

Material didático produzido sob o patrocínio da Ergomat Ind. e Com. Ltda.

# ***Usinagem completa de peças complexas na tornearia automática***

Eng° Alfredo Vergilio Fuentes Ferrari



# **Usinagem completa de peças complexas na tornearia automática**

## **Engº Alfredo Vergilio Fuentes Ferrari**

- Diretor de Vendas de Ergomat Ind. Com. Ltda.
- Vice-Presidente da Câmara Setorial de Máquinas-Ferramenta do Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas

## Resumo

O objetivo deste trabalho é o de apresentar as características construtivas e casos de aplicação dos modernos centros de torneamento CNC de carros múltiplos com oito eixos controlados, que permitem a usinagem completa de peças complexas a partir de barras nas tornearias automáticas.

Além de demonstrar a anatomia destas máquinas, o trabalho descreve a versatilidade de aplicação, apresentando as possibilidades de usinagens como torneamentos de perfis complexos, utilização de ferramentas giratórias para executar furações e fresamentos radiais ou axiais fora do centro da peça, assim como, a possibilidade de usinagens no lado posterior, onde foi realizada a operação de corte.

A capacidade de executar operações simultâneas é outra característica importante, onde demonstra a possibilidade da máquina executar ciclos de trabalho extremamente rápidos.

# Usinagem completa de peças complexas na tornearia automática

Com a evolução da informática, da eletrônica, dos componentes mecânicos e das ferramentas de corte, os tornos automáticos, que usinam peças a partir de barras, tiveram um enorme avanço tecnológico, proporcionando aos seus usuários a possibilidade de produzir peças de alta complexidade de forma completa, eliminando operações secundárias, como fresamentos, furações, trabalhos de retifica e usinagens no lado posterior da peça, onde se realizou a operação de corte.

## 1 - Introdução

Os projetistas de máquinas-ferramenta, em sintonia com os desejos e as necessidades do mercado consumidor, vêm, cada vez mais, desenvolvendo equipamentos, que oferecem melhores resultados e desempenho dos tornos automáticos. O objetivo é o de se produzir peças seriadas com qualidade ao menor custo. Para isto, é fundamental que os ciclos de trabalho sejam os mais curtos possíveis.

Ao se projetar um equipamento que atinja estas características, os seguintes pontos devem ser levados em consideração:

- A construção deve ser rígida para que possa torner os mais diversos tipos de materiais, inclusive aqueles de difícil usinabilidade, que exigem elevados esforços de corte.
- A máquina deve proporcionar elevada precisão ao longo de sua vida útil, mesmo trabalhando em regimes severos de três turnos.
- O torno deve ser versátil, sendo que diversas ferramentas devem trabalhar simultaneamente, dependendo da estratégia do processo de usinagem.
- Pacote eletrônico de alta confiabilidade, ou seja, com baixo índice de manutenção.
- Comando numérico de fácil programação e operação, que permita controlar diversos eixos lineares e circulares simultaneamente e com a capacidade de interpolá-los.
- Potência suficiente para garantir a usinagem de aços de difícil usinabilidade, assim como altas rotações da árvore principal são duas características fundamentais num torno automático de moderna tecnologia.
- A lubrificação das guias dos carros porta-ferramentas deve ser feita de forma automática.
- O projeto deve ser voltado à ergonomia, oferecendo conforto, tanto para os trabalhos de preparação da máquina, como os de manutenção.
- O conjunto deve ser compacto, oferecendo uma ampla área para facilitar a evacuação dos cavacos.
- O projeto deve, também, prever a proteção ecológica, evitando os respingos do fluido refrigerante, os vazamentos de óleos, assim como a emissão de névoas de óleo e fumaças geradas pelo processo de corte.
- A máquina deve estar preparada para receber os mais modernos tipos de sistemas de alimentação de barras, que possibilitem a utilização de altas rotações da árvore principal.
- O torno deve emitir baixos índices de ruído, recomendando-se menos de 80 decibéis.
- O investimento deve ser bastante atrativo para poder ser competitivo e proporcionar uma excelente relação *custo x benefício*

## 2 - Grupos construtivos

O princípio de funcionamento de um torno automático CNC moderno para a usinagem de peças seriadas a partir de barras é o mesmo de um torno automático monofuso revólver de cabeçote fixo clássico, ou seja, a máquina conta com um dispositivo revólver porta-ferramentas, além de carros com movimentos radiais, permitindo, com isto, a possibilidade de executar operações simultâneas, objetivando curtos ciclos de trabalho (figura 1).

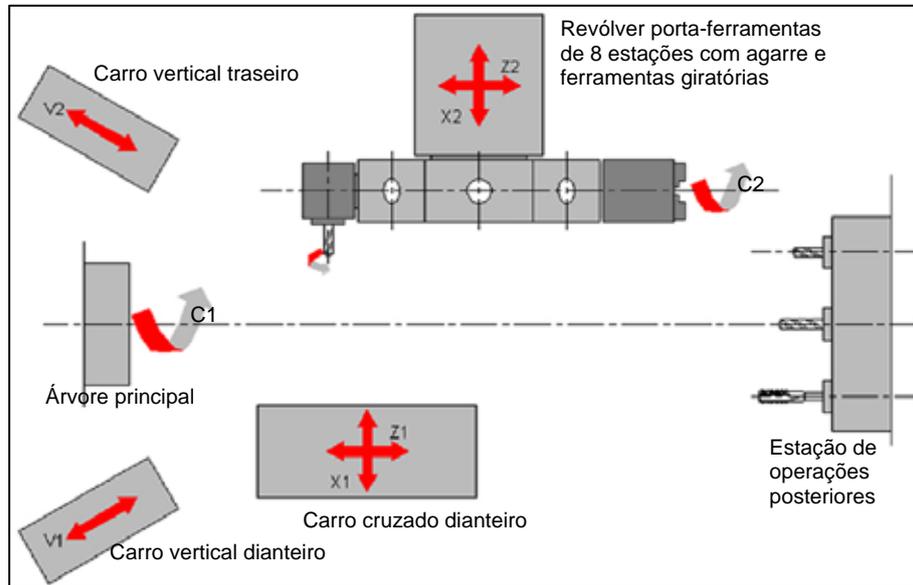


Figura 1 - Princípio de funcionamento de um centro de torneamento CNC de oito eixos

Os modernos centros de torneamento CNC de carros múltiplos (figura 2) permitem a usinagem de barras até 42 ou 60 mm de diâmetro, possibilitando controlar até oito eixos interpoláveis, sendo dois circulares, além do uso de ferramentas giratórias e uma estação de agarre, acionada, montada no seu revólver porta-ferramentas.



Figura 2 - Centro de torneamento CNC de carros múltiplos

Os movimentos dos diversos carros são realizados através de servo-motores de corrente alternada de frequência variável e eixos de esferas recirculantes (figura 3).



Figura 3 - Servo-motor e eixo de esferas recirculantes

O carro cruzado do revólver porta-ferramentas desliza sobre guias lineares (figura 4), garantido extrema precisão e longevidade da máquina.

Os acionamentos dos eixos circulares são, também, realizados através de motores de corrente alternada de frequência variável, que permitem, tanto a realização de movimentos circulares de avanço de usinagem, como de posicionamentos angulares.

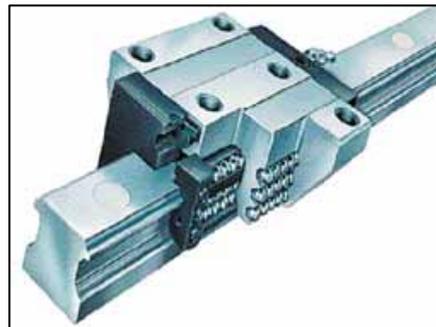


Figura 4 – Guia linear

A seguir, serão descritos os diversos grupos construtivos do torno em questão, que comprovam a sua alta versatilidade na usinagem completa de peças de elevada complexidade.

## 2.1 - O carro cruzado dianteiro

O carro cruzado dianteiro (figura 5) é composto pelo carro transversal (X1) e pelo carro longitudinal (Z1), que permitem a realização de interpolações lineares e circulares.



Figura 5 - Carro cruzado dianteiro

Este carro possui um assento para uma ferramenta de torneamento, que pode executar os seguintes tipos de operações:

- Formar
- Tornear longitudinal, cilíndrico ou cônico
- Tornear perfis complexos, combinando interpolações lineares e circulares
- Pentear roscas cilíndricas ou cônicas

Ele permite executar operações em simultaneidade com as ferramentas do revolver e dos dois carros verticais.

## 2.2 - O revólver porta-ferramentas

O revólver porta-ferramentas é do tipo estrela (figura 6) e possui oito estações de trabalho, podendo aplicar-se, tanto ferramentas fixas, como giratórias. Ele está montado sobre um carro cruzado no lado traseiro da máquina e desliza sobre guias lineares, sendo composto pelo carro transversal (X2) e pelo carro longitudinal (Z2), que permitem a realização de interpolações lineares e circulares.

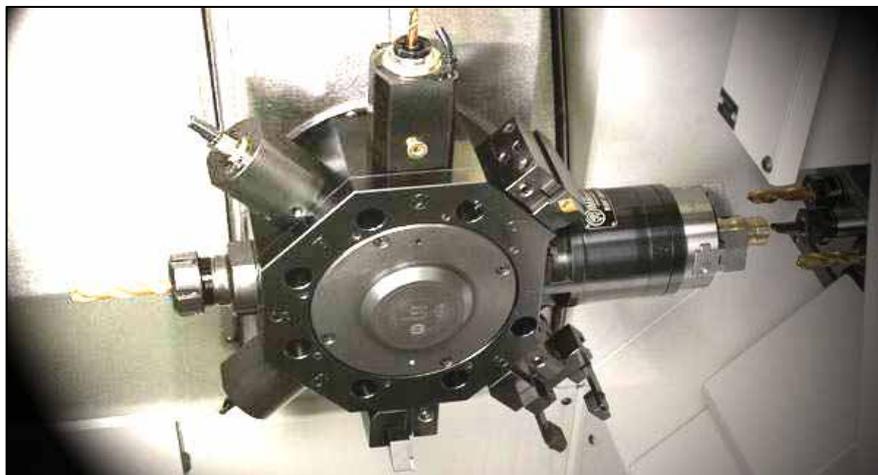


Figura 6 - Revólver porta-ferramentas de oito estações

O assento dos porta-ferramentas segue o padrão VDI 25.

O mecanismo de acionamento do conjunto revólver tipo estrela possui dois servomotores, sendo um deles para acionar o giro do tambor porta-ferramentas e o outro para realizar os movimentos das ferramentas giratórias e do cabeçote de agarre, utilizado para a execução de operações posteriores no lado do corte da peça usinada.

O giro do tambor porta-ferramentas é bi-direcional, buscando o menor percurso, além de ser extremamente rápido, onde os mais modernos levam 0,3 seg. para saltar entre estações consecutivas e 0,48 seg. entre duas estações dispostas a 180 graus. O giro livre entre estações consecutivas é 0,06 seg. O travamento do tambor porta-ferramentas em cada estação de trabalho é feito através de uma cremalheira circular do tipo Hirth, que garante uma elevada precisão de trabalho.

As ferramentas giratórias podem ocupar qualquer posição no tambor porta-ferramenta, sendo as suas rotações livremente programáveis. Estas ferramentas giratórias permitem a realização de operações de furações, fresamentos e rosqueamentos, tanto no sentido axial, como radial (figuras 7 e 8).

Para se aumentar a eficiência das operações de furação e torneamentos internos, é fundamental que o líquido refrigerante passe através do revólver e pelo interior das ferramentas de corte com pressão de, no mínimo, 6 bar.

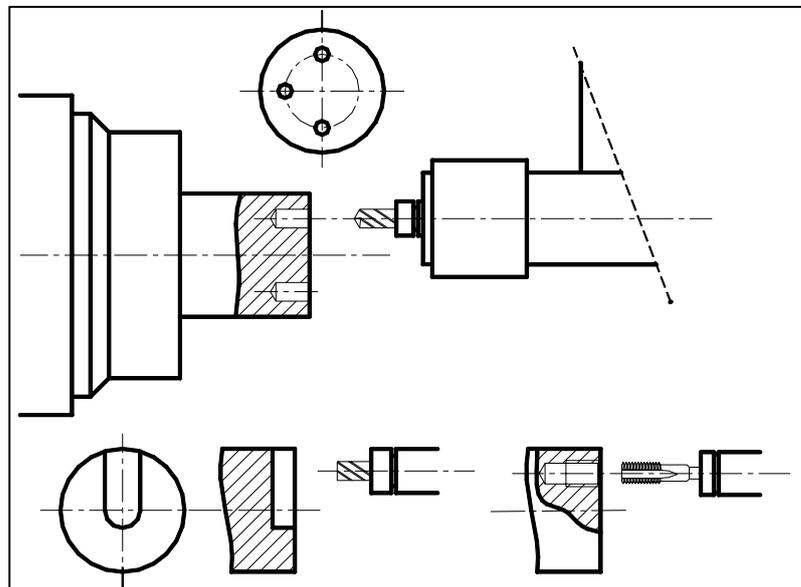


Figura 7 - Ferramentas giratórias no sentido axial

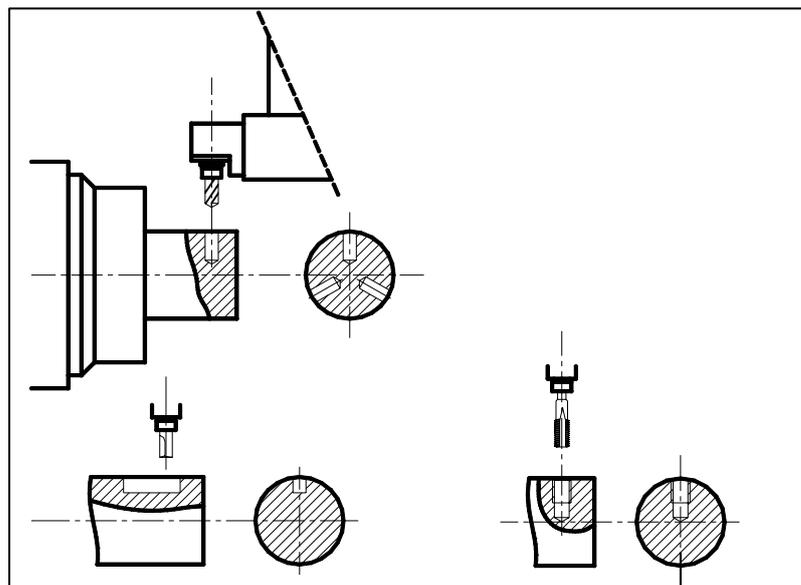


Figura 8 - Ferramentas giratórias no sentido radial

O cabeçote de agarre, acionado (figura 9), para executar operações posteriores no lado do corte da peça a ser usinada ocupa uma posição determinada no tambor porta-ferramentas e permite girar, sendo as rotações desejadas livremente programáveis. A fixação da peça é feita através de uma placa de 3 castanhas.

A realização de interpolações lineares e circulares permite o torneamento externo de perfis complexos, possibilitando, na medida do possível, a eliminação do uso de ferramentas de forma, em geral de alto custo.



Figura 9 - Cabeçote de agarre acionada para operações posteriores

Os movimentos do revólver-estrela podem ser feitos de forma simultânea com os do carro cruzado X1/Z1 e os carros verticais V1 e V2, garantindo curtos tempos de ciclo de trabalho.

As seguintes operações podem ser executadas com o revólver estrela:

- Furação axial
- Furação profunda
- Furação axial fora do centro
- Furação transversal
- Brochamento interior ou exterior
- Torneamento de perfis interno e externo
- Torneamento de canais internos
- Torneamento de polígonos
- Alargamento
- Rosqueamento rígido com macho e cossinete
- Rosqueamento transversal com macho
- Rosqueamento por perfilação
- Fresamentos axiais e transversais
- Fresamento de roscas
- Agarre da peça de trabalho para segunda operação

A figura 10 mostra a ampla área de trabalho do centro de torneamento CNC de carros múltiplos.



Figura 10 - Área de trabalho



Figura 11 - Carros verticais, dianteiro e traseiro

### 2.3 - Os carros verticais

Os carros verticais, dianteiro (V1) e traseiro (V2), deslizam sobre guias prismáticas, lubrificadas automaticamente, e executam movimentos radiais (Figura 11). As distâncias e as velocidades de avanço são programadas pelo comando numérico e os acionamentos são realizados através de servo-motores e eixos de esferas recirculantes. Os dois carros podem ser posicionados, manualmente, no sentido longitudinal.

Em geral, o carro vertical dianteiro é usado para a operação de corte e o traseiro permite executar as operações de:

- Pré-corte
- Torneamento radial com ferramentas de forma
- Usinagem de recartilhas

Estes dois carros podem trabalhar em conjunto entre si e com os demais carros porta-ferramentas anteriormente descritos.

### 2.4 - A estação de operações posteriores

A estação de operações posteriores está localizada no lado oposto ao da árvore principal e conta com três estações de trabalho, que possibilitam a usinagem de furos, torneamentos internos, operações de alargamento e rosqueamentos com macho ou cossinete (figura 9).

A peça é agarrada por uma placa de três castanhas acoplada em um cabeçote montado numa das estações do revólver, que gira de forma sincronizada com as revoluções da árvore principal, para que possa executar a operação de corte.

As rotações do cabeçote são livremente programáveis e sem escalonamentos.

Após o cabeçote giratório agarrar e cortar a peça, o tambor porta-ferramentas gira até que a peça se posicione de frente à estação de operações posteriores.

Neste caso, as três ferramentas de corte são fixas e a peça, sujeitada na placa, realiza o movimento giratório. Para executar cada uma das operações, o carro do revólver porta-ferramenta se desloca no sentido transversal.

Uma vez posicionado na estação desejada, o movimento de avanço é realizado pelo carro do revólver porta-ferramentas, que se desloca no sentido longitudinal. Quando a operação estiver terminada, o carro do revólver retrocede e a peça é ejetada da placa de fixação, caindo num recipiente coletor de peças, que está posicionado atrás da carenagem ao lado do dispositivo de operações posteriores. Uma pequena porta abre-se, automaticamente, para que a peça possa cair no recipiente.

## 2.5 - A árvore principal

A árvore principal (figura 12) está montada no cabeçote e apoiada em rolamentos de esferas de contato angular de alta precisão, possibilitando atingir rotação máxima de 4.000 rpm e permitir a passagem de barras até 42 mm de diâmetro. Existem modelos, que permitem usinar barras até 60 mm de diâmetro. Os rolamentos são pré-tensionados e contam com lubrificação permanente.

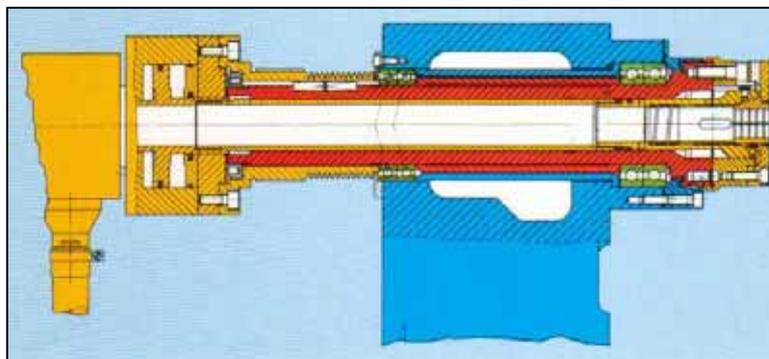


Figura 12 - Árvore principal

A fixação da barra é feita através de pinças, que são acionadas através da atuação de um cilindro hidráulico montado no lado posterior da árvore principal, garantido uma excelente força de fixação (figura 13).

O acionamento da árvore principal é realizado através de um motor de corrente alternada de frequência variável, cujas rotações são livremente programáveis sem escalonamentos.

O eixo C1 permite posicionar e frear a árvore principal para a execução de operações com a utilização de ferramentas giratórias, sendo a resolução angular de 0,01 graus. Além disto, o eixo C1 possibilita o movimento de avanço angular para a usinagem de hélices, por exemplo, podendo interpolar com o eixo longitudinal Z2 do carro do revólver. Neste caso, a menor rotação de avanço é 100 rpm.



Figura 13 - Cilindro hidráulico de sujeição

### 3 - A alimentação e guia das barras

A alimentação e guia das barras é um ponto que se deve tomar muito cuidado, quando se quer obter o melhor rendimento do torno automático. Em geral, os trabalhos são realizados com barras de 3,0 metros de comprimento e a fixação é feita através de pinças. As barras devem ter uma excelente retilineidade para minimizar vibrações, que podem prejudicar, tanto o acabamento superficial e as dimensões das peças, como o funcionamento e a vida da máquina. Outro ponto de fundamental importância é a qualidade superficial das barras, sendo que é altamente recomendável a utilização de barras trefiladas com tolerância h11 ou mais apertada, para que não haja desgaste excessivo da pinça de fixação.

Barras em más condições de uso fazem com que se limitem as rotações da árvore principal em níveis menores do que as rotações ideais, acarretando maior tempo do ciclo de trabalho, maior desgaste das ferramentas de corte e prejuízo da qualidade superficial.

Os principais sistemas para sustentação, avanço e guia de barras são os seguintes:

#### **Alimentadores hidráulicos de barras** (figura 14).

Neste caso, uma nova barra é colocada manualmente no tubo de avanço sempre que a barra anterior é consumida, sendo que a força de avanço é aplicada por um pistão hidráulico e a barra gira embebida em óleo. Com isto, a árvore principal tem a capacidade de girar em altas rotações, proporcionando obter maior produtividade, minimizar vibrações e diminuir o nível de ruído. Este tipo de alimentador é muito recomendável para trabalhos com barras sextavadas e quadradas, que provocam vibrações ao girar em altas rotações.

#### **Magazines de alimentação automática de barras** (figura 15).

Os magazines de alimentação de barras permitem o armazenamento de diversas barras e a colocação automática da nova barra a ser usinada, após a anterior ter sido consumida, aumentando significativamente o rendimento e a produtividade do torno automático. É recomendado para a usinagem de peças longas e de curto tempo do ciclo, onde as barras são consumidas muito rapidamente e trocadas com grande frequência.

De uma forma geral, os magazines de barra aumentam a produtividade do torno automático, diminuindo o número de operadores, possibilitando, muitas vezes, a máquina trabalhar turnos sem supervisão. Nos países industrializados, a maioria dos tornos automáticos, tanto a cames, como a CNC trabalham com magazines de alimentação de barras. O investimento é maior do que no caso anterior.



Figura 14 - Alimentador hidráulico de barras multitubular



Figura 15 - Magazine automático de alimentação de barras

#### 4 - A evolução das ferramentas de corte

A incrível evolução dos tornos automáticos CNC se deveu basicamente ao desenvolvimento de dois elementos: o comando numérico e as ferramentas de corte.

No início do século passado, os serviços de torneamento na produção eram executados com ferramentas de aço rápido, exigindo constantes trabalhos de reafiação a elevados custos. Atualmente, o torneamento em série é realizado com base em ferramentas de metal duro, que possibilitam a aplicação de elevadas velocidades de corte, acarretando a utilização de altas rotações da árvore principal e, por conseguinte, atingido rápidos ciclos de trabalho (figura 16).

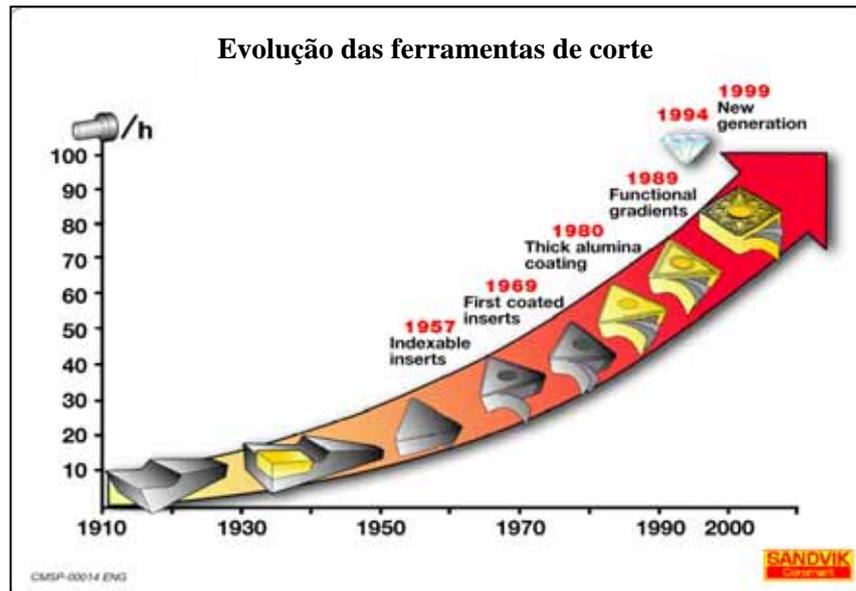


Figura 16 - A evolução da ferramentas de corte

Os trabalhos de torneamento, em geral, são executados com o uso de pastilhas intercambiáveis de metal duro. Para as operações de furação são utilizadas brocas de metal duro ou de aço rápido com cobertura de materiais, que visam aumentar a vida útil da ferramenta de corte com aumento da velocidades de corte e avanços. Os machos para rosqueamento interno, também, possibilitam a aplicação de coberturas de materiais para aumentar suas vidas e eficiência.

Para a usinagem de peças de pequenas dimensões, existem ferramentas de corte específicas para micro-usinagem, que levam a excelentes resultados em função da geometria das peças e dos avanços e velocidades de corte adequados (figura 17).



Figura 17 - Ferramenta de torneamento interno para micro-usinagens

Como as ferramentas de corte estão em permanente processo de evolução tecnológica, é de fundamental importância o fato de que os usuários de máquinas-ferramenta mantenham sempre um forte relacionamento com os fabricantes de ferramentas de corte, procurando estar atualizados quanto às novidades.

## 5 - O comando numérico

Um fator decisivo para o desenvolvimento de um centro de torneamento CNC, que possibilite a operação simultânea de ferramentas de corte montadas em carros interpoláveis, é a aplicação de um comando numérico de trajetória dupla. Por exemplo, como na figura 18, enquanto um carro está executando o torneamento na superfície externa, o outro carro está realizando o torneamento interno. As operações dos dois carros são programadas de forma independente entre si, podendo cada carro ser atuado a qualquer tempo de forma isolada ou simultânea.

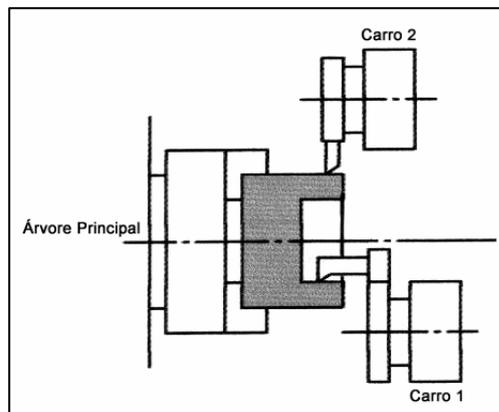


Figura 18 - Comando numérico de trajetória dupla

Os modernos comandos numéricos computadorizados de 32 bits, aplicados nos centros de torneamento, utilizam CPU's do padrão Pentium, capazes de comandar até oito eixos ou mais, sendo, pelo menos, dois circulares.

Uma interface Ethernet possibilita a conexão a softwares supervisórios, controles de processos, além de carga e descarga de dados em geral.

Estes comandos permitem a execução de uma precisa interpolação nanométrica, habilitando um trajeto suave dos comandos de posição. Este recurso aplicado à usinagem é capaz de produzir superfícies polidas.

O sistema de multi-janelas permite a visualização de diferentes informações simultaneamente, sendo que os fabricantes de máquinas-ferramenta podem criar as suas próprias telas de operação de acordo com as suas necessidades, no lugar das telas padronizadas do CNC.

É importante que o comando numérico disponibilize uma série de ciclos fixos, a fim de facilitar os trabalhos de programação e operação, tais como, ciclos de desbaste, de rosqueamento para macho e cossinete, de pentear roscas, de furação profunda, de usinar canais e outros.

Outra capacidade importante dos modernos comandos numéricos é a da realização de programação parametrizada, sendo possível se criar um único programa através de variáveis, muito utilizado para se produzir peças semelhantes dentro de uma mesma família.

A programação em paralelo é outra característica muito desejada no comando numérico, pois permite a programação de uma nova peça, enquanto outra está sendo usinada.



Figura 19 - Tela e painel de operação do comando numérico de trajetória dupla

## 6 - Casos de aplicação

Cada vez mais, as indústrias de auto-peças, de aviões, de telecomunicações, de aparelhos ópticos, de equipamentos hospitalares, de componentes eletro-eletrônico, de componentes hidráulicos e muitas outras tem desenvolvido peças de extrema complexidade, que exigem soluções de usinagem avançadas.

As figuras 20 e 21 mostram peças usinadas por completo em tornos automáticos CNC, onde além das operações básicas de torneamento e furação, foram realizadas operações de fresamento, furos transversais e trabalhos de usinagens internas nas duas extremidades das peças. Sem dúvida, tais peças, jamais seriam produzidas, no passado, com a utilização de tornos automáticos mecânicos, ou mesmo, tornos automáticos universais CNC, tendo, obrigatoriamente, de se executar operações posteriores.



Figura 20 - Peça usinada por completo



Figura 21 - Peças usinadas por completo



As principais condições de usinagem, conforme plano de processo de usinagem indicado na figura 24, são como segue:

- **Torneamento longitudinal:** velocidade de corte - 280 m/min  
rotação da árvore no D. 30 mm - 3.000 rpm  
velocidade de avanço - 0,15 mm/rotação  
pastilha de metal duro
- **Furação:** velocidade de corte - 115 m/min  
rotação da árvore - 3.500 rpm  
velocidade de avanço - 0,17 mm/rotação  
broca de metal duro D. 10,5 mm
- **Fresamento transversal:** velocidade de corte - 136 m/min  
rotação do porta-ferramenta - 3.600 rpm  
velocidade de avanço - 250 mm/min  
fresa de topo de metal duro D. 12 mm
- **Furação fora do centro** velocidade de corte - 64 m/min  
rotação da árvore - 4.000 rpm  
velocidade de avanço - 200 mm/min  
broca de metal duro D. 5,1 mm

O tempo real do ciclo de trabalho para a usinagem completa da peça é:

- **1 min e 20 segundos**

que representa uma produção de

- **45 peças por hora**

A figura 24 apresenta a seqüência de operações para a usinagem completa da peça de exemplo.

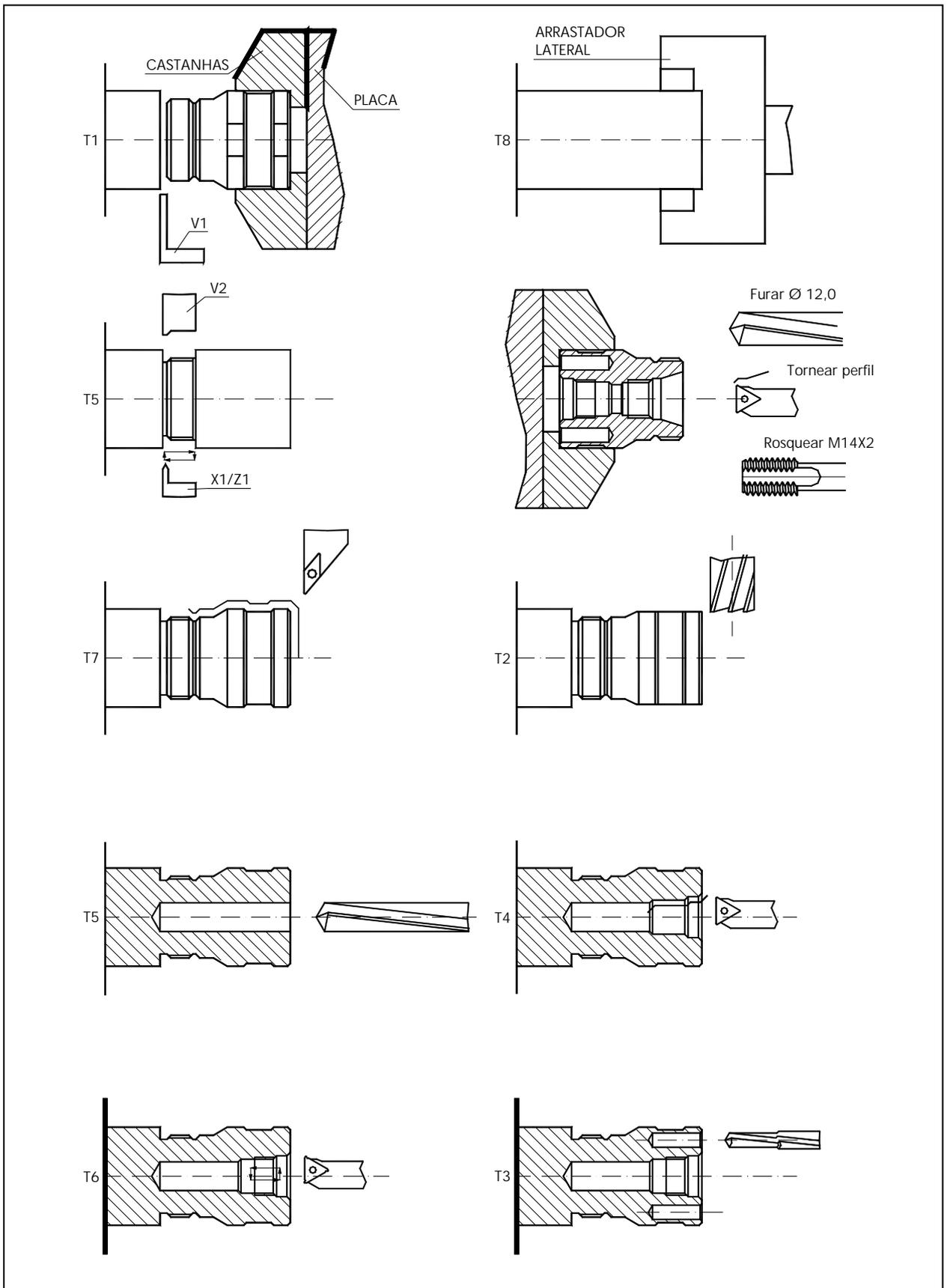


Figura 24 - Processo de usinagem da peça de exemplo

## **7 - Conclusão**

O constante aumento nos custos de mão de obra, encargos sociais, energia elétrica, área industrial e outros tem exigido das empresas de manufatura investimentos, que levem a uma racionalização do trabalho. Como consequência, o objetivo é o de se produzir peças a custos cada vez menores para que se possa enfrentar a concorrência, tanto no mercado interno, como nas exportações.

Portanto, equipamentos compactos e produtivos, como os modernos centros de torneamento CNC de carros múltiplos, que objetivam a eliminação de operações secundárias e reduzem a utilização de mão de obra adicional, são a forte tendência das indústrias de manufatura para que possam permanecer de forma lucrativa nos seus mercados de atuação.

## O autor

### **Engº Alfredo Vergilio Fuentes Ferrari**

- Formado em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia Mauá em 1970.
- Prêmios "Escola de Engenharia Mauá" e "Metal Leve" de Engenharia Mecânica em 1970.
- Curso de especialização em tornos automáticos monofusos a cames em 1971/72 na Hermann Traub Maschinenfabrik, Reichenbach an der Fils, Alemanha.
- Diversos cursos em máquinas-ferramenta a comando numérico na Alemanha.
- Pós-Graduação em Administração de Empresas pela Fundação Getúlio Vargas em 1976.
- Curso de Especialização em Marketing Industrial pela Escola de Engenharia Mauá em 1978.
- Introduziu cursos de tornos automáticos a cames na Escola de Engenharia Mauá e Fatec em 1972.
- Conferencista nos 1º, 2º, 3º e 4º Seminários da Sociedade Brasileira de Comando Numérico em 1981/82/83/84.
- Conferencista no Seminário "Usinagem em altíssimas velocidades de corte" no Instituto Tecnológico de Aeronáutica em 1998.
- Palestras e Conferências sobre Tornos Automáticos Mecânicos e a Comando Numérico na Argentina, Chile, México, EUA e Alemanha.
- Iniciou a carreira como estagiário em 1971 na Traubomatic Ind. Com. Ltda, hoje denominada Ergomat Ind. Com Ltda., ocupando atualmente o cargo de Diretor de Vendas.
- Vice-Presidente da Câmara Setorial de Máquinas-Ferramenta do Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas nos períodos de 1994 a 1997 e 2002 a 2004.
- Conferencista no II Congresso "Usinagem 2002" em S. Paulo em Outubro 2002.
- Autor dos artigos "A anatomia dos tornos automáticos de acionamentos mecânicos" e "A evolução dos tornos automáticos: do came ao CNC".