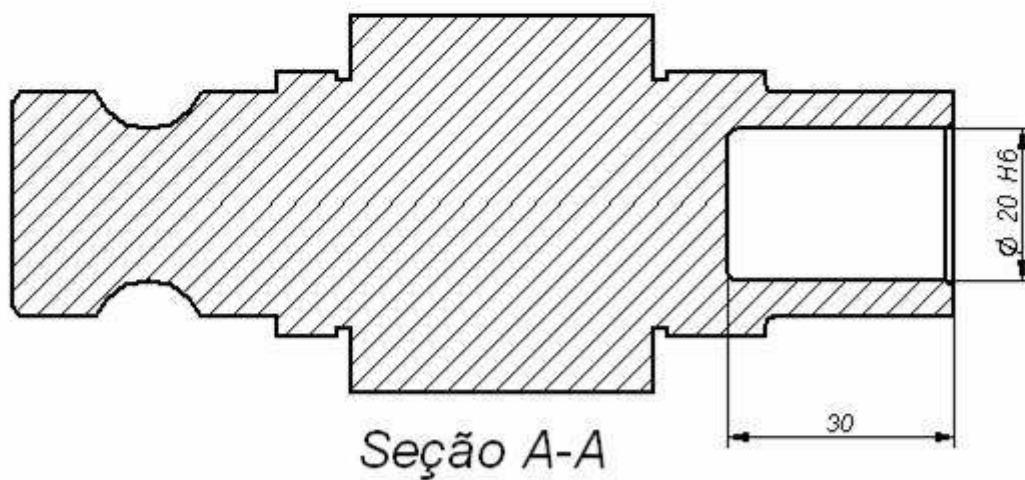
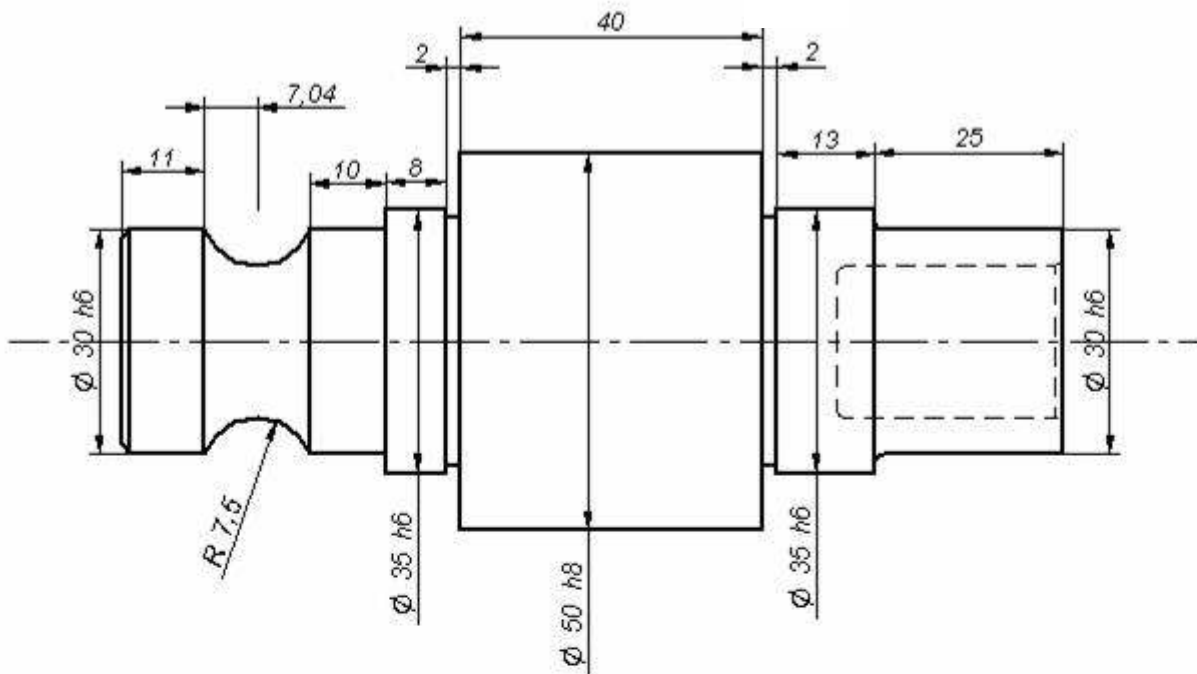


EM921 – CONTEÚDO DAS AULAS

Na **PRIMEIRA AULA**, a partir do desenho da peça pronta serão realizadas as seguintes etapas:

1. identificação dos requisitos especiais de tolerâncias e rugosidades;
2. definição da seqüência de etapas de fabricação;
3. definição da cotação de fabricação das dimensões longitudinais; considerando as referências adotadas para as operações de usinagem;
4. definição dos sobremetais, tolerâncias operacionais e dimensões intermediárias;
5. definição da peça em bruto (considerar cilindro cortado de barra laminada);
6. definição da quantidade de material a ser removida nas operações de torneamento para as dimensões longitudinais e de diâmetro;



- Material de partida:
laminado $\phi 57,15$ (2 1/4")
- Raios não indicados = 1
- Chanfro típico 1x1 mm
- tolerância geral: IT8

Na **SEGUNDA AULA**, a partir das etapas realizadas na primeira aula, serão realizadas atividades:

1. desenho das folhas das operações de torneamento;

Na **TERCEIRA AULA**, com os desenhos das folhas de processo para torneamento:

1. definir as ferramentas (pastilhas) e os porta-ferramentas para cada uma das quatro operações de torneamento;
2. definir os parâmetros de corte (rotação, profundidade e avanço) para cada uma das operações de torneamento, considerando as características do torno disponível e das ferramentas;
3. desenhar o percurso das ferramentas em cada etapa de torneamento.

No site www.coroguide.com está disponível o catálogo on line para consulta sobre feitorneamento em função de uma pastilha específica ou da usinagem de um material e

Na **QUARTA AULA** será apresentado o sistema de coordenadas utilizado para definir o movimento de torneamento.

SISTEMA DE COORDENADAS

Por convenção, assume-se que os tornos apresentam dois eixos perpendiculares e se define o percurso da ferramenta montada no suporte de ferramentas.

O **eixo X** é o **eixo transversal** que se refere aos movimentos em relação ao raio da peça

O **eixo Z** que é o **eixo longitudinal** que se refere aos movimentos ao longo do comprimento da peça torneada.

Um terceiro eixo é o **eixo árvore** no qual é montada a placa e fixada a peça a ser torneada.

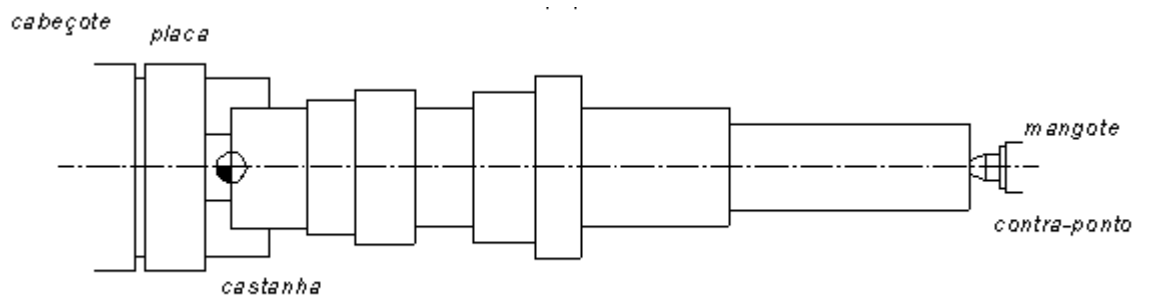
Outros eixos podem ser encontrados em alguns tornos especiais, como é o caso do **eixo Y** encontrado em alguns tornos para operações de furação radial ou fresamento.



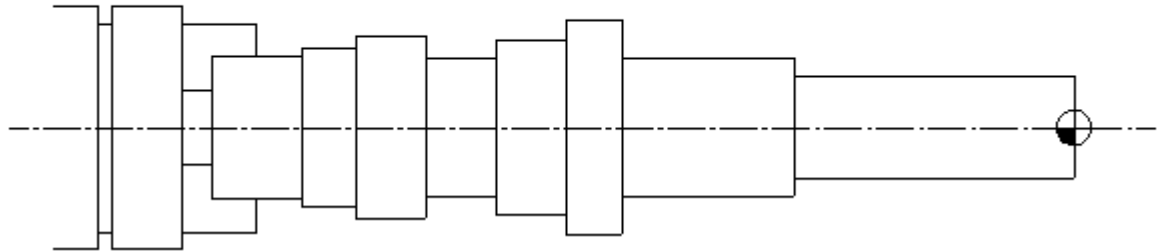
Detalhes da torre do centro de torneamento E280 da ROMI

Uma definição importante é o **ponto zero** ($X = 0$, $Z = 0$) representado pelo símbolo . Este ponto também pode ser denominado como ponto de referência do programa, zero do programa, ponto de referência da peça e zero-peça.

O ponto zero pode ser definido na superfície de apoio na placa do torno ou na superfície da peça-trabalho, como mostram respectivamente as figuras (a) e (b).



(b)

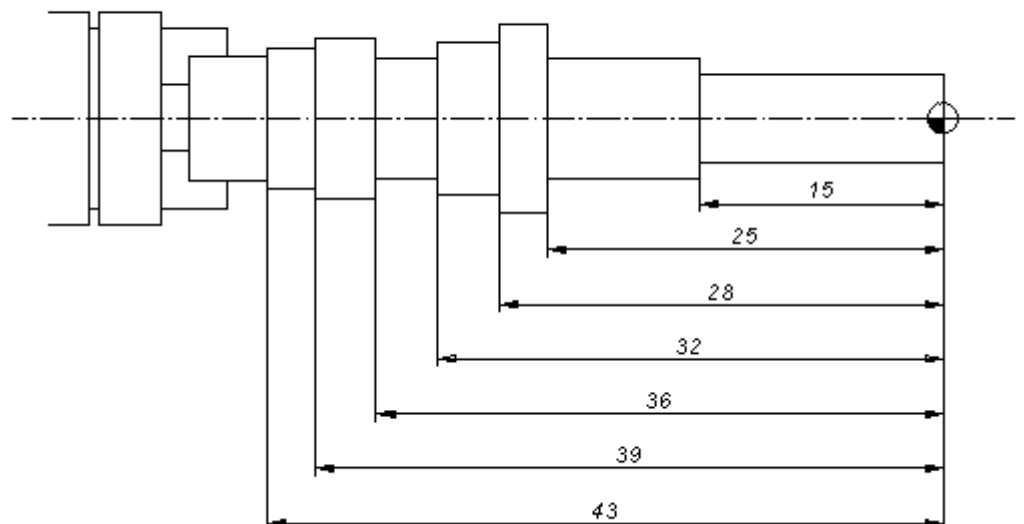


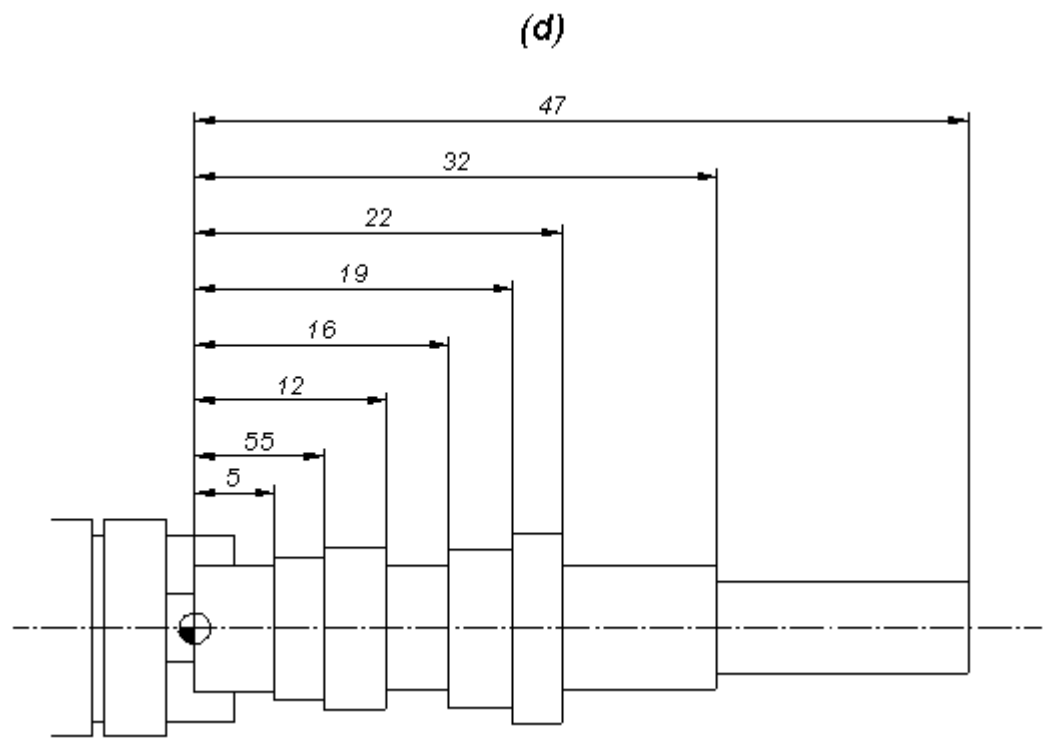
As **coordenadas** para definir-se os deslocamentos das ferramentas nos eixos X e Z são **absolutas** ou **incrementais**.

As **coordenadas absolutas** são as mais empregadas e referem-se a um ponto de referência (origem zero) e são relacionadas com as cotas da peça a ser torneada.

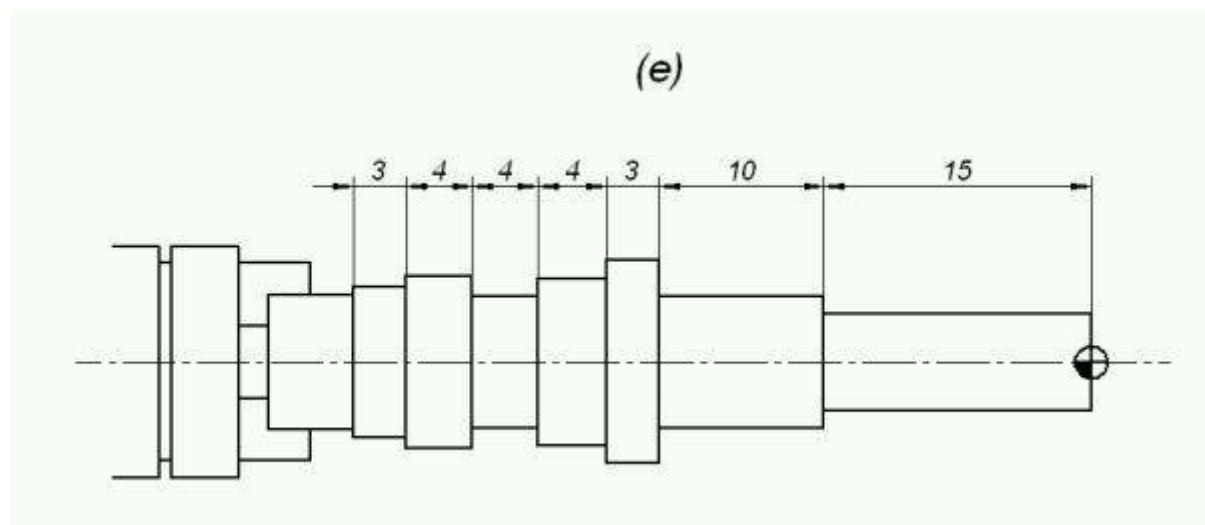
As figuras (c) e (d) apresentam respectivamente as coordenadas absolutas considerando o zero definido na peça ou na placa de fixação.

(c)





As **coordenadas incrementais** referem-se sempre a uma posição anterior e consideram o deslocamento relativo entre dois pontos na peça. A figura (e) apresenta as coordenadas incrementais relativas ao exemplo anterior, considerando-se o ponto zero na face da peça.

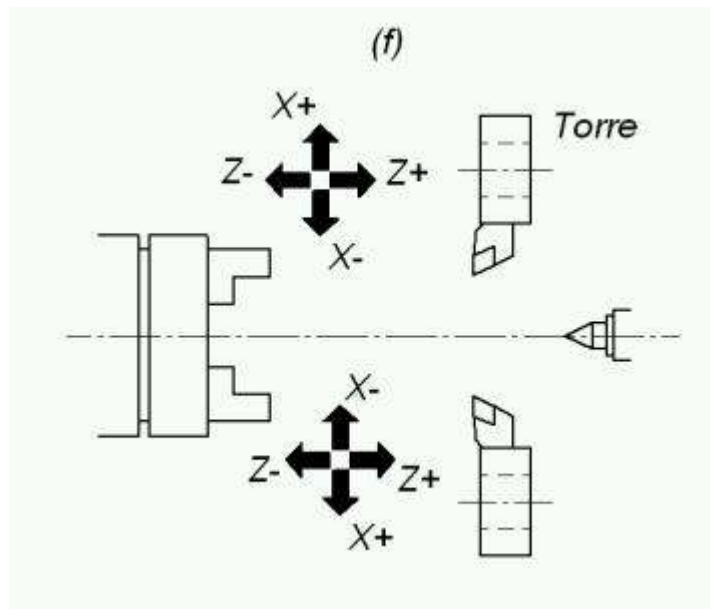


Deve-se observar que em termos de programação, o uso de coordenadas absolutas é mais conveniente, pois em caso de alteração de uma cota, apenas uma dimensão precisa ser alterada, enquanto que para coordenadas incrementais, pelo menos duas dimensões seriam alteradas.

O **eixo Z** tem seu **sentido positivo** sempre à direita do ponto zero.

Já as dimensões no **eixo X** para as **coordenadas absolutas** são sempre relacionadas aos **diâmetros**. Para as **coordenadas incrementais** pode-se empregar a **diferença entre diâmetros sucessivos**, ou mesmo a **diferença entre raios sucessivos**. Por convenção, o sentido positivo é sempre o que se **afasta da superfície** da peça.

A figura (f) apresenta a configuração típica dos eixos X e Z para um torno com ferramentas.



SISTEMA ISO PARA PROGRAMAÇÃO CNC

O sistema de programação padronizado pela **ISO (International Organization for Standardization)** é empregado por diversas empresas fabricantes de controles numéricos computadorizados utilizados por diversos fabricantes de máquinas-ferramentas CNC.

A linguagem empregada nesse sistema é denominada **linguagem G** e contempla comandos associados a **funções básicas e universais** que estão **padronizadas** por todos os fabricantes que podem, porém, acrescentar novas funções, específicas para equipamentos com características especiais.

Um programa escrito na linguagem G apresenta uma **estrutura de blocos** de comandos constituídos por **caracteres** (letras, algarismos e símbolos) que formam **palavras** que são **específicas** quando da execução desse programa.

Pela padronização, as palavras podem ser separadas num bloco, mas nunca deve haver espaços em branco.

O ponto decimal é utilizado para definir dimensões com casas decimais. A ausência de ponto na frente da dimensão indica sempre que ela é positiva.

Alguns caracteres especiais:

(e)	abrir e fechar comentários ou equações
:	número do programa
/	ignorar blocos
=	igual
;	inserir comentários
#	indicador de final de bloco
%	início e fim do programa

Algumas letras usadas para palavras e comandos:

F	definição do avanço
G	comandos preparatórios

<i>M</i>	<i>funções miscelâneas</i>
<i>N</i>	<i>numeração dos blocos: N10, N20,....</i>
<i>S</i>	<i>definição da velocidade do eixo-árvore constante</i>
<i>T</i>	<i>definição da ferramenta</i>
<i>U</i>	<i>incremento de valor no eixo X</i>
<i>W</i>	<i>incremento de valor no eixo Z</i>

Alguns comandos padronizados da linguagem G:

- G00 – avanço rápido
- G01 – interpolação linear
- G02 – interpolação circular no sentido horário
- G03 – interpolação circular no sentido anti-horário
- G04 – tempo de permanência

Exercício da QUARTA AULA:

- 1) Definir o ponto zero na peça
- 2) Determinar as coordenadas inicial e final dos passos de torneamento
- 3) Escrever o programa referente aos percursos de corte do item 2

Na **QUINTA AULA** veremos algumas das funções preparatórias da linguagem G e suas o comando FANUC que é o empregado no torno que estamos utilizando como equipan exercícios.

Função	Descrição
G00	Avanço rápido
G01	Interpolação linear
G02 e G03	Interpolação circular nos sentido horário e anti-horário
G04	Tempo de permanência
G20	Programação em polegadas
G21	Programação em milímetros
G90	Programação em coordenadas absolutas
G91	Programação em coordenadas incrementais
G92	Limite de rotação máxima
G94	Avanço em mm ou pol/minuto
G95	Avanço em mm ou pol/rotação
G96	Velocidade de corte constante em m/min

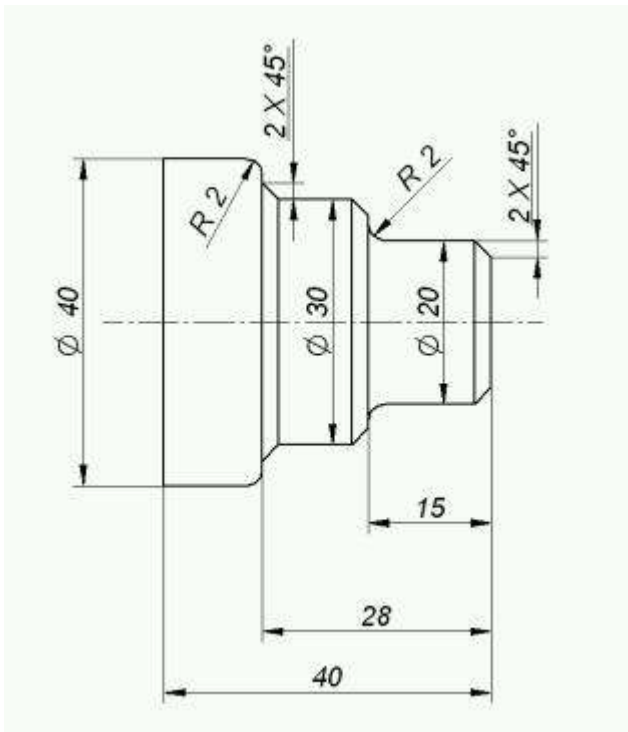
Sintaxe	Observação
G00 X Z	
G01 X Z C R F	C chanfro R arredondado
G02/G03 X Z R/ I K F	X e Z coordenadas final do arco R coordenadas do arco relativas ao do arco
G04 X/U/P	
G92 S	
	Definição parâmetros comandos
G96 S	Não pode ser usado em roscamento ou furamento

G92	Zero point displacement
G94	Specify feed rate in mm/min
G95	Specify feed rate in mm/revolution

Exercício da QUINTA AULA:

1) Escrever o programa na linguagem G considerando as funções mostradas nas tabelas e as operações de desbaste e acabamento.

Na **SEXTA AULA** veremos alguns exemplos usando algumas funções G da tabela, bem como funções para ciclos repetitivos.



The drawing shows a turned part with the following dimensions and features:

- Total length: 40
- Left diameter: $\varnothing 40$
- First chamfer: $2 \times 45^\circ$
- Radius: R_2
- Second diameter: $\varnothing 30$
- Length of $\varnothing 30$ section: 15
- Radius: R_2
- Third diameter: $\varnothing 20$
- Length of $\varnothing 20$ section: 15
- Final chamfer: $2 \times 45^\circ$
- Distance from left end to start of $\varnothing 20$ section: 28

```

N10 G00 X0 Z2. M8
N20 G01 Z0 F.15
N30 G01 X20. C-2.
N40 G01 Z-15. R2.
N50 G01 X30. C-2.
N60 G01 Z-28. C2.
N70 G01 X40. R-2.
N80 G01 Z-40.

```

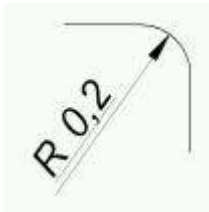
Obs.: O comando N80 é obrigatório para executar-se a função N70 e o comando N80 deverá ser no mínimo duas vezes a distância da ponta da ferramenta.

Com o comando **G01** (interpolação linear) é sempre feito um arredondamento de 0,2 na mudança de percurso, ou seja, não se consegue obter cantos vivos na peça torneada.

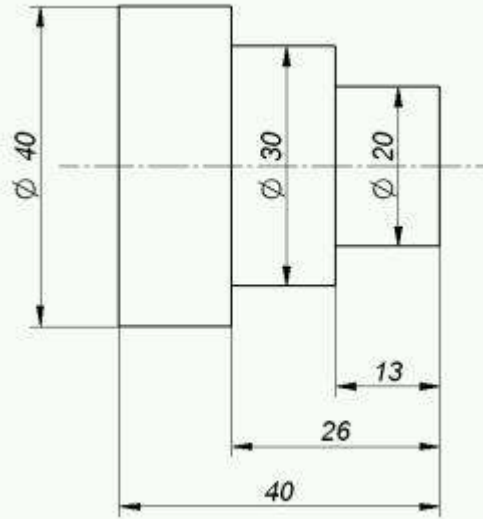
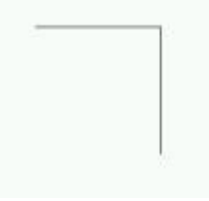
As funções G09 ou G73, em função do comando CNC utilizado, são uma alternativa à **interpolação linear ponto a ponto**, como mostra o exemplo a seguir.

No caso do comando FANUC, a função G73 refere-se ao ciclo de desbaste paralelo e a função G09 a princípio não está definida.

Com a função G01:



Com as funções G09 ou G73



```

N10 G00 X0 Z2.
N20 G01 Z0 F.15
N30 G09 X20.
N40 G09 Z-13.
N50 G09 X30.
N60 G09 Z-26.
N70 G09 X40.
N80 G09 Z-40.
    
```

Ao deslocar-se a ferramenta, o comando considera a ponta teórica do inserto, caso comando explícito para a Compensação do Raio de Corte (CRC). Com esse comando ativo a ponta real da ferramenta passa a ser considerada, fornecendo o contorno exato desejado para a compensação é feita em função do valor do raio, do sentido e lado do corte, se é um perfil interno.

A função G40 desativa CRC, enquanto a função G41 ativa CRC à esquerda e G42 à direita, de acordo com as seguintes regras:

- Para um perfil externo com deslocamento em direção ao eixo-árvore, usa-se G40, caso contrário, usa-se G41
- Para um perfil interno com deslocamento em direção ao eixo-árvore, usa-se G40, caso contrário, usa-se G42

Diferentemente de outros comandos, no comando FANUC pode-se usar a função G01 ativa, ou seja, após um comando G41 ou G42.

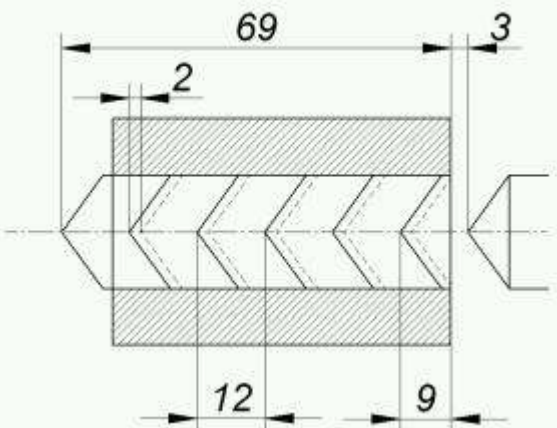
Um grupo de funções da linguagem muito útil são os denominados **CICLOS FIXOS**, que simplificam a programação e reduzem o tamanho dos programas. Esses ciclos estão disponíveis para furação, torneamento cilíndrico, faceamento, sangramento de canais, torneamento longitudinal e transversal e roscamento.

Ao término do ciclo a ferramenta retorna às coordenadas iniciais anteriores ao comando

G74 – Ciclo de furação com descarga de cavacos

G74 R	
R	Retorno incremental para quebra do cavaco
G74 Z Q F	
Z	Posição final (absoluta)
Q	Incremento por penetração (mm)
F	Avanço

Exemplo:



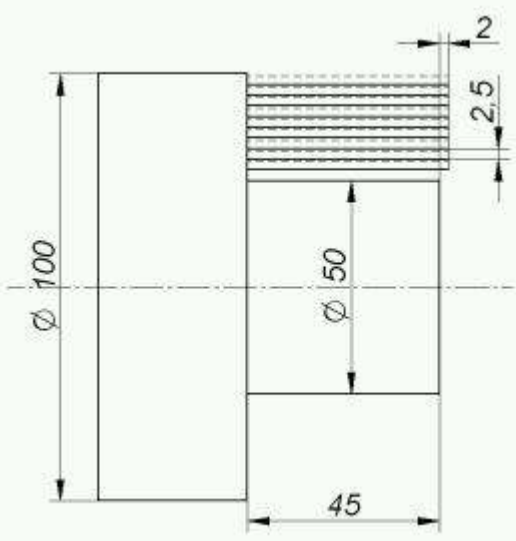
N010 G00 X0 Z5. M08
 N020 G74 R2.
 N030 G74 Z-69. Q12000 F.1

G74 – Ciclo de torneamento cilíndrico

G74 X Z P Q R F	
X	Diâmetro final
Z	Comprimento final
P	Incremento por passada no raio (mm)
Q	Comprimento total de corte (mm)
R	Recuo no eixo transversal (mm)
F	Avanço

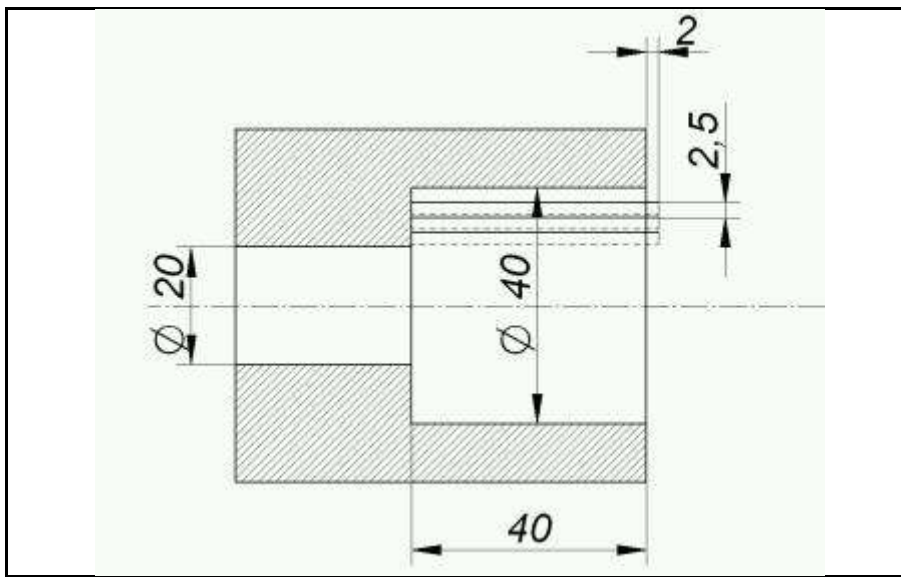
O posicionamento inicial em X deve ser feito no diâmetro da primeira passada, já o primeiro incremento.

Exemplo para desbaste externo:



N010 G00 X95. Z2. M08
 N020 G74 X50. Z-45. P2500
 F.25

Exemplo para desbaste interno, com um pré-furo de 20 mm de diâmetro:



N010 G00 X25. Z2. M08
 N020 G74 X40. Z-40. P2500
 F.25

G71 – Ciclo automático de desbaste longitudinal

A função G71 é programada em dois blocos, como a operação G74 para furação. Associado ao G71 pode-se usar a função **G70** que ativa o **ciclo de acabamento**, sem a necessidade de um sub-programa.

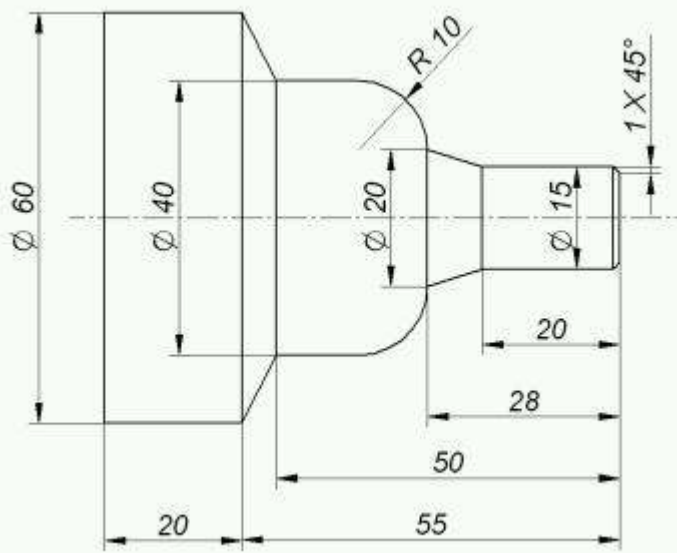
G70 P Q	P número do bloco que define o início do perfil	Q número do bloco que define o final do perfil
---------	-------------------------------------------------	------------------------------------------------

G71 U R	U valor da profundidade de corte no raio	R recuo da ferramenta no eixo X
---------	------------------------------------------	---------------------------------

G71 P Q U W F	
P	Número do bloco que define o início do perfil
Q	Número do bloco que define o final do perfil
U	Sobremetal para acabamento no eixo X (positivo para acabamento externo e negativo para acabamento interno)
W	Sobremetal para acabamento no eixo Z (positivo para acabamento à direita e negativo para acabamento à esquerda)
F	Avanço

Para essa função, não se pode programar Z no primeiro bloco que define o perfil. Essa função permite a execução de mergulhos, de modo que as coordenadas devem ser crescentes para perfis externos e decrescentes para usinagens internas. Todas as informações sobre a ferramenta, avanço, rotação, velocidade, troca de ferramentas, podem ser incluídas dentro do ciclo.

Exemplo para torneamento externo:



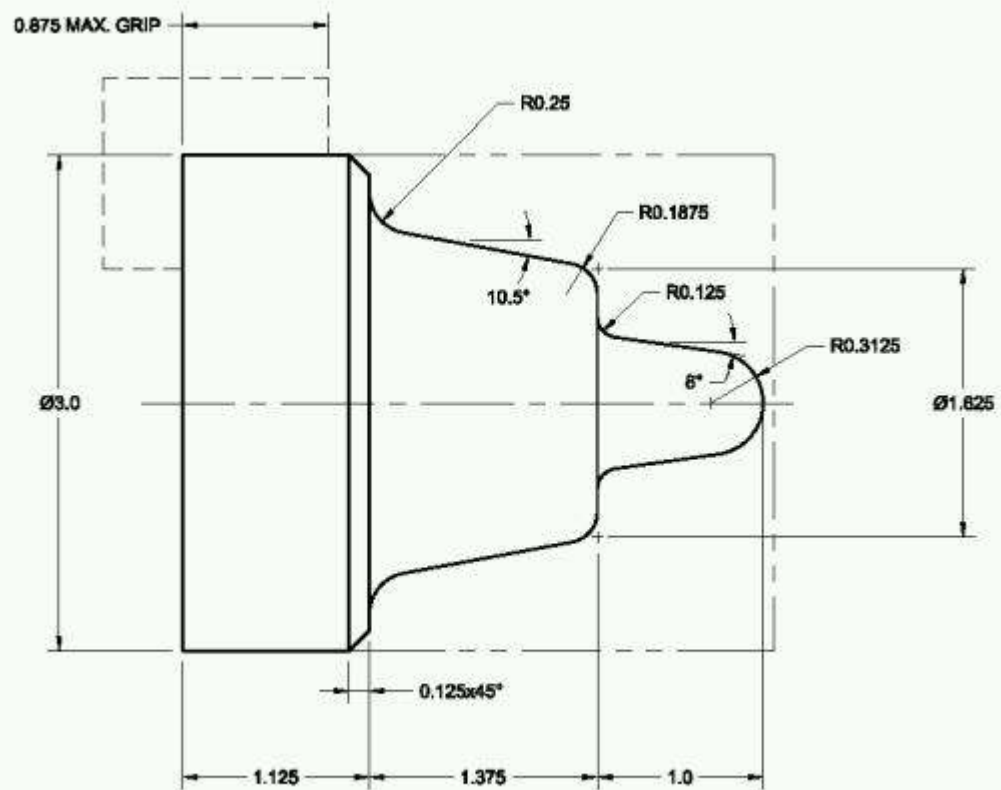
```

N010 G00 X60. Z2. M08
N020 G71 U2.5 R2.
N030 G71 P40 Q110 U1. W0.1
N040 G01 X11.
N050 G01 Z1. F.5
N060 G01 X15. Z-1 F.15
N070 G01 Z-20.
N080 G01 X20. Z-28.
N090 G03 X40. Z-38. R10.
N100 G01 Z-50.
N110 G01 X60. Z-55.
N120 G42
N120 G70 P40 Q110
N130 G40
N140 G00 X65. Z5. M09

```

Exercício da SEXTA AULA:

- 1) Escrever o programa em linguagem G usando comandos de interpolação ou comandos para o torneamento da peça mostrada na figura abaixo.
- 2) Reescrever o programa do eixo-exemplo, usando as funções apresentadas nesta aula



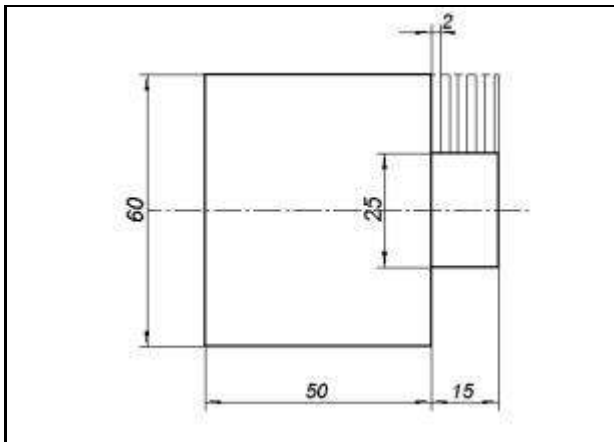
Na **SÉTIMA AULA** veremos mais algumas funções relacionadas com ciclos fixos

automáticos dos comandos CNC.

G75 - Ciclo de faceamento

G75 X Z P Q R F	
X	Diâmetro final do faceamento
Z	Comprimento final
P	Incremento total de corte no eixo X, no raio (mm)
Q	Incremento por passada no eixo Z (mm)
R	Recuo no eixo Z
F	Avanço

Exemplo de faceamento:

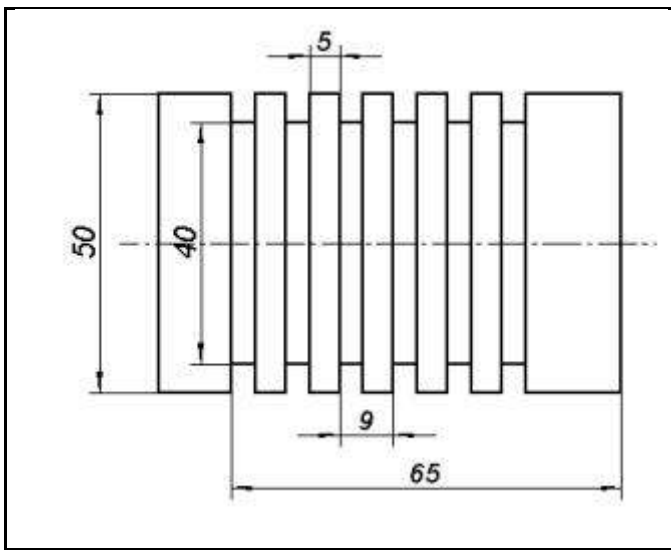


N010 G00 X62. Z-2. M08
N020 G75 X25. Z-15. P18500 Q2000 R2. F.25

G75 - Ciclo de sangramento de canais

Como em outras funções, também são necessários dois comandos:

G75 R	
G75 X Z P Q F	
R	Recuo incremental no raio para quebra do cavaco
X	Diâmetro final do canal
Z	Coordenada final (último canal)
P	Incremento total de corte no eixo X, no raio (mm)
Q	Incremento relativo à distância entre os canais (mm)
F	Avanço



```

N010 G00 X52. Z-20. M08
N020 G75 R2.
N030 G75 X40. Z-65. P6000 Q9000 F.12

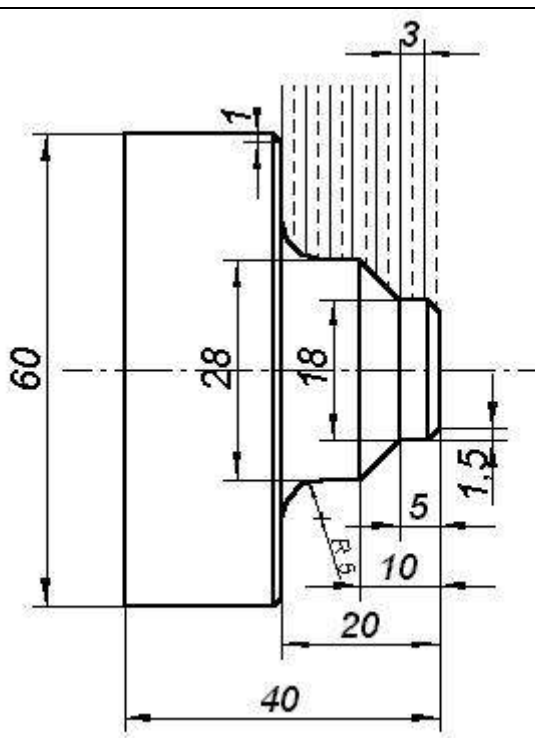
```

Os canais devem ser equidistantes e a ferramenta deve ser posicionada no comprimento do primeiro canal.

G72 – Ciclo automático de desbaste transversal

Como em outras funções, também são necessários dois comandos:

G72 W R	
G72 P Q U W F	
W	Profundidade de corte
R	Recuo longitudinal ao final de cada passada
P	Número do bloco que define o início do contorno
Q	Número do bloco que define o final do contorno
U	Sobremetal para acabamento no eixo X (positivo para acabamento externo e negativo para acabamento interno)
W	Sobremetal para acabamento no eixo Z (positivo para acabamento à direita e negativo para acabamento à esquerda)
F	Avanço



```

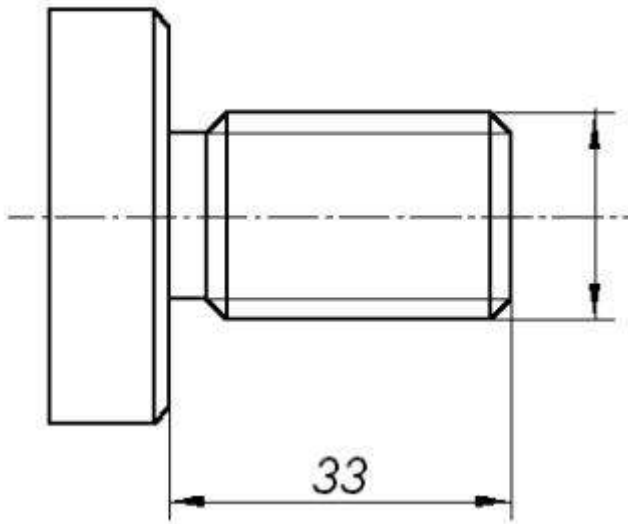
N010 G00 X60. Z2. M08
N020 G72 W3. R2.
N030 G72 P40 Q120 U1. W0.1 F.25
N040 G01 Z-21.
N050 G01 X60 F0.5
N060 G01 X58. Z-20 F.15
N070 G01 X38.
N080 G03 X28. Z-15. R5.
N090 G01 Z-10
N100 G01 X18. Z-5.
N110 G01 Z-1.5
N120 G01 X15. Z0.
N130 G42
N140 G70 P40 Q120
N150 G40
N160 G00 X65. Z5. M09

```

O eixo X não pode ser programado no primeiro bloco do contorno, também não podem ser feitos mergulhos, de modo que as coordenadas devem ser crescentes para usinagens externas e decrescentes para usinagens internas, e a programação do contorno deve ser feita da esquerda para a direita.

G33 - Ciclo de roscamento sentença por sentença

G33 Z F
Z Coordenada do comprimento final da rosca
F Passo da rosca



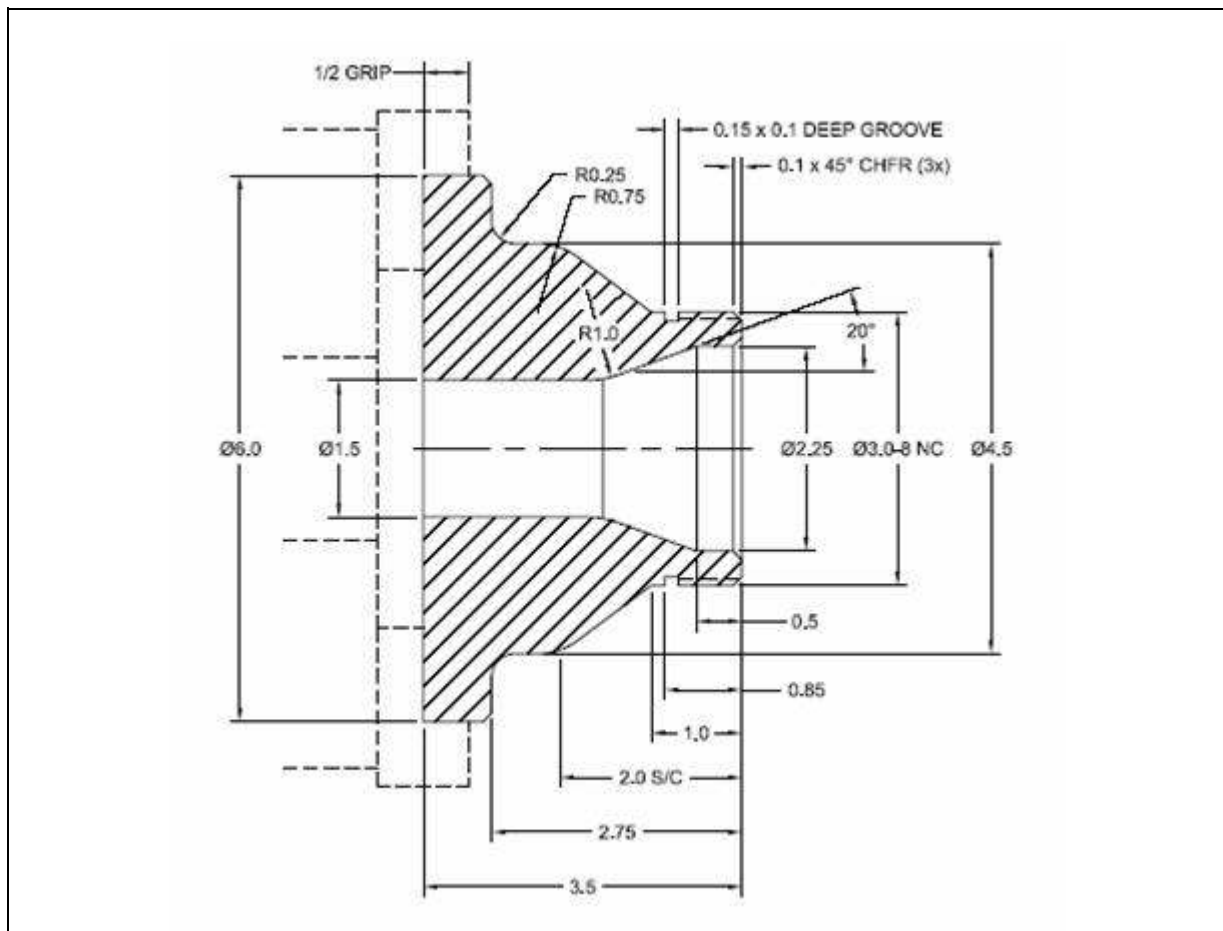
```

N010 G00 X19.15 Z-5. M08
N020 G33 Z-32.5 F1.5
N030 G00 X22.
N040 G00 Z5.
N050 G00 X18.55
N060 G33 Z-32.5
N070 G00 X22.
N080 G00 Z5.
N090 G00 X18.15
N100 G33 Z-32.5
N110 G00 X22.
N120 G00 Z5.
N130 G00 X18.05
N140 G33 Z-32.5
N150 G00 X25.

```

Exercício da SÉTIMA AULA:

1) Passar o desenho abaixo para o CAD com dimensões em mm e escrever o programa na linguagem G



Na **OITAVA AULA**, veremos outras funções G para as operações de roscamento

G76 - Ciclo de roscamento automático

A função G76 é mais completa que a G33 e permite tornear vários tipos de rosca com apenas dois blocos de comandos, como mostrados a seguir:

G76 P (m,r,a) Q R	
P Introdução dos dados: m - número de repetições do último passe, r - comprimento da saída angular da rosca a - ângulo da ferramenta	
Q - mínima profundidade de corte no raio (mm)	
R - Profundidade do último passe no raio (mm)	

G76 X Z R P Q F	
X	Diâmetro final absoluto do roscamento
Z	Coordenada Z final do roscamento
R	Conicidade incremental no eixo X em raio (positivo para rosca interna e negativo para rosca externa)
P	Altura do filete da rosca no raio (mm)
Q	Valor do primeiro passe (mm)
F	Passo da rosca

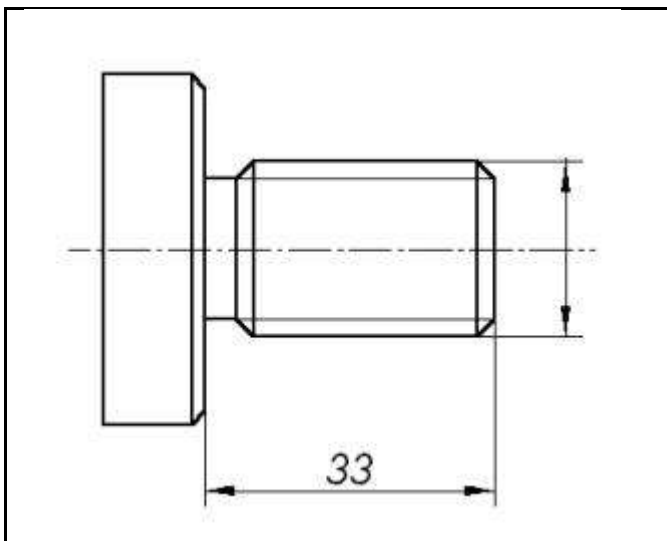
Para roscas métricas a altura P pode ser calculada por: $P = 0,65 * \text{Passo}$

Para roscas NPT, P é calculada por $P = 0,866 * \text{Passo}$

O valor Q da profundidade da primeira passada em raio é dada por

$$Q = \frac{P}{\sqrt{2}}$$

Para o exemplo de peça rosca anterior, considerando-se quatro passadas, temos o seguinte programa:



N010 T0101
 N020 M06
 N030 M12
 N040 G97
 N050 S1500 M03
 N060 G00 X25. Z4.5 M08
 N070 G76 P010060
 N080 G76 X18.05 Z-32.5 P975 Q487.5 F1.5
 N090 G00 X30. Z10 M09

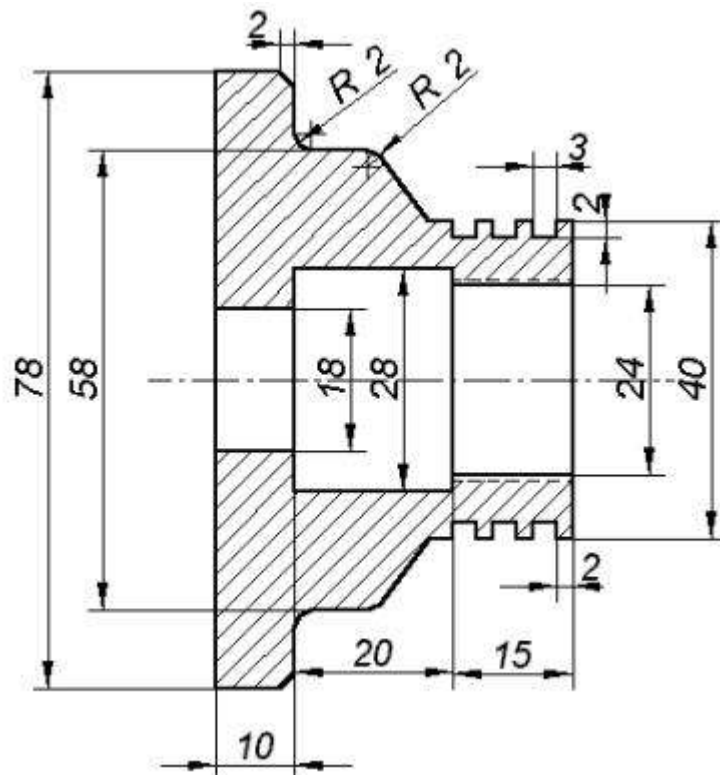
G84 - Ciclo de roscamento com macho

G84 Z F
Z - coordenada final da rosca
F - Passo da rosca

Essa função deve ser seguida pela função G80 que cancela o ciclo anterior.

Exercício da OITAVA AULA:

Escreva o programa para torneiar a peça mostrada a seguir

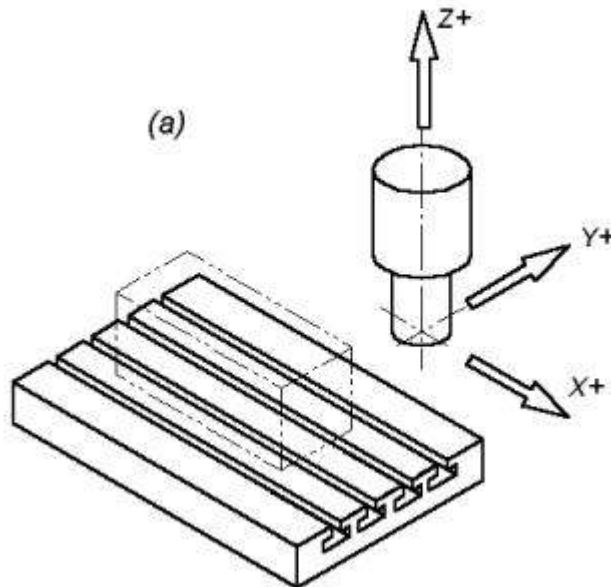


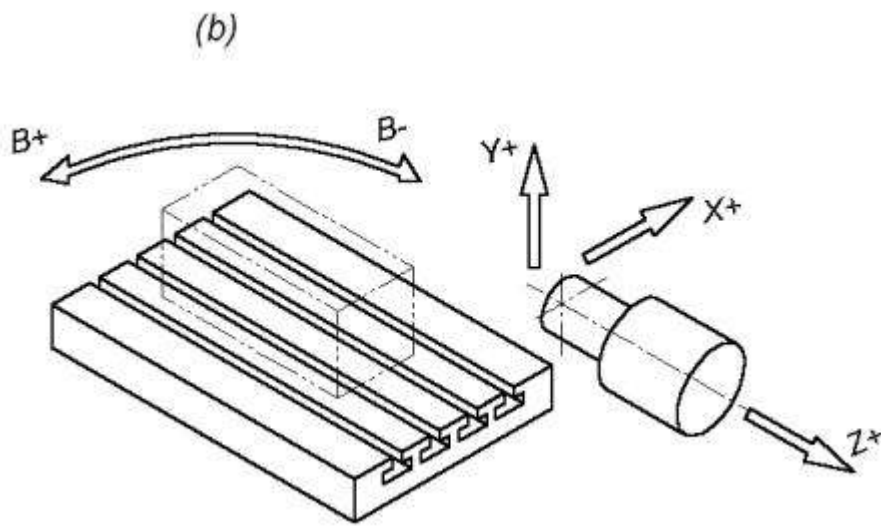
A partir da **NONA AULA** aprenderemos a programação na linguagem para as operações de **Fresamento**.

Os equipamentos para fresamento e os centros de usinagem são classificados em função do número de eixos (dois, três ou mais), pela orientação dos eixos (vertical ou horizontal) e pela presença ou não de um sistema para troca de ferramentas, como o mostrado na figura abaixo que é montado nos centros de usinagem da Hass Automation



Em função do movimento do eixo-árvore, esses equipamentos podem ser denominados verticais (figura a) ou horizontais (figura b).





Como pode ser observado nessas figuras, os equipamentos verticais são mais empregados para operações que ocorrem em sua maior parte para uma só superfície horizontal enquanto que nos equipamentos horizontais a maior parte das operações ocorre em diversas faces, o que exige a existência de um quarto eixo para a rotação da peça a fim de posicionar as diferentes faces durante a usinagem.

Neste estudo usaremos como referência para a definição de área de trabalho e potência disponível, entre outras características, o centro de usinagem vertical Romi [Discovery 1250](#) e o centro de usinagem horizontal Romi [PH400](#).

Exercício da NONA AULA: Escrever e simular o programa em linguagem G para a fabricação no centro de usinagem vertical de uma placa com o símbolo da Unicamp. Neste exercício não se deve utilizar as funções de ciclos fixos.

Na **DÉCIMA AULA** aprenderemos que os planos de trabalho **XY (de topo)**, **XZ (frontal)** e **YZ (lateral)** podem ser definidos respectivamente pelas funções **G17**, **G18** e **G19**.

Duas outras funções muito úteis em operações em centros de usinagem são a **G16** e a **G15**, responsáveis respectivamente pelo acionamento e pelo cancelamento do sistema de coordenadas polares, o que é muito útil quando se tem operações que se repetem ao longo de um círculo.

Com o sistema polar ativo, considerando-se o plano de trabalho XY, a **coordenada X** passa a referir-se ao **raio do círculo**, e a **coordenada Y** ao respectivo **ângulo** medido a partir da posição 0° .

A função **G81** apresentada a seguir pode ser usada para ciclos fixos de furação. Ela deve ser precedida dos comandos **G98** ou **G99** que deslocam a ferramenta para coordenadas seguras no eixo Z evitando o choque com possíveis obstáculos (como por exemplo, grampos de fixação ou saliências na peça a usinar) e ao mesmo tempo, evitando que o comando do ciclo tenha que ser interrompido para ultrapassar esses obstáculos.

A função **G98** faz com que após cada passe do ciclo a ferramenta volte para a última posição Z definida antes dos blocos do ciclo. Já **G99** faz com que a ferramenta volte a cada execução do ciclo para a coordenada Z indicada pelo parâmetro R na função G81.

O uso de ou G98 ou G99 dependerá do percurso a ser seguido pelas ferramentas e da produtividade que se deseje nas operações.

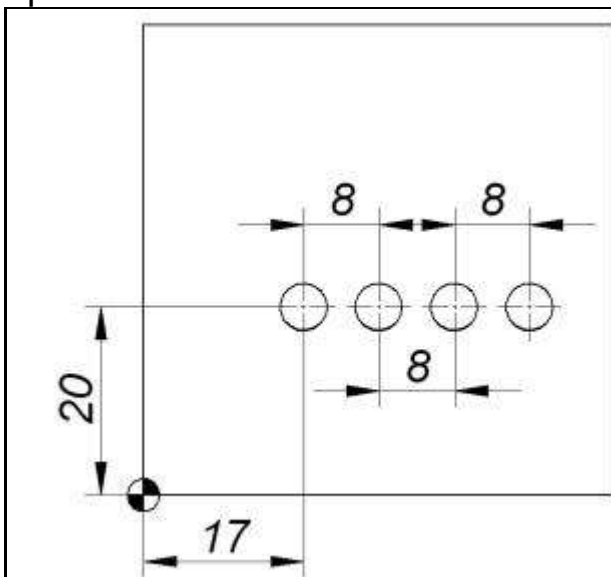
G98 ou G99	
G81 X Y R Z F	
X	Coordenada X do centro do furo
Y	Coordenada Y do centro do furo
R	Coordenada Z para recuo da ferramenta após passe
Z	Coordenada final Z do furo
L ou K	Número de repetições do ciclo
F	Avanço

O ciclo fixo de roscamento com macho nos centros de usinagem também utiliza o comando **G84** visto para o torneamento, porém com sintaxe própria e precedido pelas funções G98 e G99.

G98 ou G99	
G84 X Y R Z F	
X	Coordenada X do centro do furo
Y	Coordenada Y do centro do furo
R	Coordenada Z para recuo da ferramenta após passe
Z	Coordenada final Z do furo
F	Avanço

Para alguns comandos CNC pode-se repetir os ciclos G81 e G84 para realizar diversos furos posicionados ao longo de um eixo ou ao redor de um círculo, pela definição do parâmetro **K** ou **L**. Para tanto, basta utilizar o comando **G91** (para coordenadas incrementais) e definir o deslocamento desejado em X ou Y.

Exemplo:



```

...
N030 G17 G40 G90 G95
N040 G81 X17. Y20. RO.1 Z-2.4 F12
N050 G91 X8. L3
N060 G90 G80
N070 G00

```

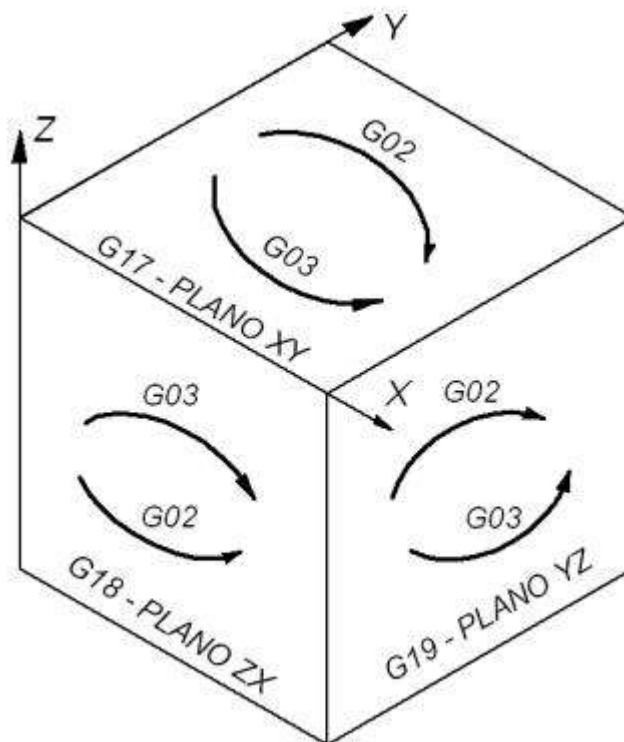
O comando **G40** deve sempre **preceder os blocos de ciclos fixos de furação e**

roscamento a fim de cancelar a compensação de raio, pois o diâmetro da broca ou do macho determinará diretamente o diâmetro do furo e as dimensões do furo ou rosca a usinar.

Já o comando **G80** deve ser usado para **finalizar os ciclos**, de modo a retornar à condição normal de programação, de modo que por exemplo, um novo valor de Z inicial possa ser definido.

Os comandos para execução de arcos no fresamento são idênticos aos comandos usados no torneamento, exceto pela necessidade de se definir o plano de trabalho para cada arco.

A figura a seguir apresenta os sentidos de interpolação circular para esses comandos em função do plano de trabalho escolhido.



O fresamento de **círculos completos** é bastante comum e no caso dos comandos FANUC pode-se utilizar as funções G02 e G03 para círculos completos, indicando-se as mesmas coordenadas para os pontos inicial e final. Porém, não se pode definir o raio R, mas necessariamente as coordenadas I, J ou K do centro do arco.

Exercício da DÉCIMA AULA: Escrever o programa completo em linguagem G para a usinagem em certo vertical da peça mostrada no desenho a seguir. O programa deverá conter todos os comandos de preparação, de escolha de unidades, de avanço, de velocidade, de troca de ferramentas, passes de desbaste, passes de acabamento ...

Os furos roscados deverão ser usinados usando-se o sistema polar de coordenadas.

Como seriam a localização e fixação que facilitariam a usinagem dessa peça?

A função M98 deve ser sempre seguida pela letra P e pelo número do sub-programa. O uso do parâmetro L (ou K) é opcional e refere-se ao número de execuções do sub-programa. O valor padrão para L é **um**, ou seja, no mínimo o sub-programa será realizado uma vez.

Se não se desejar executar o sub-programa para uma dada coordenada, pode-se empregar o parâmetro **L = 0**.

Já a função M99 encerra o sub-programa e retorna o processamento ao programa principal, ou no bloco imediatamente posterior à chamada desse sub-programa, ou para um bloco específico do programa principal, como no exemplo a seguir, em que após a execução do sub-programa ocorre o retorno para o bloco 20 do programa principal que não necessariamente é o bloco imediatamente após a chamada inicial do sub-programa:

```
:2100 (2100 é o número do sub-programa)
```

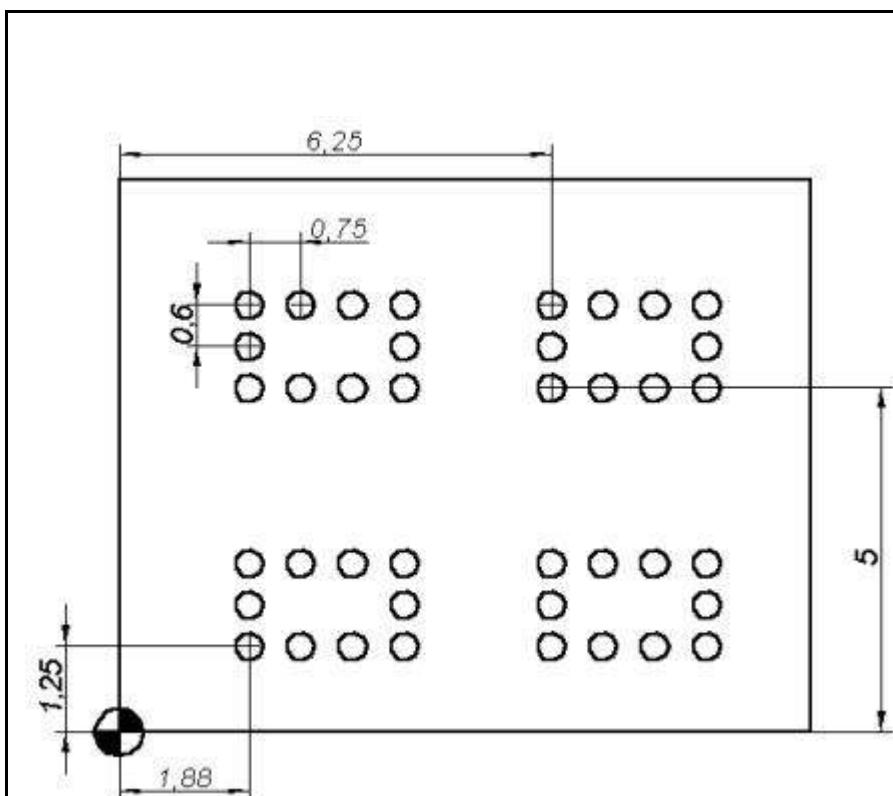
```
.....
```

```
.....
```

```
M99 P70
```

```
%
```

O programa a seguir é um exemplo do uso de sub-programas bem como de outras possibilidades de uso dos parâmetros L (ou K) para repetições em outras funções G. O padrão com 10 furos deve ser realizado quatro vezes, representadas pelas quatro chamadas do sub-programa (blocos 6, 8, 10 e 12). Já dentro do padrão, os furos devem ser repetidos três vezes na horizontal e duas vezes na vertical, o que é conseguido no sub-programa respectivamente com os blocos 551 e 553 (L = 3) e 552 (L = 2).



```
:3955 (SUB-PROGRAMA)
```

```
N551 G91 X0.75 L3
```

```
N552 Y0.6 L2
```

```
N553 X-0.75 L3
```

```
N554 Y-0.6
```

```
N555 M99
```

```
%
```

```
:3904 (PROGRAMA PRINCIPAL)
```

```
N1 G20
```

```
N2 G17 G40 G80 T01 M06
```

```
N3 G90 G00 G54 X1.88 Y1.25 T02
```

```
N4 G43 Z1.0 S350 M03 H01
```

```
N5 G99 G81 R0.1 Z-0.269 F3.5
```

```
N6 M98 P3955
```

```
N7 G90 X6.25 Y1.25
```

```
N8 M98 P3955
```

```
N9 G90 X6.25 Y5.0
```

```
N10 M98 P3955
```

```
N11 G90 X1.88 Y5.0
```

N12 M98 P 3955
N13 G80 G90 G28 Z1.0 M05
N14 G91 G28 X0 YO
.....

Deve-se observar nos blocos 2 e 3 do programa principal, o uso específico do comando T para a programação de centros de usinagem.

Também são observados pela primeira vez, as funções G43 e G54 que são funções relacionadas respectivamente com o valor de offset do comprimento da ferramenta e com o sistema de coordenada adotado para a usinagem dessa peça.

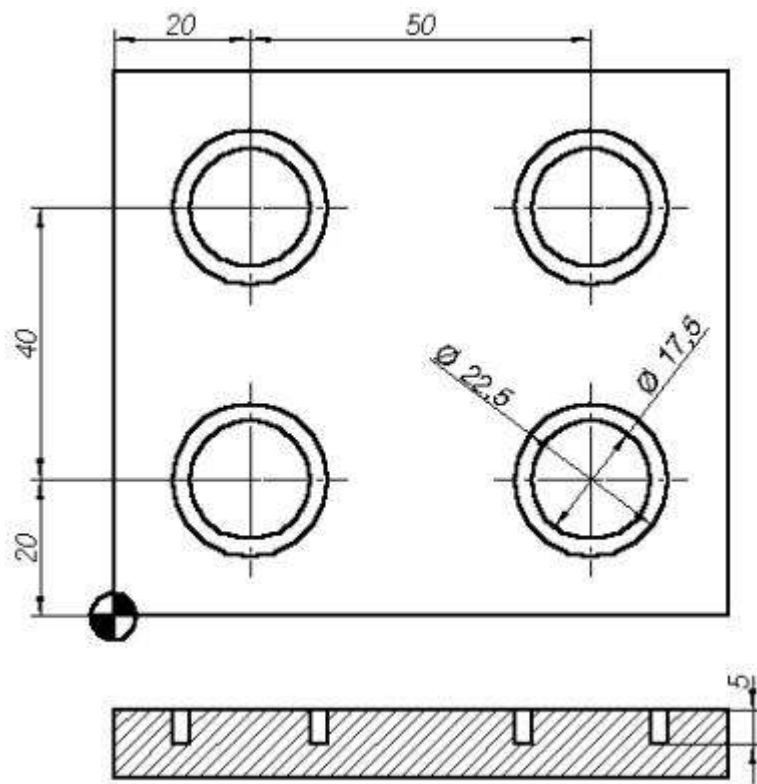
Esses comandos serão discutidos em aula futura que tratará das funções para definição dos sistemas de coordenadas e de offsets.

No bloco 2, a ferramenta 01 é selecionada (função T02) e somente é acoplada ao eixo-árvore pelo comando M6 (Troca automática de ferramenta). Já no bloco 3, a função T02 apenas indica que a ferramenta deve ser posicionada para troca, o que somente se efetivará com um novo comando M06 (denominado ATC – automatic tool changer).

Os sub-programas podem ser estruturados chamando outros sub-programas. Alguns comandos CNC modernos permitem até 4 níveis de hierarquia para a chamada interna de sub-programas.

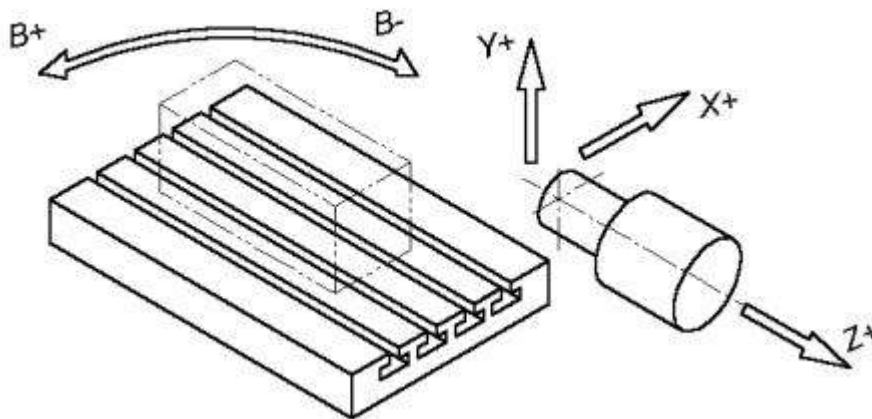
Exercício da Décima Primeira Aula:

Para a confecção das ranhuras na peça mostrada na figura a seguir, elabore o programa em linguagem G utilizando dois níveis de hierarquia de sub-programas. Utilize uma fresa de topo com diâmetro igual ao da largura da ranhura e considere a remoção de 1 mm de profundidade por passe de fresamento.



Na **Décima Segunda Aula** veremos a programação de **Centros de Usinagem Horizontais**.

Para esses equipamentos têm-se procedimentos de programação semelhantes aos empregados aos centros verticais, exceto pela presença de um **quarto eixo B** responsável pela rotação da peça, como mostrado na figura a seguir.

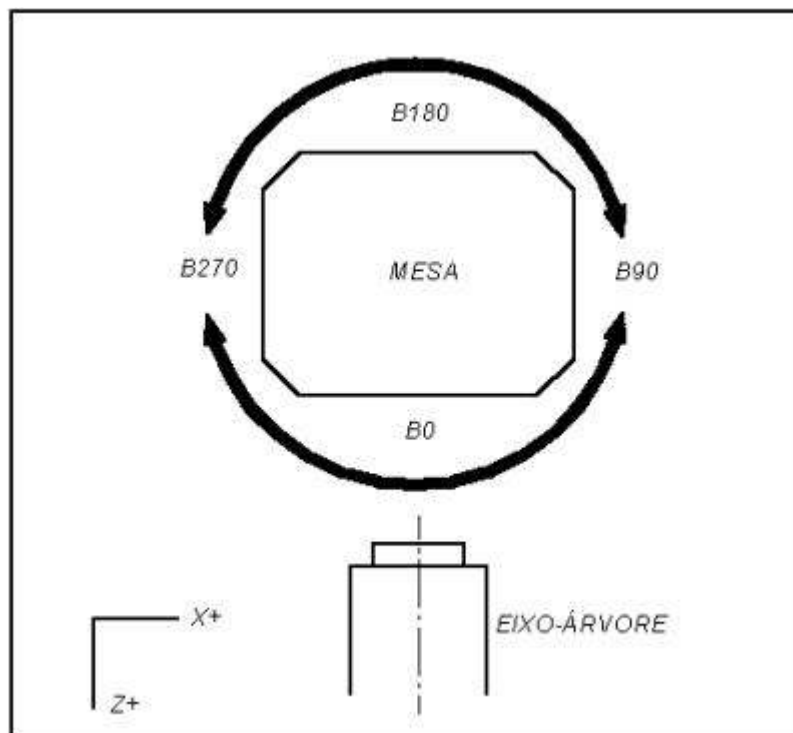


Esse quarto eixo pode ser empregado apenas para posicionar a peça, quando é denominado **eixo de indexação**, ou também pode ser empregado para rotacionar a peça durante sua usinagem, quando então é denominado **eixo de rotação**, que é a situação mais comum nos centros horizontais.

Duas funções miscelâneas, por exemplo **M78 e M79** respectivamente, são utilizadas para travar e destravar a mesa giratória ao corpo do centro de usinagem, de modo que M78 deve ser definida antes que se inicie a usinagem e M79 previamente a todo movimento de rotação da mesa.

As rotações em torno do eixo B podem ser programadas em graus tanto de forma absoluta (G90) ou incremental (G91), no sentido horário ou no sentido anti-horário, como mostra a figura a seguir quando se observa a mesa giratória de topo. Para tanto, podem ser usados

valores positivos ou negativos de ângulos.



Outra característica interessante dos centros de usinagem horizontais é a existência de dois ou mais “pallets”, como no caso da [ROMI PH400](#) que apresenta dois pallets, de modo que enquanto a peça em um dos pallets está sendo usinada (na área de trabalho), no outro pallet pode-se preparar outra peça (na área de set up), sem perda de tempo para o set up caso houvesse um só pallet. No caso da PH400 vemos que para peças até 250 kg o tempo de troca dos pallets é de oito segundos, o que minimiza o tempo de espera entre usinagens.

O comando para troca de pallets é a função miscelânea **M60** (denominada ATP – automatic pallet changer). Esse comando deve ser sempre acompanhado das funções G28 (retorno ao ponto de referência primária) e **G30** (retorno ao ponto de referência secundária), de modo que se garanta que no momento da troca os pallets estejam posicionados nas coordenadas de troca, como mostra o exemplo de trecho de programa a seguir:

```
.....  
G91 G28 X0 Y0 Z0  
G28 B0  
M60          (CARREGA PALLET 1  
PARA USINAGEM)  
.....          (USINAGEM COM O  
PALLET 1)  
G91 G28 X0 Y0 Z0  
G28 B0  
M60          (DESCARREGA  
PALLET 1)  
G30 X0
```

PARA USINAGEM)

M60

(CARREGA PALLET 2

PALLET 2)

.....

(USINAGEM COM O

G30 X0

M60

PALLET 2)

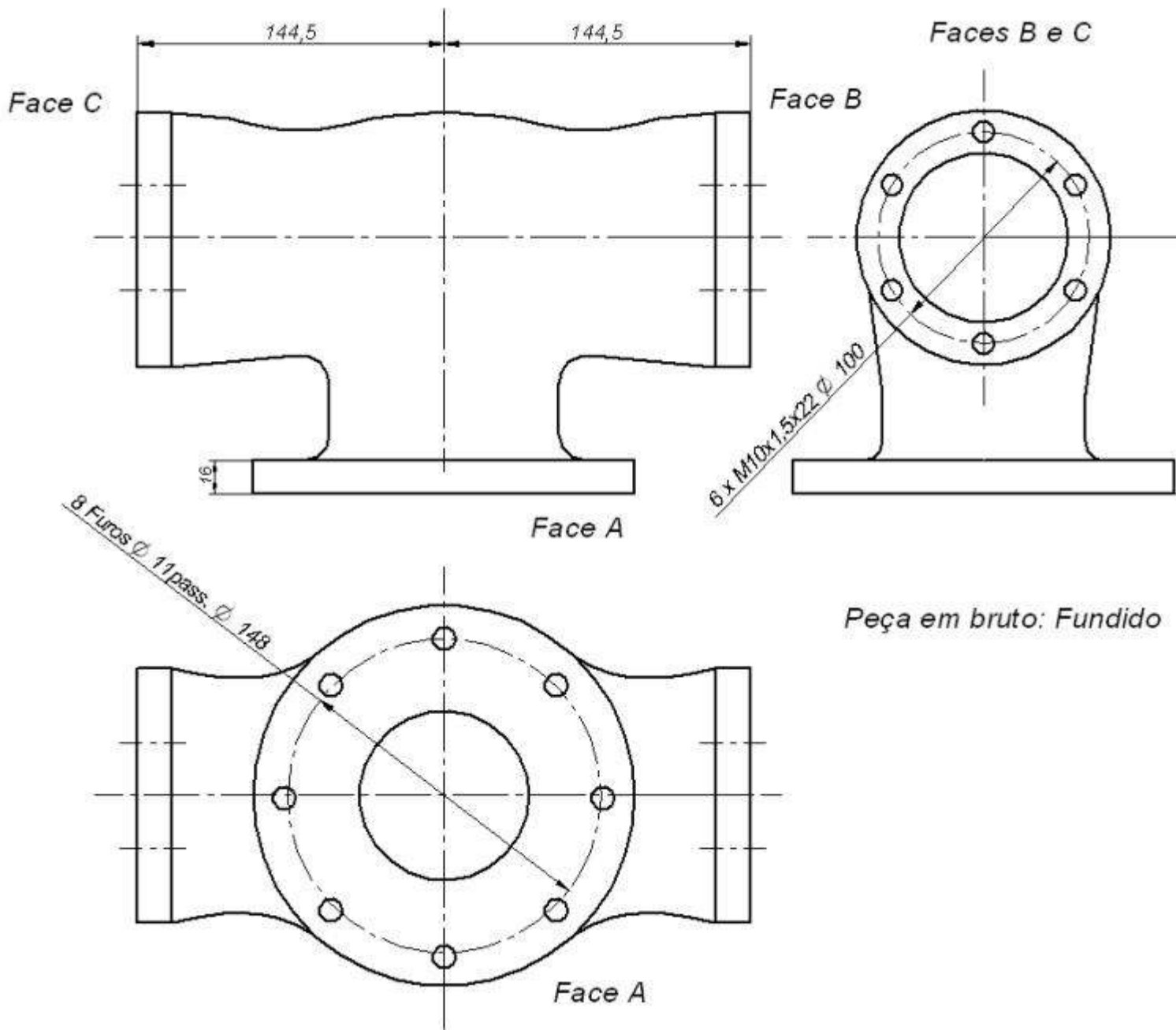
M30

(DESCARREGA

%

Exercício da Décima Segunda Aula:

Escrever o programa em linguagem para a fabricação no centro de usinagem vertical PH400 da peça mostrada na figura a seguir. Considerar o uso de sub-programas e também a existência de peças nos dois pallets.



Na **Décima Terceira Aula** apresentamos o programa a seguir que é uma solução para a usinagem dos furos dessa peça:

:11 (SUB PROGRAMA PARA LOCALIZAÇÃO DOS OITO FUROS NA FACE A)

```

N101 X74 Y0
N102 X52.326 Y52.326
N103 X0 Y74
N104 X-52.326 Y52.326
N105 X-74 Y0
N106 X-52.326 Y-52.326
N107 X0 Y-74
N108 X52.326 Y-52.326
N109 M99
%
```

%12 (SUB PROGRAMA PARA LOCALIZAÇÃO DOS SEIS FUROS NAS FACES B e C)

```

N201 X50 Y0
N202 X25 Y43.3
N203 X-25 Y43.3
N204 X-50 Y0
N205 X-25 Y-43.3
```

N206 X25 Y-43.3
N207 M99
%

:01 (PROGRAMA PRINCIPAL: FACE A (B0 e G54), FACE B (B90 e G55), FACE C (B270 e G56))

N1 G21G94

N2 G17 G40 G80

N3 G91 G28 Z0

N4 G28 X0 Y0

N5 M79

N6 G28 B0.0

N7 M78

N8 T01

(BROCA PARA FUROS DE CENTROS NAS TRÊS FACES)

N9 M06

N10 G90 **G54** G00 X74 Y0 S868 M03 T02

N11 G43 Z10 H01 M08

N12 G99 G82 R2 Z-5.8 P200 F150 L0

(G82 – CICLO FIXO PARA FUROS DE CENTRO

- P: PERMANÊNCIA EM MILISEGUNDOS)

N13 M98 P11

(FUROS DE CENTRO NA FACE A)

N14 G80 Z300

N15 M79

N16 B90.0

N17 M78

N18 **G55** X50 Y0 Z10

N19 G99 G82 R2.0 Z-5.3 P200 L0

N20 M98 P12

(FUROS DE CENTRO NA

FACE B)

N21 G80 Z300

N22 M79

N23 B270.0

N24 M78

N25 **G56** X50 Y0 Z10

N26 G99 G82 R2.0 Z-5.3 P200 L0

N27 M98 P12

(FUROS DE CENTRO NA

FACE C)

N28 G80 Z300 M09

N29 G91 G28 Y0 Z0 M05

N30 M01

N31 T02

(BROCA PARA PRÉ-FURAÇÃO DO

FURO ROSCADO – FACES B e C)

N32 M06

N33 G90 G56 G00 X50 Y0 S1137 M03 T03

N34 G43 Z10 H02 M08

N35 G99 G83 R2.0 Z24.8 Q6.0 F200.0 L0

(G83 – CICLO FIXO PARA FUROS

PROFUNDOS – Q: INCREMENTO POR PENETRAÇÃO)

N36 M98 P12

(PRÉ-FUROS NA FACE B)

N37 G80 Z300.0

N38 M79

N39 B90.0

N40 M78

N41 G55 X50 Y0 Z10.0

N42 G99 G83 R2.0 Z-24.8 Q6.0 L0

N43 M98 P12

(PRÉ-FUROS NA FACE C)

N44 G80 Z00.0 M09

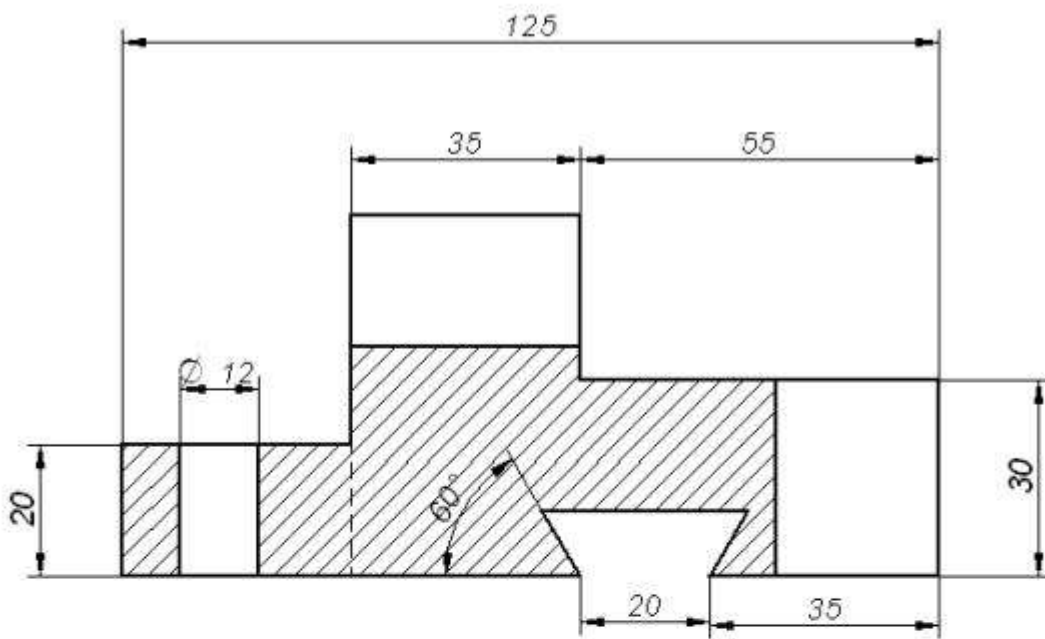
N45 G91 G28 Y0 Z0 M05

N46 M01

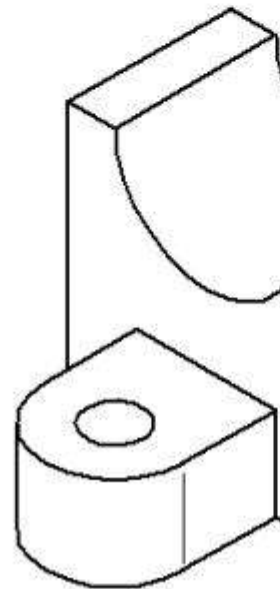
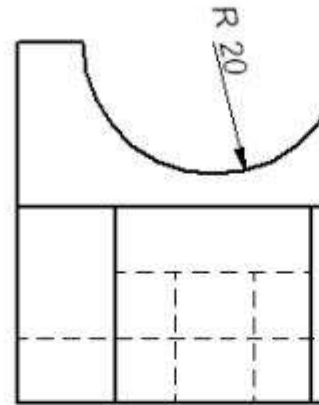
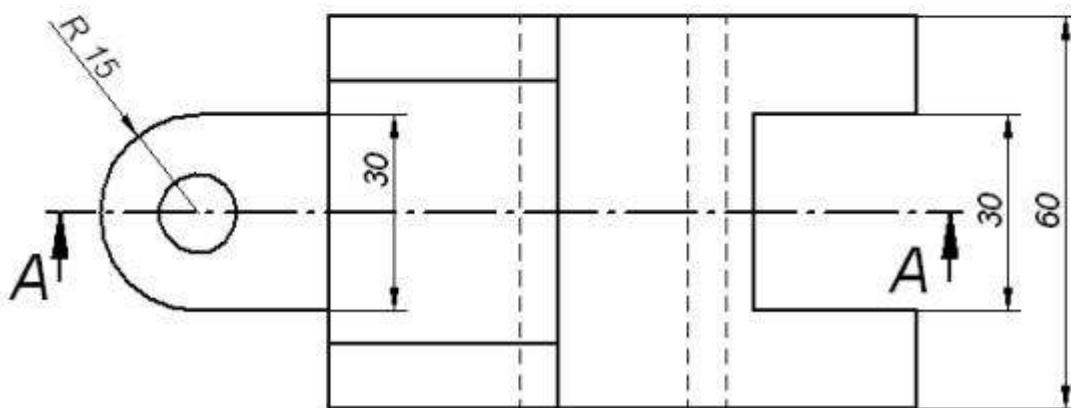
N47 T03	(MACHO M10x1,5)
N48 M06	
N49 G90 G55 G00 X50 Y0 S550 M03 T04	
N50 G43 Z10.0 H03 M08	
N51 G99 G84 R5.0 Z-23.0 F825.0 L0	
N52 M98 P12	(ROSCAMENTO COM MACHO NA
FACE B)	
N53 G80 Z300.0	
N54 M79	
N55 B270.0	
N56 M78	
N57 G56 X50. Y0. Z10.	
N58 G99 G84 R5.0 Z-23.0 L0	(G84 – CICLO FIXO PARA
ROSCAMENTO COM MACHO)	
N59 M98 P12	(ROSCAMENTO COM MACHO NA
FACE C)	
N60 G80 Z300.0 M09	
N61 G91 G28 Y0 Z0 M05	
N62 M01	
N63 T04	(BROCA DE 11 mm DE DIÂMETRO)
N64 M06	
N65 M79	
N66 B0.	
N67 M78	
N68 G90 G54 X74. Y0. S800 M03 T01	
N69 G43 Z10.0 H04 M08	
N70 G99 G81 R2.0 Z-20.3 P200 F225.0 L0	
N71 M98 P11	(8 FUROS NA FACE A COM BROCA
DE 11 mm DE DIÂMETRO)	
N72 G80 Z300.0 M09	
N73 G91 G28 X0 Y0 Z0 M05	
N74 M30	
%	

Exercício da Décima Terceira Aula

Elaborar o programa em linguagem G para a usinagem da peça mostrada na figura a seguir. Considerar que o material de partida é um bloco de aço com 130 x 65 x 60 (comprimento x largura x altura). Procurar fazer o programa mais completo e com o menor número de comandos.



Seção A-A



Na **Décima Quarta Aula** apresentamos o programa de simulação EdgeCAM (<http://www.edgecam.com/>) e com ele simulamos o exemplo de fresamento. Todos os passos para a simulação são apresentados no arquivo do [tutorial](#).

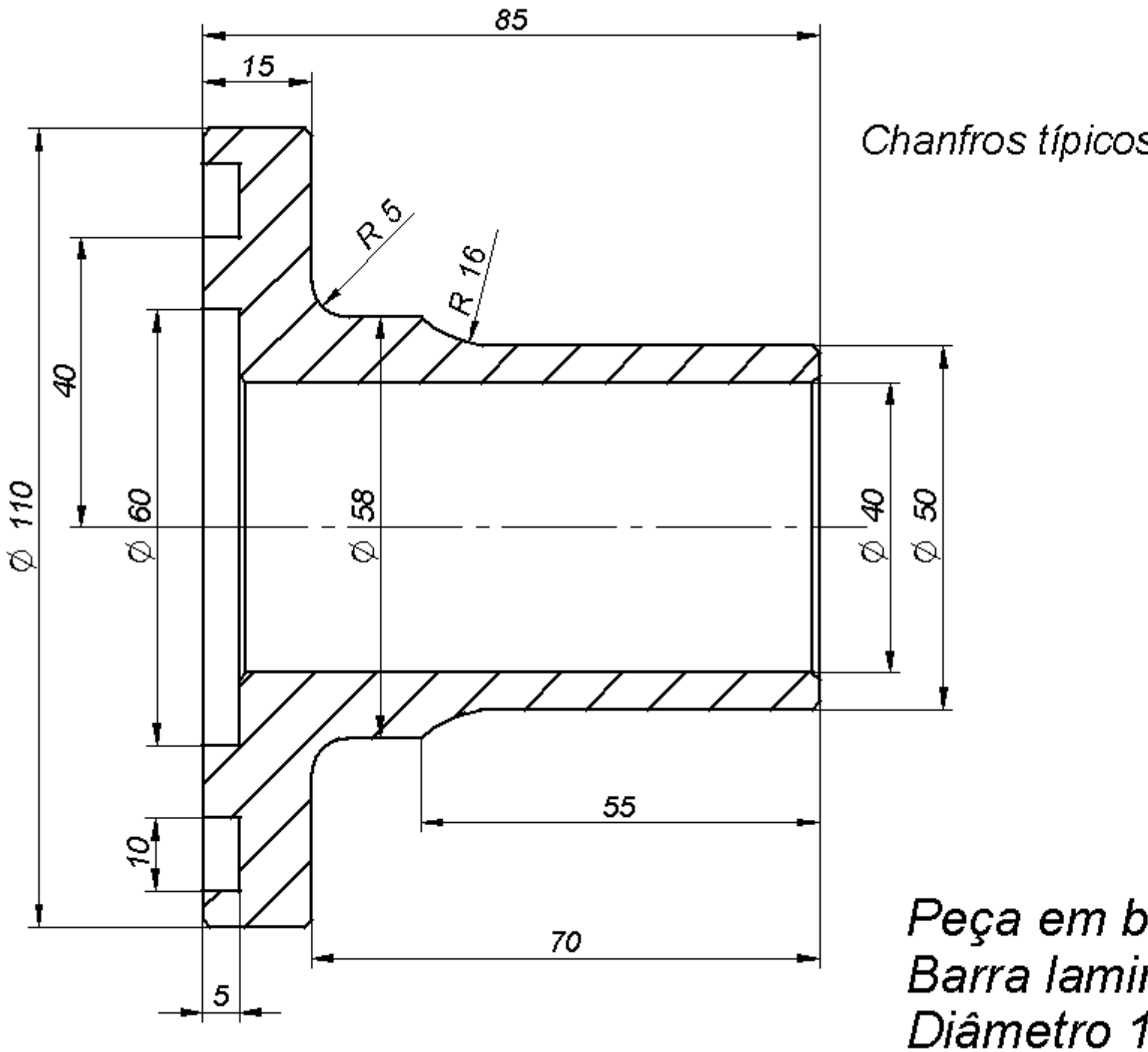
No exercício da **Décima Quinta Aula** será feita a simulação do processo de fresamento da peça do exercício da **DÉCIMA AULA**.

Atenção especial deve ser dada à escolha de ferramentas para evitar o choque contra a peça. Isso pode ser verificado acionando-se o comando para **Simular** logo após cada operação de usinagem ser inserida.

Procure comparar os percursos de fresamento gerados pelo simulador com os percursos definidos no seu programa em linguagem da décima aula.

Na **Décima Sétima Aula** será feita a simulação do processo de torneamento utilizando o programa EdgeCAM. Para esse exercício será utilizada a peça mostrada na figura a seguir, que deverá ser modelada no ProEngineer para ser empregada no programa de simulação.

Os procedimentos para a simulação são semelhantes aos utilizados para o exercício de fresamento. Caso haja dúvidas, pode-se consultar o [tutorial disponível em português](#) na página 40 para o torneamento.



Na **Décima Nona Aula** refaremos o exercício da **oitava aula**, agora com a simulação do torneamento no EdgeCAM.

Considere um tarugo de Aço (100 HB) com diâmetro de 84 mm e comprimento de 50 mm. Elabore o modelo no ProE de modo que as ranhuras sejam entendidas como *Features*

isoladas pelo EdgeCAM.

Gere a rosca interna que deverá ser interpretada como um perfil roscado pelo EdgeCAM.

Crie uma ferramenta para sangramento externo com largura adequada para a usinagem dos canais.

A seguir apresentam-se alguns Comandos básicos para o torneamento no *EdgeCAM*:

1) Definição do ambiente de torneamento:

Options

Profiles

Turn Profile

default.config

2) Definição da peça a ser torneada

Open (modelo ProE)

3) Definição do processo de torneamento

Switch to Manufacture Mode

Discipline: Turn

Machine Tool: fanuc2x.tcp

4) Volta ao modo de desenho para adequar os eixos X e Z

Switch to Design Mode

Solids

Transform Solid

Rotate

O comando *Align Body For Turning* também pode ser usado para posicionar a peça, substituindo os comandos *Rotate* e *Translate*.

5) Definição automática das Features para torneamento

Feature Finder

6) Definição do tarugo

Geometry

Stock/Fixture

Automatic Stock (com essa opção pode-se definir o tamanho do tarugo)

Cylinder

Start Extension
Radius Extension
End Extension

Options

Model

Component Material (definição do material do tarugo)

7) Volta ao modo de manufatura para a definição das operações de torneamento

Switch to Manufacture Mode

Na **Vigésima Aula** refaremos o exercício da **Décima-sétima aula**, para simulação do torneamento no EdgeCAM, agora desenhando o perfil a ser torneado utilizando os comandos de desenho do próprio EdgeCAM disponíveis no **Design Mode**.

Com isso, conseguiremos separar as diversas *Features*, sem o inconveniente da tradução do sólido do ProE.

Neste exercício, recomenda-se que o **zero-peça** seja posicionado no centro da face esquerda, que tem o rebaixo (ou seja, iniciar a cotação partindo do centro dessa face) para executar-se o faceamento dessa face, o sangramento do rebaixo, o torneamento do diâmetro de 110 mm e o torneamento interno.

No desenho do perfil, use sempre o comando **P (ou p)** para definir os pontos de início e final de segmentos de reta e de arcos.

Verifique que usando o perfil não há necessidade de encontrar-se as *Features*. O restante dos comandos é idêntico aos usados quando se importa o sólido ProE.

Na **Vigésima Primeira Aula** aprenderemos a utilizar o Pro/E para a simulação de processos de usinagem que permitirá a geração do arquivo em linguagem ISO G para uma peça a ser obtida por fresamento ([Exemplo.prt](#))

Essa será a peça estudada no [tutorial disponível](#) na Internet e também impresso que foi traduzido a partir de um texto do *Prof. Stephen M. Batill* da Universidade de Notre Dame e que contém os principais comandos do Pro/E relacionados com os procedimentos para *Manufacturing*.

Na **Vigésima Segunda Aula** utilizaremos o *Manufacturing* do Pro/E para a simulação e geração do programa para a usinagem da peça da **Décima Aula**. Uma comparação interessante pode ser feita entre o código G que desenvolvemos naquela aula e o gerado nesta pelo Pro/E.

Na **Vigésima Terceira Aula** usaremos o Pro/E para a simulação de processos de usinagem que permitirá a geração do arquivo em linguagem ISO G para uma peça a ser obtida por torneamento ([torneado.prt](#))

Essa será a peça estudada no [tutorial disponível](#) na Internet e também impresso que foi traduzido a partir de um texto do *Prof. David Cheshire* da Universidade Staffordshire e que contém os principais comandos do Pro/E relacionados com os procedimentos para desenvolver o torneamento no *Manufacturing*.

Na **Vigésima Quarta Aula** concluiremos o tutorial de torneamento com a usinagem de furos axiais e radiais e faremos o processo de torneamento da peça da oitava aula.