R_a = 0,4 \mu\text{m}$. Vale ressaltar que esta é uma exigência do projeto.

3 RESULTADOS

3.1 Acabamento

A Figura 4 mostra a variação do parâmetro de rugosidade R_a (μm) para as quatro condições de usinagem descritas na Tab. (1).

3.2 Circularidade

Na Figura 5, por sua vez, é possível perceber a variação do erro de circularidade apresentado pelas peças do lote usinado sob a terceira e quarta condições de corte.

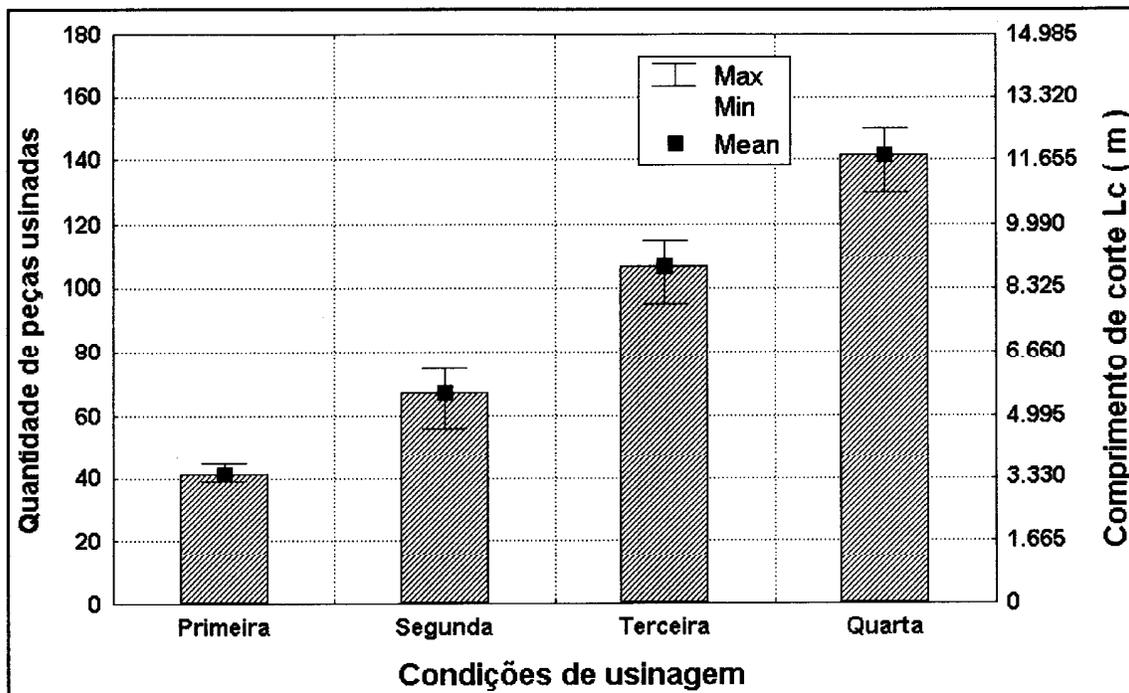


Figura 4. Variação do comprimento de corte para as três condições de usinagem.

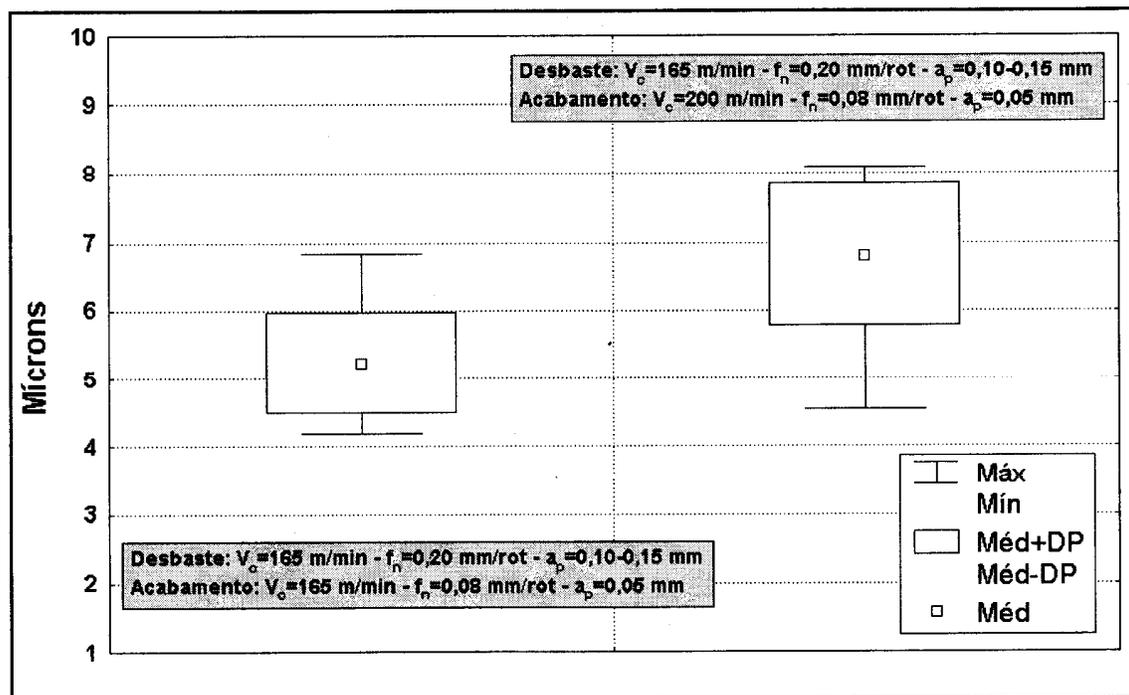


Figura 5. Distribuição do erro de cilíndricidade apresentado pelas peças usinadas sob a terceira e quarta condições de corte.

3.3 Tensão residual

As Figuras 6 e 7 mostram a tensão residual, tanto na superfície quanto em camadas subsuperficiais, gerada nas peças usinadas sob a terceira e quarta condições de usinagem.

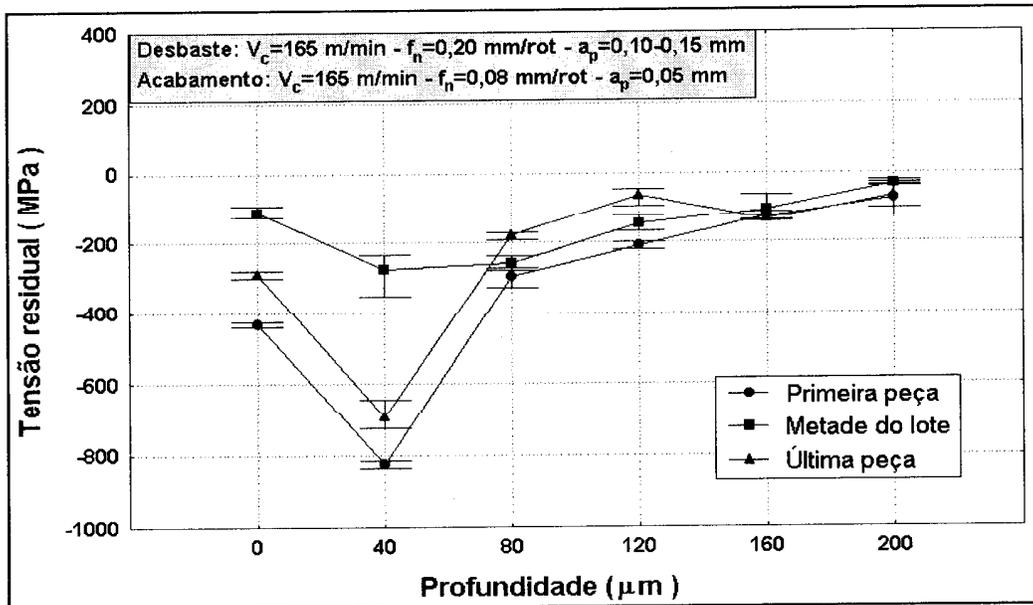


Figura 6. Variação da tensão residual para as peças usinadas sob a terceira condição.

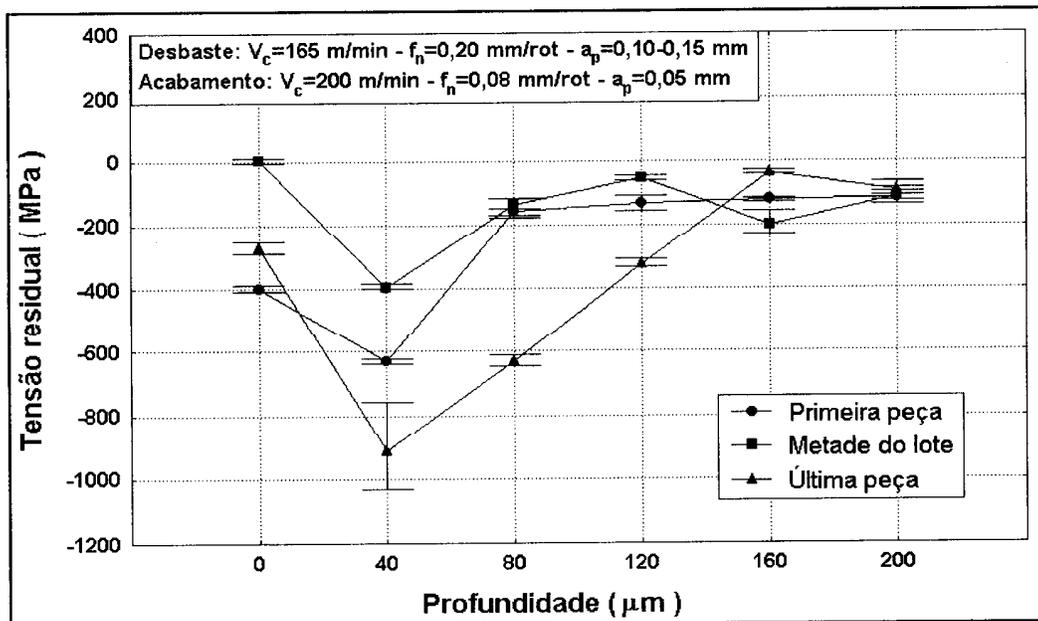


Figura 7. Variação da tensão residual para as peças usinadas sob a quarta condição.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho pode-se constatar que o processo de torneamento de aços endurecidos é perfeitamente capaz de proporcionar um acabamento superficial comparável àquele que se obtém quando se usina com o processo de retificação.

Os parâmetros de usinagem adotados para a operação de desbaste são extremamente importantes para conseguir um melhor acabamento, por muito mais tempo.

O aumento da velocidade de corte, na operação de desbaste, para o mesmo valor adotado na operação de acabamento, possibilita um maior número de peças usinadas com rugosidade R_a inferior a $0,4 \mu\text{m}$.

A operação de desbaste utilizando pastilhas com raio de ponta de $1,2 \text{ mm}$ e a mesma velocidade de corte adotada na operação de acabamento mostrou ser a condição capaz de proporcionar uma maior quantidade de peças com melhor acabamento.

A circularidade das peças usinadas pelo processo de torneamento mostrou valores equivalentes àqueles conseguidos pelo processo de retificação.

Na superfície da peça usinada é gerada tensão residual de tração que se contrapõe à tensão de tração.

Nas camadas subsuperficiais, menos sujeitas ao efeito da carga térmica, predomina a tensão de compressão.

O aumento da velocidade de corte aumenta a espessura da camada sujeita à tensão residual gerada pelo processo.

As características da máquina-ferramenta e o sistema de fixação da peça são extremamente importantes para que se consiga obter, pelo processo de torneamento, peças com acabamento comparáveis àqueles obtidos pelo processo de retificação.

Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio do órgão de fomento à pesquisa do estado de São Paulo, a FAPESP; da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP e de diversas empresas como: EATON; ROMI e SANDVIK. Portanto, a todos, expressamos nossos agradecimentos.

Referências

- ABRÃO, A. M.; ASPINWALL, D. Pastilhas de PCBN e cerâmica facilitam e melhoram a usinagem de materiais duros. *Máquinas e Metais*. São Paulo, n. 357, p. 22-28, out. 1996.
- BRINKSMEIER, E.; CAMMETT, J. T. Residual stresses – measurement and causes in machining processes. *Annals of the CIRP*, v. 31, n. 2, p. 491-506, Feb. 1982.
- CAPELLO, E.; DAVOLI, P. Residual stresses and surface roughness in turning. *Journal of Engineering Materials and Technology*, England, n. 7, p. 831-838, July 1999.
- MOMPER, F. J. Usinagem a seco e de materiais endurecidos. *Máquinas e Metais*. São Paulo, n. 411, p. 30-37, mar. 2000.
- MATSUMOTO, Y.; BARASH, M. M.; LIV, C. R. Effect of hardness on the surface integrity of AISI 4340 steel. *ASME Journal of Engineering for Industry*. Cincinnati, Ohio, n. 8, p. 169-175, Aug. 1986.
- SANNAREDDY, H.; RAJA, J.; CHEN, K. Characterization of surface texture generated by multi-process manufacture. *International Journal Machining Tools and Manufacturing*. U Iowa, n. 9, p. 529-536, Sept. 1998.
- TÖNSHOFF, H. K.; WOBKER, H. G.; BRANDT, D. Tribological aspects of hard turning with ceramic tools. *Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*. Illinois, v.1, p. 163-168, Feb. 1995.

Francisco Lima

Engenheiro Mecânico pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR, Mestre em Processos de Fabricação pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Doutor em Processos de Fabricação pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Membro Convidado do Núcleo de Manufatura e Qualidade do Departamento de Engenharia de Fabricação da UNICAMP, Professor Titular da Universidade de Fortaleza.

Maurício Corrêa

Engenheiro Mecânico pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Mestre e Doutor em Processos de Fabricação pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Coordenador do Núcleo de Manufatura e Qualidade do Departamento de Engenharia de Fabricação da UNICAMP, Professor/Coordenador do curso de Engenharia Mecânica e de Engenharia de Produção da Universidade Paulista.