

MANUAL DO ALUNO

# DISCIPLINA CAD/CAM/CNC

Módulos 1, 2 e 3

República Democrática de Timor-Leste  
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE CAD / CAM / CNC

Módulos 1 a 3

AUTOR

NUNO BOAVIDA

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA

XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO



PEDRO VIEGAS, COORDENADOR DO CURSO TÉCNICO DE MECÂNICA

DESIGN E PAGINAÇÃO

UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA

EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

XXXXXX

ISBN

XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM

XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE

2015



## Índice

<b>CNC .....</b>	<b>5</b>
<b>APRESENTAÇÃO MODULAR .....</b>	<b>6</b>
APRESENTAÇÃO .....	6
OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM .....	6
ÂMBITO DOS CONTEÚDOS .....	6
<b>BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUÇÃO AO CNC .....</b>	<b>9</b>
DEFINIÇÃO DE CN .....	9
SISTEMA DE COORDENADAS .....	11
PROGRAMA DE MAQUINAÇÃO.....	14
MOVIMENTO DA FERRAMENTA.....	17
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>22</b>
<b>MAQUINAÇÃO CNC E CONVENCIONAL.....</b>	<b>23</b>
FUNCIONAMENTO DA FRESADORA CONVENCIONAL.....	25
FUNCIONAMENTO DA FRESADORA CNC .....	25
SISTEMAS DE COORDENADAS .....	29
FUNÇÕES E BLOCOS.....	33
PROCEDIMENTOS DE PROGRAMAÇÃO .....	37
COMPENSAÇÃO DA FERRAMENTA .....	46
PROGRAMAS PRINCIPAIS E SUB-PROGRAMAS .....	50
<b>EXERCÍCIOS TEÓRICOS .....</b>	<b>52</b>







# CNC

## Módulo 3

# APRESENTAÇÃO MODULAR

## APRESENTAÇÃO

Pretende-se com este módulo fazer uma introdução à tecnologia CNC, o seu modo de funcionamento e interligação com o CAD e o CAM.

## OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM

- Enquadrar a Tecnologia no sistema produtivo
- Descrever a constituição de um equipamento CNC e seu modo de funcionamento
- Identificar estrutura e códigos principais de um programa
- Identificar procedimentos de Setup
- Elaborar e executar programas de contornos simples

## ÂMBITO DOS CONTEÚDOS

- Introdução às Novas Tecnologias
  - Evolução e condicionantes dos sistemas Produtivos
  - As novas tecnologias no sistema produtivo
  - Da utilização individual à integração Tecnológica
- Introdução ao Comando Numérico por Computador
  - Enquadramento Histórico. Vantagens e Desvantagens
  - Constituição das Máquinas Ferramenta com Comando Numérico
  - Elementos necessários à programação
- Introdução à Programação
  - As diferentes técnicas e linguagens de programação
  - Estrutura de um programa e sintaxe de um bloco de programação
  - Movimentos rápidos, interpolações lineares e circulares
  - Introdução às técnicas da sub-programação
  - Introdução às técnicas das compensações da ferramenta



- Introdução à operação
  - Os principais modos de operação
  - O setup de uma máquina ferramenta com comando numérico – conceitos
- Tendências e Desenvolvimentos



## BIBLIOGRAFIA/OUTROS RECURSOS

Comando Numérico CNC – Torneamento: Programação e Operação - EPU – Editora Pedagógica e Universitária Lda, S. Paulo.

Controlo Numérico Computorizado – Conceitos Fundamentais - Carlos Relvas, Publindústria.

Projeto Delfim – Sub-Projecto Moldes, IEFP.

Telecurso 2000 – Processos de Fabricação.





# INTRODUÇÃO AO CNC

No final dos anos 40, a Força Aérea Americana chegou à conclusão de que precisava de um método mais rápido e preciso de maquinar as peças de formas mais complexas utilizadas nos seus aviões. Assim, em conjunto com uma empresa chamada Parsons Corporation e um instituto de pesquisas americano denominado MIT, começou a trabalhar num novo tipo de fresadora.

Esta máquina deveria ser capaz de entender ordens codificadas, transmitidas por meio de uma fita de papel perfurada, semelhante às utilizadas antigamente em máquinas de telefax. Para que pudesse compreender estas ordens e transformá-las em movimentos da ferramenta, instalou-se na máquina um equipamento eletrónico chamado controlador. Esse controlador deveria receber as ordens, interpretá-las e, por intermédio de outros dispositivos eletrónicos, movimentar os motores elétricos associados a cada um dos eixos (transversal, longitudinal e vertical) da máquina, a cada um dos quais estava associado um sensor de posição. Este sensor informava o controlador se a ordem de movimentação havia sido obedecida fielmente.

Caso contrário, o controlador deveria fazer a correção necessária, até que a posição desejada fosse realmente alcançada. A fresadora ficou pronta em 1952. Começava assim a era das máquinas operadoras CN.

## DEFINIÇÃO DE CN

Como se acabou de ver, o controlador era um equipamento eletrónico destinado a receber ordens de um operador, interpretar essas ordens, transmiti-las aos motores da máquina e atuar no sentido de corrigir possíveis desvios entre o que ele desejava que ocorresse e o que realmente aconteceu.

Essas “ordens”, transmitidas pelos circuitos eletrónicos do controlador são, na verdade, sinais elétricos. A estes sinais associa-se uma tensão elétrica. Logo, o controlador só é capaz de entender duas informações: se, num determinado momento e num certo ponto do circuito, existe tensão ou não. Se não há tensão, o controlador indica essa situação com o número 0. Se, por outro lado, há tensão, o número associado é o 1.



Assim, qualquer máquina elétrica – e o controlador é uma delas – só “entende” estes dois números: 0 e 1.

Como o controlador utiliza estes dois números para executar as suas atividades, dizemos que ele é um controlador numérico, ou uma máquina de **controle numérico**, ou, abreviadamente, **CN**.

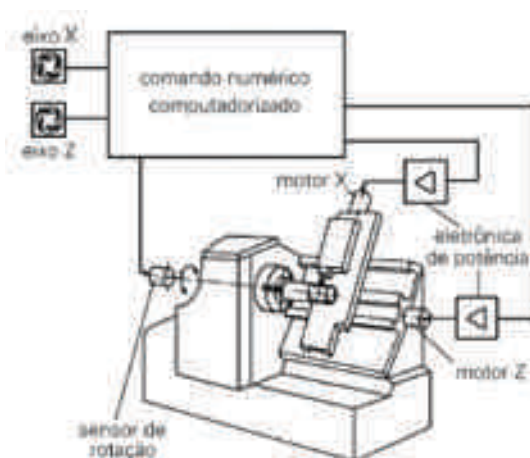


Figura 1 – Controle numérico.

Naquela época, ainda não se falava em computador. Estes controladores eram, na verdade, grandes calculadoras eletrônicas com circuitos constituídos de relés ou válvulas eletrônicas. Com o passar do tempo, os componentes eletrônicos ficaram cada vez mais pequenos e poderosos, até que nos anos 70 foi desenvolvido um tipo especial de componente eletrônico: o microprocessador. A partir daí, a sigla CN ganhou uma nova letra “C”, e o controlador de máquinas-ferramenta passou a denominar-se **CNC**, ou seja, **Comando Numérico Computadorizado**.

Mas, como se pode imaginar, seria muito difícil para o homem dar ordens para as máquinas utilizando-se apenas de códigos formados por “zeros e uns”. Assim, foram desenvolvidas linguagens de programação de máquinas operadoras CNC. Estas linguagens são constituídas por um conjunto de símbolos: as funções. Elas fazem o papel das palavras numa linguagem humana natural, como o português ou inglês. Para unir essas funções de modo a que se forme um programa compreensível para o CNC, existem algumas regras, assim como em qualquer idioma.

Utilizando-se destas linguagens, o homem é capaz de escrever um programa que pode ser comparado a uma receita de bolo. Nessa receita estão descritas, passo a passo, todas



as tarefas que a máquina deverá realizar numa linguagem que ela seja capaz de entender. Um programa para máquinas-ferramenta CNC é constituído por uma grande quantidade de códigos. A maior parte deles “manda” a ferramenta mover-se em relação à peça segundo uma determinada trajetória. Pode-se dizer, assim, que o controlador numérico é um computador com uma tarefa bem específica: controlar movimentos. E isso vale para qualquer máquina-ferramenta, incluindo o torno.

Mas, se queremos dizer para onde a ferramenta deve se mover, precisamos, antes de mais nada, de um sistema de referência, também chamado de **sistema de coordenadas**.

## SISTEMA DE COORDENADAS

As máquinas CNC, para poderem posicionar a ferramenta, precisam de ter um ponto de partida, chamado de **origem** ou **zero peça**. As duas direções são chamadas de eixos. No caso de um torno, temos o eixo **X** (transversal) e o eixo **Z** (longitudinal) (Figura 2).

Para indicar o sentido de deslocamento, usamos os sinais positivo ou negativo. Quando não se coloca o sinal, a máquina entende que se trata do sentido **positivo**.

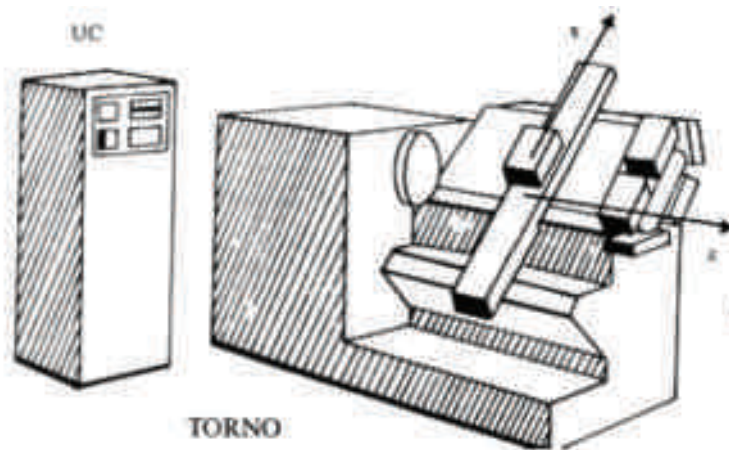


Figura 2 – Zero peça num torno CNC.

Os valores de deslocamento são chamados **coordenadas**. Temos, então, a coordenada X e a coordenada Z. Em maquinação, a unidade de medida das coordenadas é indicada em milímetros ou polegadas.

Observe-se agora, na figura abaixo, o desenho de uma peça a ser torneada (Figura 3). Vamos imaginar, inicialmente, que a matéria-prima já se encontra facejada e



desbastada, restando apenas realizar um único passe de acabamento ao longo de todo o perfil da peça.

A primeira coisa a fazer é escolher o zero peça. Para peças torneadas, este ponto deve estar obrigatoriamente sobre o eixo de simetria da peça, ou seja, sobre o eixo Z.

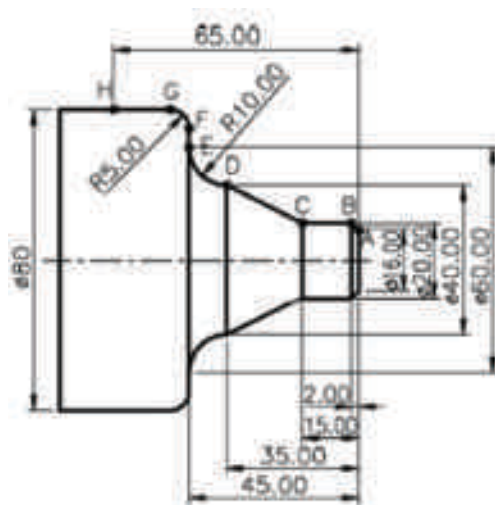


Figura 3 – Desenho de uma peça a ser torneada.

Teoricamente, qualquer ponto pode ser escolhido. No entanto, para facilitar a obtenção dos valores das coordenadas dos pontos que compõem o perfil, há duas escolhas adequadas: a face direita ou a face esquerda da peça. A opção depende do programador de máquinas CNC. No entanto, é importante que, uma vez escolhida uma determinada face, o operador se mantenha fiel a ela para todas as peças que venha a programar. Caso contrário, ele poderá estar a complicar o trabalho ao preparador da máquina e aumentar a probabilidade de acidentes.

Vamos posicionar, então, o zero peça na face direita, conforme a figura ao lado. Observe que os eixos X e Z “nascem” neste ponto, ao qual também costumamos chamar **ponto de origem**. Observe que as setas nas extremidades das linhas que representam os eixos indicam o sentido positivo dos respectivos eixos. Assim, se, saindo do zero peça, andarmos para a direita ao longo do eixo Z, estaremos a percorrer o sentido positivo do eixo e todas as coordenadas Z dos pontos nesta região serão valores positivos. No entanto, se andarmos para a esquerda, estaremos a percorrer o sentido negativo do eixo Z. Agora, as coordenadas Z dos pontos serão negativas.



Vamos achar, agora, a coordenada do ponto B. Para chegar ao ponto B saindo do zero peça, devemos andar 10 mm no sentido positivo do eixo X. No entanto, vamos considerar, como já foi dito, o valor do diâmetro. Ou seja, 20 mm.

Depois “viremos à esquerda” e andamos 2 mm no sentido negativo do eixo Z. Desta forma, temos que a coordenada X do ponto B é 20 e a coordenada Z é - 2. Logo, as coordenadas do ponto B podem ser representadas como (20, - 2).

Devemos fazer a mesma coisa para todos os outros pontos, tendo sempre em conta que estamos a sair do zero peça.

As coordenadas encontradas dessa maneira são chamadas de **coordenadas absolutas**. Neste caso, o sistema de coordenadas, formado pelo zero peça e pelos eixos X e Z, está absolutamente imóvel. O zero peça encontra-se sempre na face direita e na linha de centro da peça, independentemente do ponto que se esteja a determinar as coordenadas.

Se quisermos achar as coordenadas do próximo ponto do perfil, partindo-se do ponto anterior, dizemos agora que a coordenada encontrada é **relativa**, uma vez que indica quanto teremos que andar a partir do ponto anterior e não do zero peça.

As máquinas CNC podem utilizar os dois sistemas de coordenadas: o absoluto e o relativo. Porém, por questões de simplificação, vamos utilizar apenas coordenadas absolutas, mais usadas na prática.

Além disso, é importante observar que a maioria dos comandos numéricos exige que se coloque um ponto decimal nos valores de coordenadas. Assim, para estes comandos, 16 equivale, na verdade, a 0,016 mm. Se quisermos representar 16 mm, devemos programar 16. (dezassex pontos).

## PROGRAMA DE MAQUINAÇÃO

Para se programar uma máquina CNC, devemos falar na sua linguagem, ou seja, escrever as instruções que a máquina deve executar numa linguagem que ela entenda. Estas instruções têm, como já vimos, a forma de códigos ou símbolos chamados funções. Cada função faz a máquina executar uma determinada tarefa.

Muitas destas funções apresentam a letra “G”, sendo, por este motivo, que muitas pessoas costumam referir-se à linguagem de programação de máquinas-ferramenta CNC como “linguagem G”. O nome tecnicamente mais correto, no entanto, é linguagem ISO, da sigla da organização internacional que padronizou, em parte, as funções de programação entre os vários fabricantes de comandos numéricos.



Como exemplo de programação, vamos maquinar a peça da figura 3. Para isso, devemos dar algumas instruções à máquina. Estas instruções ou funções são agrupadas em linhas, denominadas **blocos**. Para sinalizar o fim de cada bloco, usa-se um sinal característico que muda conforme o comando usado: alguns usam ponto-e-vírgula (;), outros usam #. Para instruir a máquina, devemos de conhecer as funções “G” que englobam as funções preparatórias e as funções “M”, que são funções várias ou auxiliares. Outras funções indicadas por letras são:

- F - indica a velocidade de avanço em mm/volta ou pol/volta. É sempre acompanhada por um valor numérico. Por exemplo, FØ.25 indica que a máquina assumirá um avanço de Ø 25 mm por rotação do eixo-árvore.
- T - indica a ferramenta e o corretor (função para corrigir coordenadas). Também é acompanhada de um número. Assim, TØ3Ø 3 indica ferramenta 3 e corretor 3.
- X - indica posicionamento do eixo transversal (coordenada de diâmetro).
- Z - indica posicionamento do eixo longitudinal (coordenada de comprimento).
- N - indica o número sequencial de blocos. Normalmente, a numeração é feita de 5 em 5 para flexibilizar ainda mais a programação. Por exemplo: na numeração N5, N10, N15, podemos inserir N1, N5, N6, N7, N10, N15, N16 etc.
- O – identifica o número do programa.
- S – indica a velocidade de corte.

Para programar um torno CNC, você deve sempre consultar o manual de programação da máquina. Como curiosidade, a tabela 1 mostra algumas funções “G” e “M” que costumam ser comuns à maioria dos tornos CNC.





Funções "G"	Designação	Funções "M"	Designação
G0	Posicionamento rápido	M00	Parada de programa
G01	Interpolação linear	M01	Parada opcional de programa
G02 e G03	Interpolação circular	M03	Sentido horário de rotação do eixo-árvore
G40	Cancela compensação do raio da ponta da ferramenta	M04	Sentido anti-horário de rotação do eixo-árvore
G41	Compensação do raio da ponta da ferramenta (esquerda)	M05	Desliga o eixo-árvore
G42	Compensação do raio da ponta da ferramenta (direita)	M08	Liga o refrigerante de corte
G20 ou G70	Admite programa em polegada	M09	Desliga o refrigerante de corte
G21 ou G71	Admite programa em milímetro	M30	Fim de programa com rebobinamento automático da memória
G91	Programação em coordenadas incrementais		
G96	Programação em vc constante		

Tabela 1 – Funções G e M mais comuns à maioria dos tornos CNC.

O programa é a reunião de vários blocos. Cada programa tem um número de identificação que depende do tipo de comando utilizado. Assim, o primeiro bloco do programa fica: NØ1 O 1000; Isso significa que este será o programa número 1000.

Depois de identificar o programa, podemos, por meio da função G21, dizer à máquina que os valores de coordenadas são dados em milímetros e, por intermédio da função G99, especificar que a unidade de medidas do avanço será mm/rot. Assim, o segundo bloco do programa fica: NØ5 G21 G99; .

A seguir devemos:

1. Girar a torre porta-ferramentas, posicionando a ferramenta de acabamento número 3. Para fazer isso, devemos programar a função TØ3Ø3.
2. Definir que vamos trabalhar com velocidade de corte constante, através da função G96, e que esta velocidade é de 250 m/min. Indicamos isso como S250. A possibilidade de trabalhar com velocidades de corte constantes é uma das vantagens dos tornos CNC. À medida que a ferramenta se aproxima do centro da peça, a rotação da placa aumenta de modo a manter a velocidade





de corte constante, de acordo com os valores ótimos obtidos dos catálogos dos fabricantes de ferramentas.

3. Ligar a placa no sentido anti-horário (olhando-se da placa para a contraponta). Isso é feito por meio da função M4. Para ligar a placa no sentido horário, usamos a função M3. A escolha entre M3 e M4 depende do tipo de ferramenta (direita ou esquerda) e de como ela está fixada na torre porta-ferramentas. Assim, esses blocos ficam: N10 T0303; N15 G96 S250 M4;

Em seguida, devemos limitar a rotação da placa. Caso contrário, à medida que a ferramenta se aproxima do centro e a rotação aumenta (para manter a velocidade de corte constante), o risco da peça escapar da placa também aumenta. Assim, se quisermos que a máxima rotação da placa seja de 2500 rpm, devemos programar: N20 G50 S2500;. Convém observar que, dependendo do fabricante do comando numérico, a função de limitação de rotação pode apresentar um código diferente.

## MOVIMENTO DA FERRAMENTA

As funções mais comuns num programa CNC são as responsáveis pelos deslocamentos das ferramentas. São elas:

**G0** : Para deslocar a ferramenta no maior avanço disponível numa determinada máquina, por exemplo, 30.000 mm/min.

Esta função é usada para aproximar a ferramenta da peça e afastá-la após o término da maquinação.

**G1** : Para deslocar a ferramenta num movimento linear com um avanço de maquinação dado pela função F em mm/rot ou mm/min.

Esta função é usada para facejar, cilindrar e tornear cones, ou seja, descrever movimentos retilíneos.

**G2** : Para deslocar a ferramenta num movimento circular no sentido horário com um avanço de maquinação, dado pela função F, em mm/rot ou mm/min. Também deve ser especificado o raio do arco que a ferramenta deverá descrever.

**G3** : Para deslocar a ferramenta num movimento circular no sentido anti-horário com um avanço de maquinação, dado pela função F, em mm/rot ou mm/min. Assim como



em G2, também deve ser especificado o raio do arco que a ferramenta deverá descrever. Antes de começar a maquinação do perfil, no entanto, devemos deslocar a ferramenta até um ponto próximo ao perfil. Vamos escolher o ponto de coordenada  $X=12$ . e  $Z=2$ . Para chegarmos até este ponto por meio de um deslocamento rápido, devemos programar: N25 G0 X12. Z2.;

Observe que a coordenada que aparece junto à função G0 é a do ponto-destino, para onde se deseja que a ferramenta se desloque. O mesmo ocorre com as funções G1, G2 e G3.

Agora podemos ligar o fluido de corte por meio da função M8, colocada no mesmo bloco. Temos, então: N25 G0 X12. Z2. M8;

Aqui cabe uma observação importante a respeito do que se chama de compensação do raio da ponta da ferramenta. Os tornos CNC usam, normalmente, ferramentas com insertos de metal duro. Esses insertos têm os vértices arredondados (Figura 5).



Figura 5 – Ferro de corte.

No entanto, os comandos numéricos movimentam a ferramenta ao longo do perfil como se esta não tivesse o arredondamento. Se isto não for corrigido ou compensado, para usar a palavra correta, acaba por provocar erros nas medidas das peças maquinadas. Para que a máquina compense automaticamente essa diferença de modo a produzir peças perfeitas, utilizam-se as funções de compensação.

Como, no caso, estamos realizando uma maquinação exterior com a ferramenta a deslocar-se à direita do perfil, a função utilizada é a G42, que deve ser incluída no bloco posterior ao da aproximação da ferramenta. Teremos, então: N25 G0 X12. Z2. M8; N30 G42;



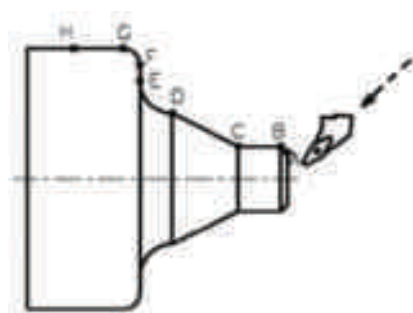


Figura 6 – Maquinação exterior.

Ativada a compensação e concluída a aproximação da ferramenta, devemos, em seguida, chegar até o ponto A, de coordenada  $X=16$ . e  $Z=0$ . através de um movimento linear dado pelo bloco: N35 G1 X16. Z0. F0.25;. Note que a função F indica que o avanço de maquinação é de 0.25 mm/rot.

**EXERCÍCIO.** Escreva os blocos para movimentar a ferramenta para os pontos C e D, respectivamente, conforme exemplo do ponto B:

De A até B: N40 G1 X20. Z-2. F0.25;

De B até C: N45 .....

De C até D: N50.....

O que permanece igual de um bloco para outro não precisa ser reprogramado. Assim, os blocos acima podem ficar: N40 G1 X20. Z-2.; E porque o avanço já estava no bloco anterior: N45 Z-15.; N50 X40. Z-35.;

Observe-se agora que, de D para E, a ferramenta deve descrever um arco de raio 10 mm, no sentido horário. Este movimento é programado como: N55 G2 X60. Z-45. R10.; em que R é a função que indica o raio do arco. O valor de avanço (0.25 mm/rot) dado pela função F continua ativa desde a primeira vez em que foi programado, não precisando ser reprogramado.

Continuando o perfil, temos: de E para F: N60 G1 X70. Z-45.; de F para G: N65 G3 X80. Z-50. R5.; de G para H: N70 G1 Z-65.;

Concluída a maquinação, afastamos a ferramenta do perfil e desligamos o fluido de corte por meio da função M9. Temos, então: N75 G1 X85. M9;. No bloco seguinte, ativamos a descompensação do raio da ponta da ferramenta utilizando a função G40. Teremos,



então: N80 G40;. Para que ocorra a descompensação é necessário um movimento linear da ferramenta. Temos, então: N85 G1 X 86.Z-64.;

A seguir, deslocamos rapidamente a ferramenta para longe da peça, para facilitar sua retirada da placa e desligamos a placa por meio da função M5. Finalmente, indicamos, por meio da função M30, que o programa terminou. Temos, então: N90 GØX200. Z200. M5; N95 M30;.

No fim, o programa fica da seguinte forma:

N01 O 1000;

N05 G21 G99;

N10 TØ3Ø3;

N15 G96 S250 M4;

N20 G5Ø S2500;

N25 GØ X12. Z2. M8;

N30 G42;

N35 G1 X16. ZØ. FØ.25;

N40 G1 X20. Z-2. FØ.25; (ou N40 X20. Z-2.;)

N45 G1 X20. Z-15. FØ.25; (ou N45 Z-15.;)

N50 G1 X40. Z-35. FØ.25; (ou N50 X40. Z-35.;)

N55 G2 X60. Z-45. R10. FØ.25; (ou N55 G2 X 60. Z-45. R10.;)

N60 G1 X70. Z-45.;

N65 G3 X80. Z-50. R5.;

N70 G1 Z-65.;

N75 G1 X85. M9.;

N80 G40;

N85 G1 X86. Z-64.;

N90 GØ X200.Z200. M5;

N95 M30;

Depois de criado o programa, este é inserido no computador da máquina por meio do teclado. Se a máquina tiver um simulador, deve-se simular graficamente o trabalho de maquinação e corrigir o programa se necessário.



O passo seguinte, é montar as ferramentas nos suportes e fazer o seu referenciamento, isto é, informar à máquina a dimensão das ferramentas e o seu posicionamento em relação ao zero máquina, estabelecido pelo fabricante da máquina, e ao zero peça estabelecido no programa.

Finalmente, o torno é acionado e a peça é maquinada. A partir daí, é possível fazer tantas peças quantas forem necessárias sempre com a mesma rapidez, exatidão e qualidade.



# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Defina CNC.

**EXERCÍCIO 2.** O que é um sistema de coordenadas?

**EXERCÍCIO 3.** O que é o ponto de origem?

**EXERCÍCIO 4.** Qual a diferença entre coordenadas absolutas e incrementais?

**EXERCÍCIO 5.** Qual o significado dos seguintes códigos:

- a. G0 –
- b. G01 –
- c. G41 –
- d. G21 –
- e. G91 –
- f. M00 –
- g. M08 –
- h. M09 –



# MAQUINAÇÃO CNC E CONVENCIONAL

A análise do CNC ou do Não CNC não se pode colocar somente em termos de comparação em relação às denominadas tecnologias convencionais, como elemento vantajoso ou não, mas deverá ser analisado no contexto dos projetos de desenvolvimento dentro de cada indústria, tendo em vista o que se produz e para quem se produz.

O CNC implica uma maior qualidade porque permite um maior rigor e um melhor controlo sobre o que é executado. No entanto, as máquinas só por si não resolvem nada se não estiverem apoiadas por planeamento cuidado, preparação de trabalho perfeito e antecipado e operador suficientemente instruído, logo se deduz que o CNC implica um investimento no valor humano. Daí que, o Controlo Numérico é, em primeira análise, uma opção de mercado.

Algumas das vantagens mais importantes do CNC em relação à maquinação convencional são:

- Permite executar perfis com contornos complexos, sem a ajuda de modelos ou escantilhões;
- Permite executar contornos complexos e rigorosos (desde que perfeitamente definidos), sem ter de recorrer a processos de “maquinar pelo risco”;
- No caso da eletroerosão, esta permite realizar operações que de contrário seriam quase impossíveis de fazer;
- Ter acesso a funções que permitem executar simetrias (imagens espelho), rotações, mudanças de referenciais, ciclos fixos de maquinação, etc.;
- Podemos dispensar ferramentas especiais e caras para fazer maquinações de zonas perfiladas;
- Podemos maquinar em vários planos de trabalho;
- Ter acesso à 3ª dimensão de maquinação;
- Em máquinas avançadas, podemos ter acesso a outras formas de maquinar mais complexas como é o caso dos 4, 5 ou mais eixos;
- etc.

Estas podem ser apontadas como vantagens imediatamente inerentes aos sistemas.



Outras existem também, contudo dependerão em grande medida da estrutura organizativa que rodeia a implementação do Controlo Numérico.

Algumas das desvantagens que podemos indicar são:

- Elevados custos iniciais com a compra de máquinas, equipamento informático e softwares que, para além disso, têm de ser atualizados frequentemente;
- Formação/recrutamento de pessoal especializado;
- Adaptação de toda uma estrutura de apoio ao funcionamento do CNC;
- etc.

A figura 1 faz uma comparação entre o processo de maquinação convencional e o de CNC.














Preparação do Trabalho	Convencional	CNC
Entrada do programa CN	(Não aplicável)	 Controlador CNC
Fixação da Peça	 Manual	 Manual
Fixação da ferramenta	 Manual	 Manual
Fixação do ponto de referência	 Manual	 Controlador CNC
Regulação do número de rotação	 Manual	 Controlador CNC
Maquinação	Convencional	CNC
Deslocamento dos carros dos eixos	 Manual	 Controlador CNC
Comparação dos valores nominais e reais		 Controlador CNC
Verificação dimensional		Os tempos de medição reduzem-se consideravelmente

Figura 1 – Comparação entre a maquinação convencional e o CNC.

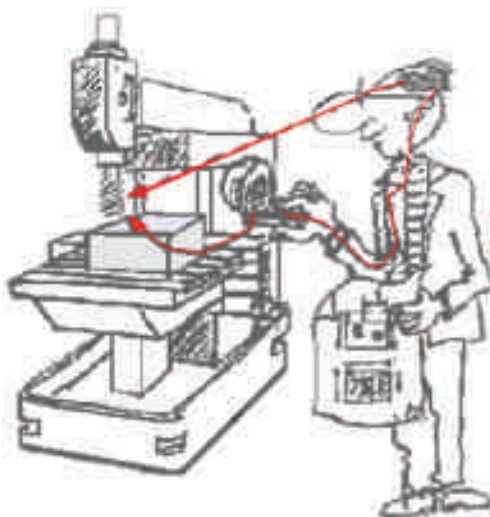




## FUNCIONAMENTO DA FRESADORA CONVENCIONAL

Na maquinação de uma peça numa máquina convencional, o operador move a ferramenta ou a peça com a ajuda das manivelas, de maneira que no final a peça tenha a forma desejada. Para isso, o operador controla continuamente a posição da ferramenta relativamente ao contorno desejado.

Para variar a posição da ferramenta, roda as manivelas, fazendo deslocar os carros dos três eixos. O operador observa a ferramenta e assim a controla. Uma vez alcançada a posição desejada, deixa de rodar a respetiva manivela, a ferramenta então para. Em linguagem técnica, esta operação é denominada circuito de regulação da posição porque se regula a posição da ferramenta, ou seja, o operário ajusta a velocidade de avanço em função do material a trabalhar, a ferramenta e a posição desta.



*Figura 2 – Funcionamento da fresadora convencional.*

Pouco antes de alcançar a posição nominal (cota do desenho), por exemplo, tem de reduzir a velocidade de avanço para poder, com maior exatidão e segurança, chegar à cota exata. Além da posição da ferramenta, há que controlar simultaneamente a rotação, a refrigeração, o avanço, etc.

## FUNCIONAMENTO DA FRESADORA CNC

Com uma fresadora CNC, tal como numa fresadora convencional, deve-se maquinar uma peça em bruto, transformando-a numa peça com dimensões previamente definidas.



Para isso, são necessárias uma série de operações não diferindo muito dos processos convencionais, tendo sim algo em comum:

- Entrada do programa;
- Aperto da peça;
- Aperto da ferramenta;
- Fixação do ponto de referência;
- Ajuste da velocidade de rotação da ferramenta;
- Deslocamento dos carros dos eixos;
- Comparação dos valores reais e nominais;
- Verificação final.

A diferença principal está no desenrolar do processo o qual, no Comando Numérico, é realizado de uma forma que pode ser completamente automática.

A maquinação da mesma peça na máquina CNC, em princípio, é a mesma. Todas as tarefas que na convencional têm de ser realizadas pelo operário, serão executadas aqui pelo Controlador CNC. Para isso, antes de começar a maquinação, há que programar o controlador, isto é, dizer à máquina como fazer.

O controlador não pode rodar nenhuma manivela e, por isso, todos os carros dos diferentes eixos estão equipados com motores de avanço, com o objetivo de deslocar a ferramenta relativamente à peça, emitindo o controlador sinais elétricos. Estes sinais são amplificados e transmitidos para o motor para que a rotação deste seja transformada em movimento de avanço no carro do respetivo eixo.

O operador da máquina pode observar a ferramenta e sabe quanto a tem que deslocar. Contudo, o controlador não pode observar diretamente. Para que o Controlador CNC “saiba” até que ponto foi deslocada a ferramenta em todos os eixos, encontram-se sistemas de medição que emitem sinais elétricos ao controlador (régua digital com captadores de posição). Assim, este é informado dos deslocamentos ocorridos.

Como já verificamos, o princípio em que se baseia o trabalho das máquinas de Comando Numérico é o mesmo que o das máquinas convencionais. A diferença reside no facto de que no Comando Numérico é o controlador que controla todas as operações de governo e supervisão que na convencional eram tarefas do operador.



Por outro lado, com a ajuda do CN podem executar-se perfis, os quais com as máquinas convencionais seriam impossíveis ou extremamente difíceis de maquinar, caso da fresagem de retas oblíquas e arcos de círculo sem o auxílio da mesa circular.

Para que a máquina possa trabalhar têm que ser satisfeitas as condições seguintes:

- O controlador necessita de reconhecer a forma da peça;
- O controlador necessita de saber como vai maquinar a peça.

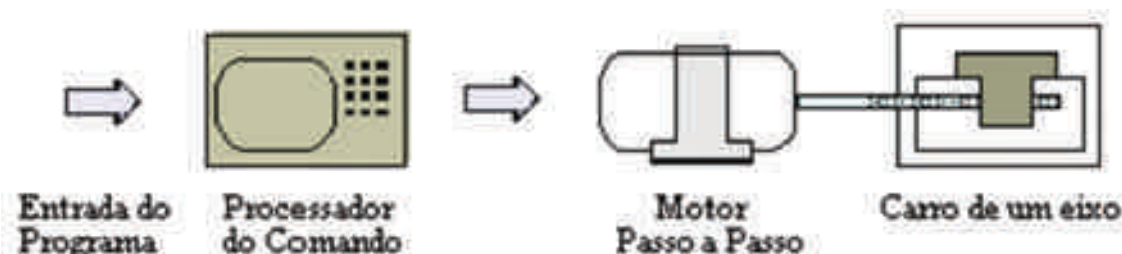
Estes dados são fornecidos ao controlador sob a forma de um programa, o qual mais não é do que a tradução, para uma linguagem que o controlador compreenda, dos dados necessários.

### *Circuito de Regulação da Posição*

Os circuitos de regulação da posição classificam-se em dois tipos:

- Circuito de regulação da posição aberto;
- Circuito da regulação da posição fechado.

Quanto ao primeiro, o seu funcionamento consiste no seguinte: os sinais elétricos correspondentes aos avanços dos eixos são enviados a um gerador de impulsos o qual gera o número de impulsos de acordo com o deslocamento respetivo. Esses impulsos farão rodar o motor (passo a passo) de modo a se obter o pretendido deslocamento. É importante salientar que não existe retorno de informação das posições reais, isto é, não existe neste caso sistema de medição.



*Figura 3 - Circuito de regulação da posição aberto.*

No segundo (circuito da regulação da posição fechado), o controlador compara as posições comunicadas com os valores nominais programados e dá as ordens de deslocamen-



to correspondentes. Portanto, aqui existe retorno da informação, isto é, o controlador é informado das cotas reais em todos os momentos.

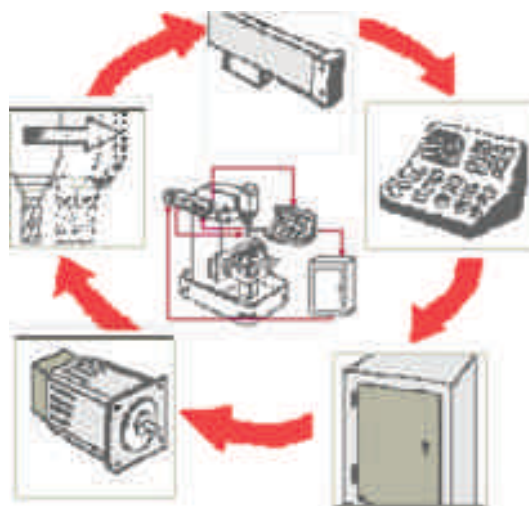


Figura 4 - Circuito de regulação da posição fechado.

### *Circuito de Regulação da Velocidade*

Para a regulação da velocidade, cada um dos motores de avanço está equipado com um gerador de impulsos. Este comunica a velocidade de momento ao amplificador de acionamento.

O amplificador de acionamento reconhece a velocidade de avanço de momento e compara-a com a velocidade previamente dada pelo controlador (programada). Como resultado, são emitidos sinais elétricos ao motor de avanço, que girará mais levemente ou mais rapidamente consoante o reconhecimento que faça relativamente à velocidade exata e à velocidade programada. Isto em cada instante.

O circuito de regulação interior é o circuito de regulação da velocidade, o circuito exterior é o circuito de regulação da posição. Por outras palavras, o controlador procura que no circuito de regulação da posição se observe exatamente o percurso da ferramenta, até no caso em que se tenha que reduzir o avanço relativamente ao valor programado, por exemplo, em vértices. Esta relação pode ser representada pelo esquema assinalado. Além disto, o controlador controla a rotação da fresa, o refrigerante, a lubrificação, o sistema hidráulico, etc.



## SISTEMAS DE COORDENADAS

### *Movimento Máquina*

As ferramentas de uma máquina CNC podem executar deslocamentos definidos de acordo com cada tipo de máquina. Num torno estes deslocamentos são realizados nos sentidos longitudinal ao longo do eixo da peça e de aproximação. Numa fresadora, além destes dois deslocamentos básicos, existe também o deslocamento transversal. Outros movimentos existem, porém só os abordaremos sucintamente mais adiante.

Para que a ferramenta possa ser comandada exatamente através destes percursos, todos os pontos da área de trabalho da máquina deverão ser definidos, isto é, o programador tem que definir perfeitamente todo o percurso da ferramenta ao longo de um contorno, o operador tem que vigiar este percurso e a máquina tem que o executar. Para esse fim são utilizados sistemas de coordenadas que orientarão tanto o programador como o operador na realização dos programas.

### *Eixos Coordenados (2 Eixos)*

Através de um sistema de coordenadas com dois eixos é possível descrever todos os pontos, referentes a um dado desenho, na sua posição exata.

A forma de uma peça é normalmente descrita através de um desenho com as respectivas cotas, desenho de peça, do qual se irá extrair o contorno a fresar. Ao colocar-se o desenho da peça num sistema de coordenadas, a forma da peça pode ser descrita através da determinação das cotas em função de X e Y. Devendo estas distâncias serem lidas na escala para cada um dos pontos. A estas cotas dá-se o nome de coordenadas XY.

Num sistema de coordenadas com 2 eixos, um ponto está sempre corretamente definido através da indicação de um par de coordenadas (X,Y).

A forma mais simples de um sistema de coordenadas para a programação CN, compõe-se de 2 eixos perpendiculares que se cruzam num ponto. Este ponto é o ponto zero do sistema de coordenadas, e corresponde ao referencial do programa para a peça.



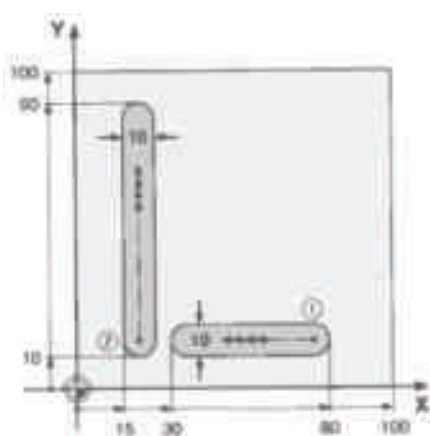


Figura 5 – Dois eixos coordenados.

### Eixos Coordenados (3 Eixos)

Para a maquinação de peças é necessário a representação da peça no espaço. Por exemplo, a furação da peça, na figura, não depende somente da posição do furo na superfície, mas também da profundidade a ser atingida pela broca.

Se a localização do furo é definida pelas coordenadas X e Y, a profundidade será definida por uma terceira coordenada, a coordenada Z.

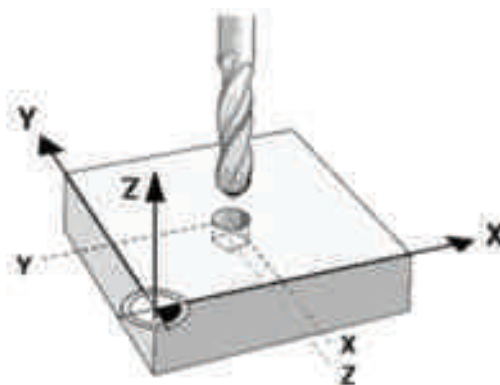


Figura 6 – Localização do furo.

Estaremos então, em presença de um **sistema de coordenadas em 3 eixos**.

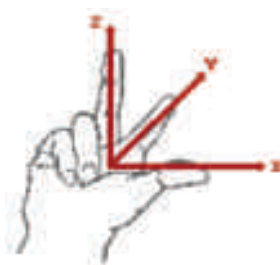


Figura 7 - Regra da mão direita (máquinas verticais).



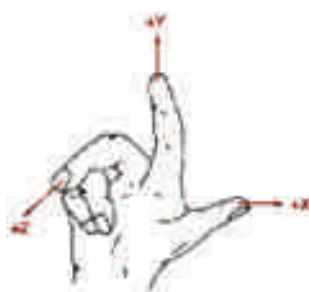


Figura 8 - Regra da mão direita (máquinas horizontais).

### Coordenadas Máquina

Para se maquinar uma peça através de um programa de controlo numérico, é necessário definir um sistema de coordenadas para a máquina ferramenta.

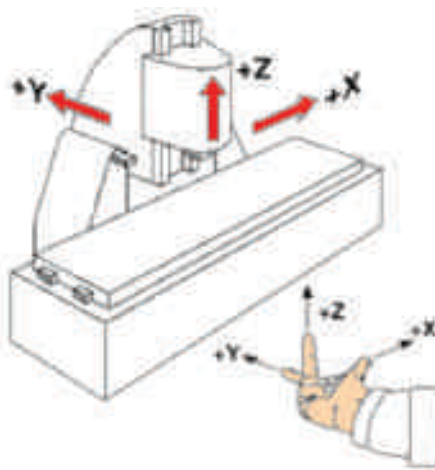


Figura 9 – Aplicação da regra da mão direita.

Para a programação, é necessário considerar que a peça esteja parada, independentemente do movimento relativo ferramenta/peça. Sendo o movimento executado pelas ferramentas sobre a superfície, dentro do sistema de coordenadas.

Tal como na fresagem ou erosão, no torneamento, a peça é considerada parada. A peça encontra-se de tal forma posicionada no sistema de coordenadas, que o eixo Z coincide com o eixo da árvore. Como as coordenadas X e Y têm valores iguais; no torneamento, só se tem em linha de conta os valores de X e Y.



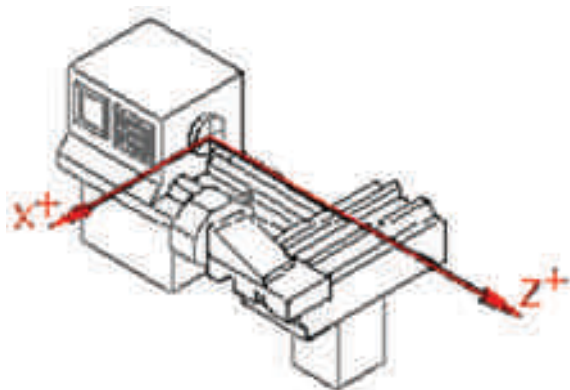


Figura 10 – Eixos de coordenadas no torno.

### Movimento Máquina

As ferramentas de uma máquina CNC podem executar deslocamentos definidos de acordo com cada tipo de máquina. Num torno estes deslocamentos são realizados nos sentidos longitudinal (ao longo do eixo da peça) e de aproximação.

Numa fresadora, além destes dois deslocamentos básicos, existe também o deslocamento transversal. Outros movimentos existem, porém só os abordaremos sucintamente mais adiante.

Para que a ferramenta possa ser comandada exatamente através destes percursos, todos os pontos da área de trabalho da máquina deverão ser definidos, isto é, o programador tem que definir perfeitamente todo o percurso da ferramenta ao longo de um contorno, o operador tem que vigiar este percurso e a máquina tem que o executar. Para esse fim são utilizados sistemas de coordenadas que orientarão tanto o programador como o operador na realização dos programas.

### Zero Máquina

No caso de um corte de corrente elétrica, por exemplo, a maioria dos controladores “esquece” a posição do ponto zero da peça, ou seja, perde-se a relação anteriormente existente entre a peça e a máquina.

A fim de se poder reencontrar em qualquer altura esta relação, a máquina possui um ponto fixo, cuja posição é conhecida pelo controlador. Este ponto denomina-se **ponto zero máquina**. É um ponto com uma referência mecânica, não dependendo de dados memorizados.





Depois do tal corte de corrente, somente é necessário “dizer” ao controlador onde se encontra o ponto zero peça. Isto é, torna-se necessário comunicar quais os valores que distam do ponto zero máquina ao ponto zero peça. Estabelece-se, assim, a relação anteriormente existente.

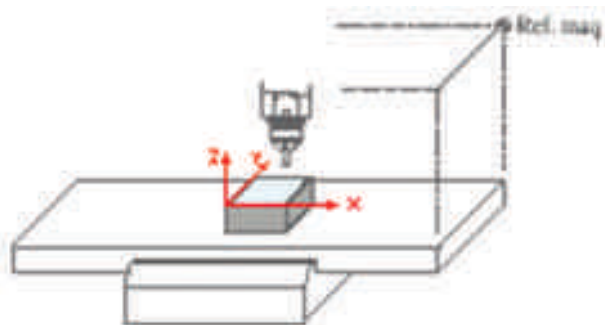


Figura 11 - Zero máquina.

Por aqui se verifica que o ponto zero da peça está relacionado com o ponto zero da máquina. Na realidade, toda a sequência de um programa, mesmo que em coordenadas absolutas em termos do ponto zero peça, não é mais que um sistema relativo ao existente na máquina. Este ponto zero máquina, é definido por cada fabricante, não existindo uma normalização.

## FUNÇÕES E BLOCOS

Cada controlador CNC só aceita funções dadas na sua própria linguagem. A linguagem do controlador consiste em blocos e estes, por sua vez, em palavras (funções). Cada palavra da linguagem ISO é chamada controlador de programação ou função porque cada palavra contém um controlador para o controlador da máquina. A figura 12 esquematiza a estrutura dum programa CNC.

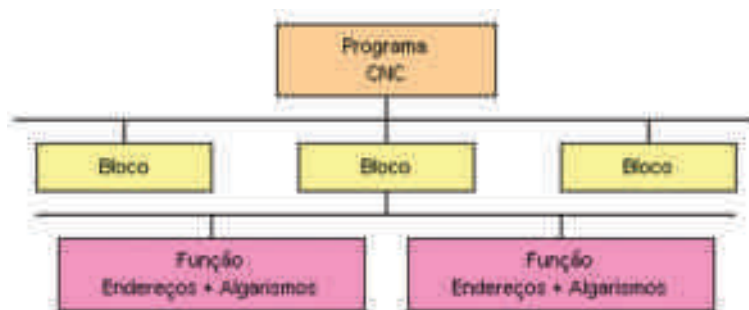


Figura 12 - Estrutura de um programa CNC.



### Funções de Programação

As funções de programação são sempre compostas por uma letra (código) e diversos algarismos, como por exemplo G00. Esta letra (código) nas palavras (funções) é chamada endereço. O controlador consegue distinguir os diferentes endereços e reconhecendo assim o tipo de controlador (função) programado.

Por isso todas as funções da rotação da árvore têm endereço S, as funções para a velocidade de avanço têm endereço F, e os comandos relativos ao movimento de corte (as chamadas funções preparatórias) têm endereço G.

Os valores numéricos seguintes completam o controlador. Estes podem ter duas funções:

- Códigos numéricos, como por exemplo G00, significam avanço em velocidade rápida;
- Valores numéricos, por exemplo S2000, significam que a velocidade da árvore é de 2000 rotações por minuto.



Figura 13 - Função e endereço.

A lista de todos os endereços e funções de programação poderão ser encontrados em cada manual do controlador.

Os comandos de programação (funções) que podem ser executados pela máquina em cada bloco têm de estar de acordo com a linguagem de programação do respetivo controlador.



### Lista de Carateres Usados em Programação CNC (ISO 646)

Caracteres alfabéticos			
A	Dimensões angulares no eixo X	N	Número de bloco
B	Dimensões angulares no eixo Y	O	Não assinalado
C	Dimensões angulares no eixo Z	P	Tercero eixo (complementar) X
D	Segunda função da ferramenta	Q	Tercero eixo (complementar) Y
E	Segunda função do avanço	R	Tercero eixo (complementar) Z
F	Primeira função do avanço	S	Função da rotação da árvore
G	Funções preparatórias	T	Primeira função da ferramenta
H	Não assinalado	U	Segundo eixo (complementar) X
I	Interpolação paramétrica paralelamente ao eixo X	V	Segundo eixo (complementar) Y
J	Interpolação paramétrica paralelamente ao eixo Y	W	Segundo eixo (complementar) Z
K	Interpolação paramétrica paralelamente ao eixo Z	X	Eixo X
L	Não assinalado	Y	Eixo Y
M	Funções auxiliares	Z	Eixo Z
Outros caracteres visualizados			
%	Início de programa	.	Virgula
(	Saída de função	.	Ponto decimal
)	Entrada de função	/	Saída de bloco (opcional)
+	Mais	L	Função de alinhamento
-	Menos		
Outros caracteres não-visualizados			
Tab	Tabulação	SP	Espaço
LF/NL	Fim de bloco	DEL	Apagar
CR	Tecla de retorno		

Tabela 1 - Lista de carateres usados em programação CNC (ISO 646).

### Funções Preparatórias G

G00	Avanço rápido	G56	Ponto zero peça 3
G01	Interpolação linear com avanço programado	G57	Ponto zero peça 4
G02	Interpolação circular (sentido horário)	G58	Ponto zero peça 5
G03	Interpolação circular (sentido anti-horário)	G59	Ponto zero peça 6
G04	Tempo de espera (paragem exata)	G63	Ciclo de roscagem
G06	Interpolação parabólica	G70	Coordenadas em polegadas
G17	Plano de trabalho XY	G71	Sistema métrico
G18	Plano de trabalho XZ	G80	Anulação dos ciclos fixos
G19	Plano de trabalho YZ	G81	Ciclo fixo
G33	Roscagem com passo constante	G89	Ciclo fixo
G40	Anulação do comprimento do raio da ferramenta	G90	Medidas absolutas
G41	Compensação do raio da ferramenta à esquerda do contorno	G91	Medidas incrementais
G42	Compensação do raio da ferramenta à direita do contorno	G94	Avanço por minuto (mm/min)
G43	Compensação do comprimento da ferramenta (+)	G95	Avanço por rotação (mm/rot)
G44	Compensação do comprimento da ferramenta (-)	G96	Controlo constante do avanço e da rotação
G53	Seleção do sistema de coordenadas da máquina	G97	Anulação do controlo constante do avanço e da rotação
G54	Ponto zero peça 1		
G55	Ponto zero peça 2		

Tabela 2 – Funções preparatórias G.

### Funções M

M00	Paragem programada	M05	Paragem da rotação da árvore
M01	Paragem opcional de programa	M06	Chamada de troca de ferramenta
M02	Fim de programa	M08	Activação da refrigeração
M03	Rotação da árvore (sentido horário)	M09	Paragem da refrigeração
M04	Rotação da árvore (sentido anti-horário)	M30	Fim de programa e regresso ao início

Tabela 3 – Funções M.



### Funções Auxiliares

As funções auxiliares são executadas quando o bloco no qual estão programadas é executado. As funções M, S e T só podem ser programadas uma vez em cada bloco.

A rotação da árvore – S – é programada dentro da direção S, diretamente em rpm (rotações por minuto). A direção da rotação é definida por M03 ou M04:

- M03 significa rotação no sentido horário;
- M04 significa rotação no sentido anti-horário;
- M05 significa paragem da rotação.

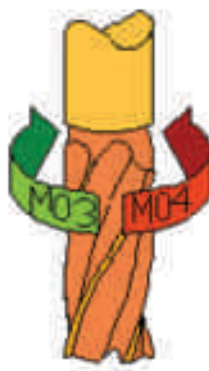


Figura 14 – Rotação da árvore.

O número de ferramenta é definido pelo endereço T e mais dois algarismos, por exemplo, T05.

Velocidade de avanço – F - O controlador para o avanço de trabalho tem endereço F (F600 significa avanço de trabalho de 600 mm/min).

O controlador tem a capacidade de manter ativas as funções por diferentes períodos de tempo. O controlador F300 por exemplo, está ativo até que um novo avanço seja programado.

### Blocos

O bloco consiste numa série de palavras. Termina pela função que define o seu fim (END OF BLOCK). Esta função depende da linguagem do controlador CNC. O comprimento do bloco é variável, e pode ter no máximo 120 caracteres. O total de caracteres que pode ser visualizado por linha ao mesmo tempo é de 80.



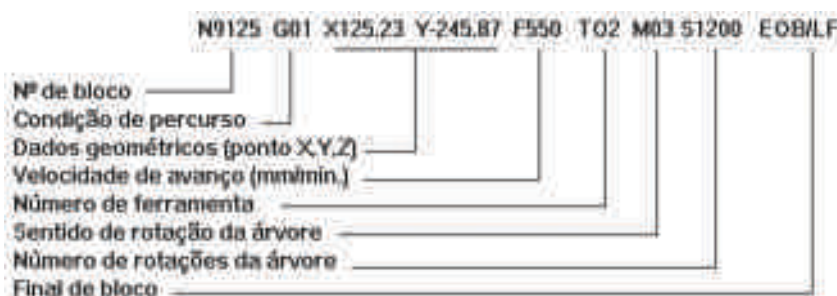


Figura 15 - Exemplo de estrutura de um bloco CNC.

### Tipos de Blocos

Os blocos de programas podem ser principais ou auxiliares.

#### Blocos Principais

Os blocos principais contém toda a informação requerida para a maquinação de um passo, mas no mínimo contêm:

- Funções preparatórias;
- Funções dos eixos;
- Velocidade de avanço;
- Rotação da árvore.

O bloco principal pode conter qualquer tipo de função. Quando o avanço máximo, G00, é programado, não é necessário o avanço de trabalho F.

#### Blocos Auxiliares

Estes blocos contêm uma ou mais funções, que fazem com que a informação contida no bloco anterior seja alterada (substituída). São exemplo os dados geométricos dum contorno a maquinar, as coordenadas vão variando ao longo do contorno.

## PROCEDIMENTOS DE PROGRAMAÇÃO

O contorno da peça a maquinar, na maioria dos casos pode ser dividida em linhas e em arcos. Para programar uma máquina ferramenta NC, o contorno da peça é dividido em secções definidas. Estas secções são programadas e depois, bloco a bloco, a sua união forma o programa, maquinando como está programado.



A informação requerida pelo controlador para cada passo ou bloco inclui pelo menos:

- Dados de posicionamento: (X, Y, etc.) o ponto em que a ferramenta é posicionada na maquinação (por outras palavras são as coordenadas do ponto de maquinação);
- As funções preparatórias (G) definem a maneira como a ferramenta se desloca para o ponto dado (através de uma linha ou arco);
- As funções auxiliares (M) definem a rotação da ferramenta (sentido horário, sentido anti-horário);
- A velocidade de avanço (F) usada no movimento para o ponto;
- A rotação da árvore (S) usada durante o movimento da ferramenta.

Durante a maquinação da peça todos os blocos têm a informação necessária, que são programados e metidos no controlador numa sequência correta.

### *Funções Preparatórias*

#### **Coordenadas absolutas e coordenadas incrementais**

As coordenadas de qualquer ponto para o qual a ferramenta é movida, pode ser programada de duas formas completamente diferentes:

- por valores absolutos;
- por valores incrementais.

Independentemente do sistema de coordenadas utilizado, coordenadas cartesianas e polares, o sistema de cotas da peça pode estar dado em termos absolutos, isto é, todas as cotas são dadas em relação a um mesmo ponto de referência, que preferencialmente será tomado como o ponto zero da peça. Ou podem ser dadas de uma forma incremental, isto é, o valor seguinte é dado em função do valor anterior.

Com a introdução de cotas absolutas, todos os pontos do programa que definem o contorno da peça são referidos a um ponto de referência único, em que o valor numérico da informação de deslocamento indica o posição que se quer alcançar no sistema de coordenadas da peça.



Com a introdução de cotas em termos incrementais, a medida programada corresponde ao trajeto a percorrer, sem estar referida a nenhum ponto de referência. O valor numérico da informação de deslocamento, indica o trajeto que deve ser percorrido para alcançar a posição final desejada, dependendo somente do ponto anteriormente alcançado.

### Coordenadas absolutas G90

Valor absoluto, também chamado programação com valores absolutos, significa que as coordenadas dos pontos são referentes a um ponto fixo. Por outras palavras, o programa em cada caso diz ao controlador qual o ponto para qual a ferramenta é movida (referente a um ponto zero).

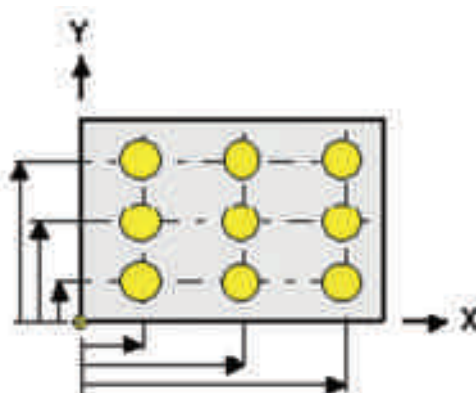


Figura 16 – Coordenadas absolutas G90.

### Coordenadas incrementais G91

O valor incremental também chamado de programação incremental significa que as coordenadas do ponto que a ferramenta se desloca são referentes ao último ponto em que a ferramenta esteve. Por outras palavras, o programa, em cada passo, diz ao controlador qual a distância a que a ferramenta se move.

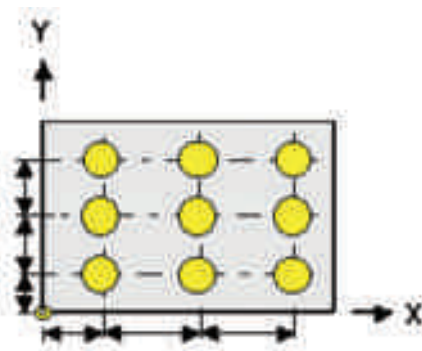


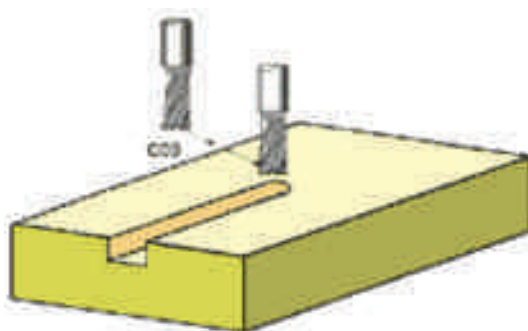
Figura 17 – Coordenadas incrementais G91.





**Avanço rápido G00**

O bloco programado com G00 irá ser executado através de uma linha com o maior avanço possível da máquina. O controlador controla o avanço de cada eixo para que o máximo avanço (parâmetros da máquina) não seja excedido.



*Figura 18 – Avanço rápido G00.*

Todos os movimentos dos eixos são efetuados no avanço máximo, contudo a ferramenta nem sempre se desloca para o ponto destino em linha reta.



*Figura 19 – Avanço rápido G00.*

O ponto pode ser programado em coordenadas cartesianas, em medidas absolutas (G90) ou em medidas incrementais (G91).

**Coordenadas cartesianas (retangulares) e coordenadas polares**

A posição de um ponto pode ser especificado utilizando as coordenadas cartesianas ou retangulares (X, Y, Z). Este método é recomendado se o ponto estiver cotado no desenho com estas coordenadas.





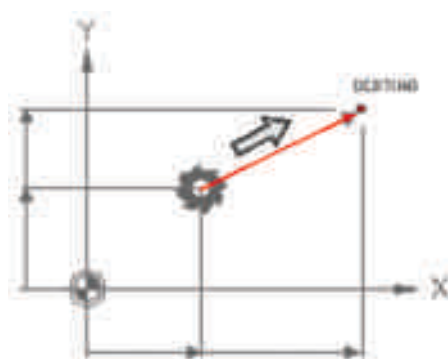


Figura 20 – Coordenadas cartesianas.

Existem outras possibilidades de representar um ponto de uma cota pertencente a uma peça, sem a definição do ponto X,Y relativamente ao ponto (0,0). A posição de um ponto da peça, pode também ser representada através de uma distância e de um ângulo. A este tipo de representação dá-se o nome de coordenadas polares.

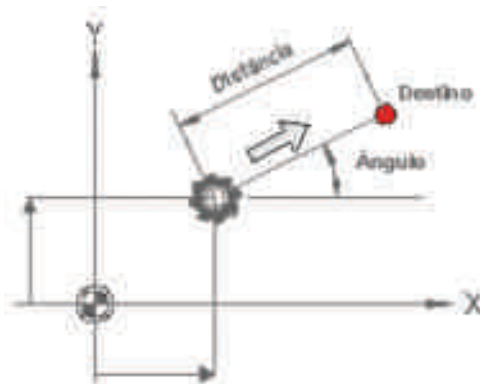


Figura 21 – Coordenadas polares.

De uma forma geral, todos os novos controladores das máquinas de CN permitem a elaboração de programas quer usando um sistema, quer o outro.

Em coordenadas polares, o ângulo fornecido pode assumir valores (+/-). Estes sinais resultam do sentido de rotação do ângulo em torno de um eixo (por exemplo, eixo Z), vistas do ponto zero. Constitui norma serem:

- (+) no sentido anti-horário;
- (-) no sentido horário.

No entanto podem, existir desvios que serão referenciados no manual de cada controlador que acompanham as máquinas.



Os ângulos nas coordenadas polares são designados por A, B e C. A designação pode ser obtida com o auxílio dos esquemas (Figura 22):

- no plano X/Y o ângulo das coordenadas polares está com ângulo em torno do eixo Z: C;
- no plano Y/Z o ângulo das coordenadas polares está com ângulo em torno do eixo X: A;
- no plano X/Z o ângulo das coordenadas polares está com ângulo em torno do eixo Y: B.

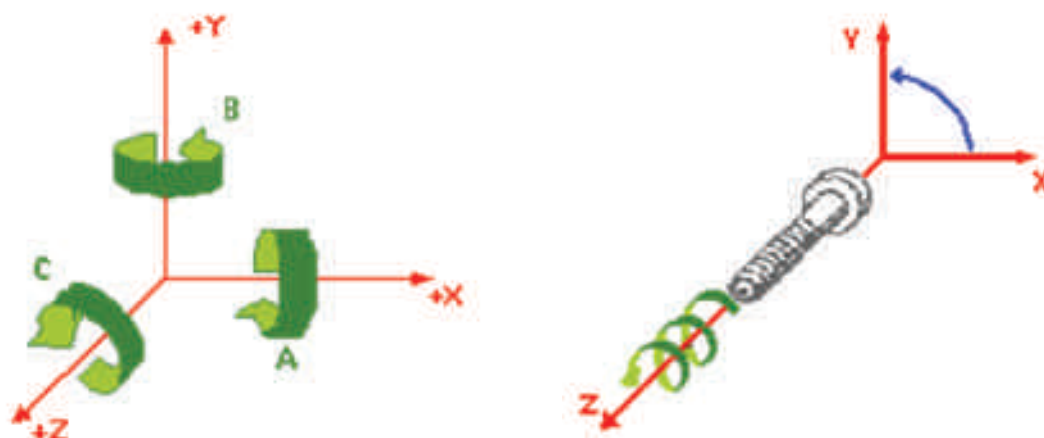


Figura 22 - Ângulos nas coordenadas polares.

Este método é recomendado quando o ponto é dado no desenho em coordenadas polares (distância e ângulo).

### Interpolação linear G01

A ferramenta desloca-se com um avanço de trabalho programado (F), numa linha reta para o ponto destino.

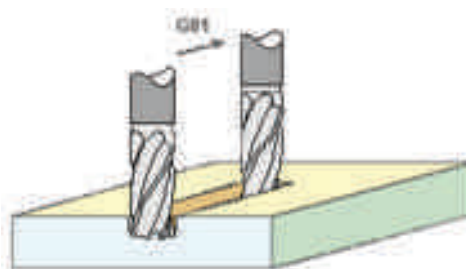


Figura 23 - Ângulos nas coordenadas polares.



São possíveis movimentos paraxiais (paralelos aos eixos) e em linha reta com qualquer ângulo, tanto em dois como em três eixos.

Esta função necessita da seguinte informação:

- Especificação em coordenadas cartesianas ou polares do ponto destino;
- Especificação do avanço;
- Velocidade de rotação da ferramenta.

A compensação do raio da ferramenta no contorno não pode ser feita com movimento nos três eixos (X,Y,Z).

**EXEMPLO 1** – Descrever o programa de maquinação em coordenadas cartesianas e usando G90 (dimensões absolutas), da peça representada na figura 24.

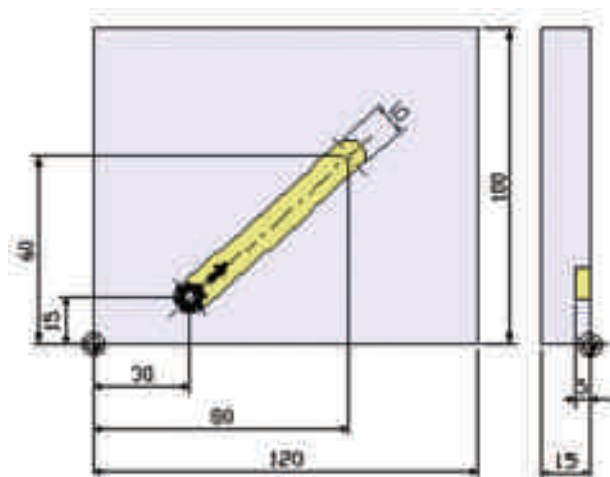


Figura 24 – Peça a ser maquinada.

```

N0010 O0001;
N0020 G90 G45 G17 G21 G40 G80;
N0030 G00 Z100;
N0040 M06 T02;
N0050 G00 X30.0 Y15.0 Z2.0 M03 S1150;
N0060 G01 Z-5.0 F30;
N0070 X80.0 Y60.0 F320;
N0080 Z2.0 F800;
N0090 G00 Z200 M05;
N0100 M30;

```



**EXEMPLO 2** – Descrever o programa de maquinação em coordenadas cartesianas e usando G91 (dimensões incrementais), da peça representada na figura 24.

```

N0010 O0001;
N0020 G90 G45 G17 G21 G40 G80;
N0030 G00 Z100;
N0040 M06 T02;
N0050 G00 X30.0 Y15.0 Z2.0 M03 S1150;
N0060 G01 Z-5.0 F30;
N0070 G91 X50.0 Y45.0 F320;
N0080 G90 Z2.0 F800;
N0090 G00 Z200 M05;
N0100 M30;

```

### Interpolação Circular G02, G03

Se a ferramenta é mandada mover-se segundo um arco circular entre dois pontos, o controlador consegue esta interpolação circular, calculando os pontos do contorno.

O movimento da ferramenta é feito da seguinte maneira:

1. Segundo um arco circular:
  - G02 - sentido horário
  - G03 - sentido anti-horário

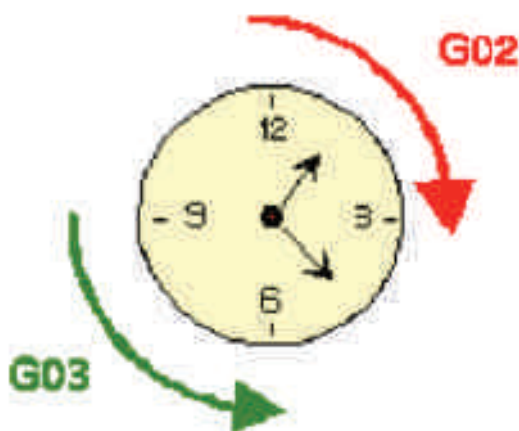


Figura 25 – Interpolação circular.



2. No plano desejado:

- G17 plano XY;
- G18 plano XZ;
- G19 plano YZ.

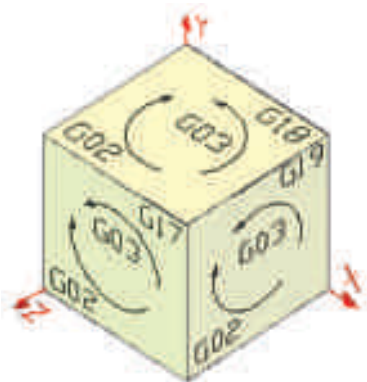


Figura 26 – Plano.

3. Programação do centro do círculo.
4. Desde o primeiro ponto até ao ponto programado do círculo.
5. Programação do avanço de trabalho.

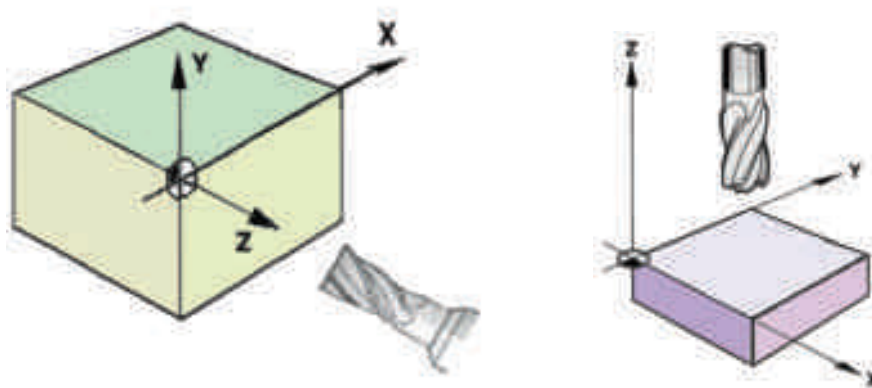


Figura 27 – Avanço de trabalho.

O ponto final de um arco é especificado através dos endereços X, Y e Z e pode ser expresso em coordenadas absolutas ou incrementais G90 ou G91. Para as coordenadas incrementais o ponto final é calculado através das coordenadas do ponto inicial do arco especificado. O centro do arco é especificado através dos endereços I, J ou K, para os eixos, respetivamente.



O valor numérico I, J ou K, respetivamente, com G90 ou G91 terá de ser um valor incremental a partir do ponto inicial do arco ao centro do mesmo, como demonstram as figuras. I, J, K podem ser positivos ou negativos de acordo com a direção. O raio pode ser especificado com o endereço R (ou outra letra, depende do controlador) em vez dos endereços I, J e K.

G02/G03 X...Y...R...;

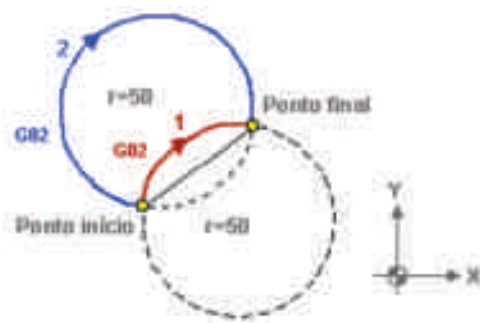


Figura 28 – Interpolação circular.

Neste caso, existem dois tipos de arcos (um arco é menor que 180° e outro que seja maior que 180°) como mostra a figura 28. Quando o arco comandado excede os 180° o raio tem de ser especificado com um valor negativo:

- Para o arco 1 (menor que 180°): G91 G02 X60.0 Y20.0 R50.0 F300;
- Para o arco 2 (maior que 180°): G91 G02 X60.0 Y20.0 R-50.0 F300.

## COMPENSAÇÃO DA FERRAMENTA

Na maquinação por controlo numérico, como é o caso da fresagem, cópia e torneamento, torna-se necessário fornecer ao controlador, não só os parâmetros de maquinação (avanço, rotação, ...), mas também uma série de dados relativos à ferramenta, que o controlador necessita de conhecer, tais como, o diâmetro e o comprimento da ferramenta.

Quando uma ferramenta faz a aproximação a um contorno programado pelas suas cotas finais, a ferramenta deve ser conduzida de tal forma que as navalhas da ferramenta percorram o contorno desejado sem que haja penetração da ferramenta no contorno. Por isso, o controlador tem de conhecer o diâmetro da ferramenta, por forma a situar a



ferramenta exterior ou interior ao contorno programado, em que o centro da ferramenta (Figura 29) percorre uma trajetória equidistante e paralela ao contorno final.

Quando se dá a passagem de penetração a uma certa profundidade, o controlador necessita de conhecer qual a altura da ferramenta. A este processo dá-se o nome de **compensação da ferramenta**, ou correção da ferramenta.

A maquinação por electroerosão não tem este conceito, pois o formato final da peça a ser maquinada terá o formato invertido da ferramenta, que é o eléctrodo. No entanto, há a referir que existem máquinas equipadas com processos que de certa forma constituem uma pequena analogia ao conceito de compensação da ferramenta. Sistemas existem, que permitem realizar a correção do desgaste sofrido pelo eléctrodo.

Na fresagem e cópia, existem dois tipos de compensação utilizados:

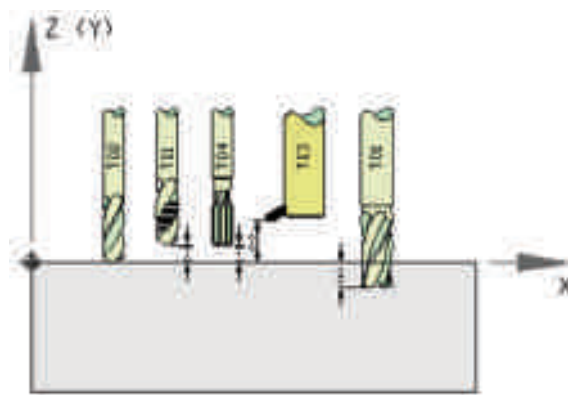
- Compensação do comprimento da ferramenta;
- Compensação do raio da ferramenta.

### *Compensação do Comprimento da Ferramenta*

As ferramentas de corte (fresas e ferros de torno) têm diferentes comprimentos. Todavia, existe uma forma de compensar esta diversidade de dimensões, por forma a tornar mais eficaz a maquinação.

A maioria dos controladores, possui um espaço destinado a valores de compensação de comprimentos de ferramentas. Isto faz com que se possa planear o trabalho de duas formas diversas:

- Uma em que o operador afina a ferramenta sempre que a queira utilizar, para cada maquinação programada, colocando o referencial Z no plano pretendido (não necessariamente  $Z = 0$ );
- Outra em que se utilizará uma ferramenta de referência, sendo os comprimentos das restantes, relacionados com esta última.



*Figura 29 – Compensação do comprimento da ferramenta.*



### Compensação do Raio da Ferramenta

No torneamento, apresenta-se o raio de corte como elemento a ser compensado. Na programação, o contorno final é considerado como se fosse maquinado por uma ferramenta de raio nulo no gume de corte. Na realidade, as pontas das ferramentas de corte têm um raio de maior ou menor valor.

Na compensação do diâmetro da ferramenta é normal fornecer ao controlador o valor do raio da ferramenta, fazendo com que este valor esteja sempre presente aquando da maquinação de um contorno programado. Na realidade, a ferramenta deslocar-se-á para a esquerda ou para a direita do contorno, de um valor igual ao do raio da ferramenta.

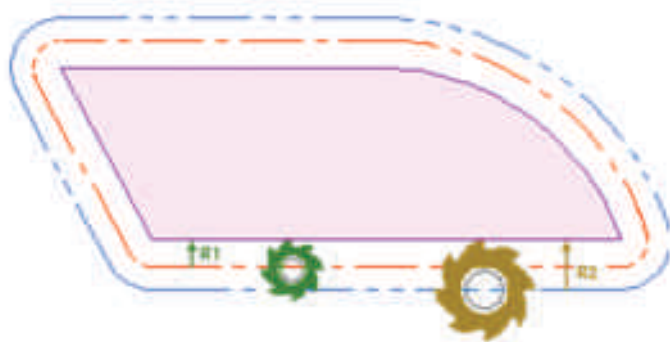


Figura 30 – Compensação do raio da ferramenta.

Na figura 30, a ferramenta se mantém numa trajetória equidistante ao contorno programado. O sentido de maquinar à esquerda ou à direita do contorno é dado consoante a posição que a ferramenta toma em relação ao contorno, tendo em conta o sentido da maquinação. A forma de indicar ao controlador a posição a tomar depende de controlador e sobretudo do tipo de linguagem utilizada (Figuras 31 e 32).

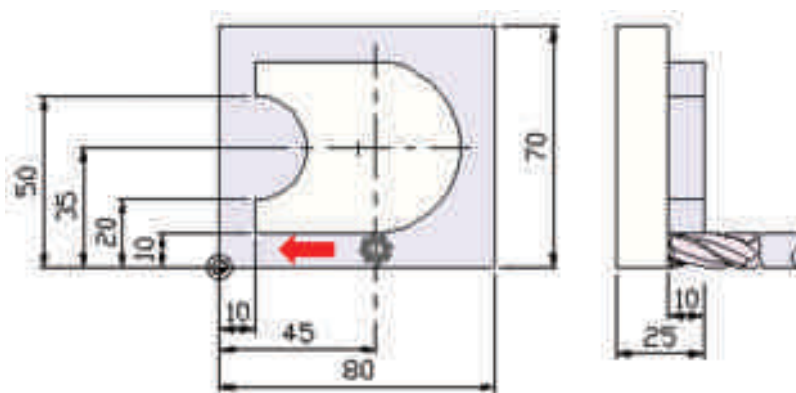


Figura 31 - Ferramenta à esquerda do contorno G41.





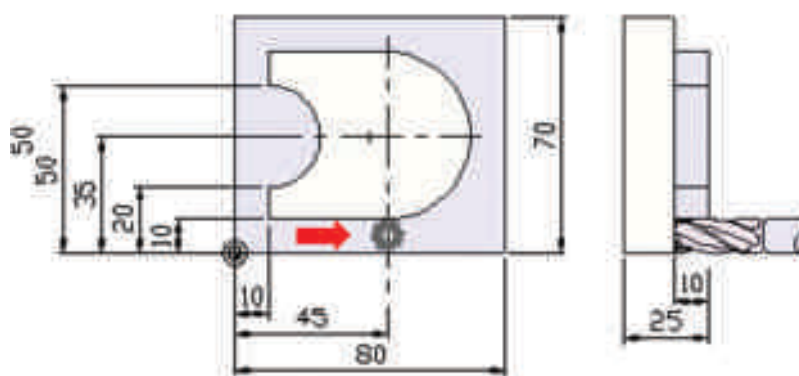


Figura 31 - Ferramenta à direita do contorno G42.

Existem, no entanto, algumas restrições que limitam o processo de compensação. Os contornos programados têm, por vezes, troços que são menores que o valor de compensação do raio da ferramenta. Na maioria dos controladores, estas situações não funcionarão. Isto leva a que o programador tenha que ter em consideração as ferramentas a serem utilizadas e a repartir os seus programas, por forma a viabilizar a maquinação das peças. Mas esta situação dependerá somente do tipo de controlador porque se existem controladores que detetam esta situação, apresentando mensagens de erro, outros há que executam os programas sem terem detetado à priori estas anomalias.

Outros existem porém, mais avançados, que detetam esta situação, compensando-a de forma satisfatória, não penetrando nas zonas “proibidas”. As trajetórias equidistantes ao contorno programado são conseguidas mediante o cálculo sistemático de paralelas nos trajetos retos e circulares entre os pontos inicial e final de cada troço. Na figura 32 está representada a forma como se processará o desenvolvimento da trajetória paralela, em cantos internos e em cantos externos (2 situações):

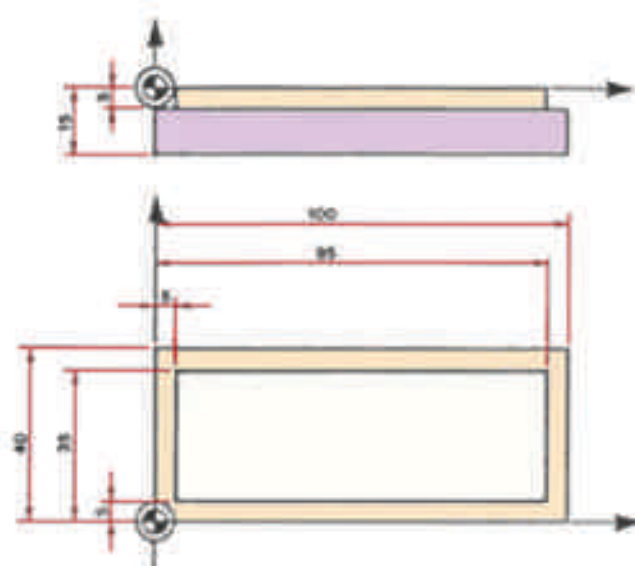


Figura 32 - trajetória paralela, em cantos internos e em cantos externos.



- Nos cantos internos, existe uma trajetória paralela, mas cujos pontos final e inicial, não correspondem ao comprimento dos traços de contorno programado; pois os controladores têm a capacidade de “ler” uma série de blocos de programa à frente (instruções de programa), calculando os pontos de intersecção e tangência destes novos pontos final e inicial.
- Nos cantos externos, consoante o tipo de controlador, duas situações poderão surgir:
  - Na primeira situação, a mais usual, a trajetória corrigida e desenvolvida, por arcos de circunferências com centro nos vértices dos cantos dos contornos programados;
  - Numa segunda situação, o desenvolvimento é feito por prolongamentos paralelos ao contorno até ao ponto de intersecção do troço seguinte.

## PROGRAMAS PRINCIPAIS E SUB-PROGRAMAS

Se na maquinação de uma peça se têm de realizar várias operações iguais, estas poderão ser programadas uma só vez (num subprograma) e depois podem ser chamadas quantas vezes se pretendam no programa principal ou em outro subprograma. Os subprogramas são introduzidos separadamente do programa principal como se tratasse de um outro programa, a diferença fundamental está justamente no seu final, o qual termina sempre com a função M99 em vez do M30 ou M02.

Já sabemos que o programa principal inicia-se com a sua identificação (d direcção O e o respectivo número) Oxxxx (exemplo programa nº122 -> O0122) e termina com M02 ou M30.

O subprograma pode ser chamado dum programa principal ou de dentro de outro subprograma. Para isso introduz-se a M98 (chamada de subprograma) seguido da direcção P juntamente com número de repetições (três dígitos) e número de subprograma (quatro dígitos).



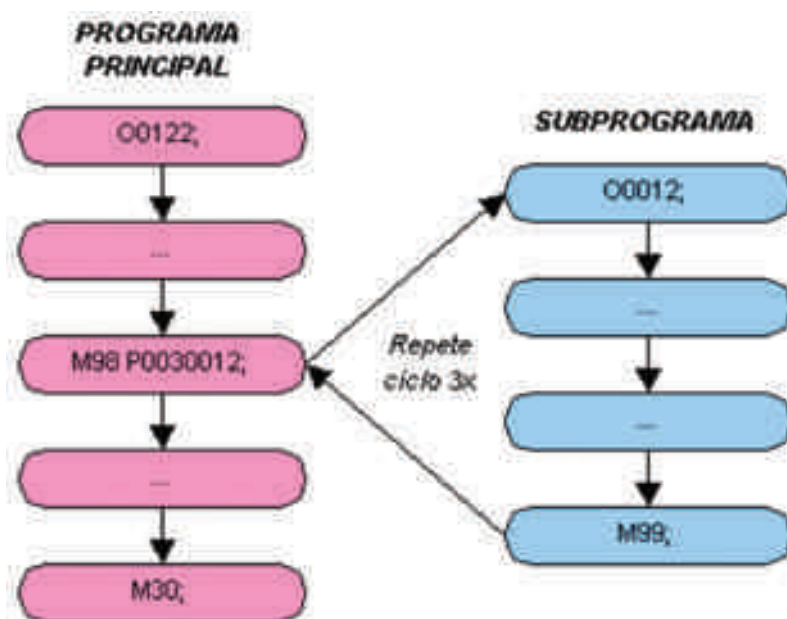


Figura 33 – Estrutura de um sub-programa.

Os códigos são:

- M98 - Chamada de Subprograma
- M99 - Retorno ao programa principal (fim de subprograma)
- Fim do programa com reinício automático (ciclo contínuo)

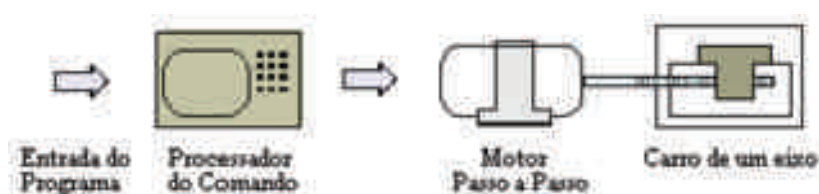


# EXERCÍCIOS TEÓRICOS

**EXERCÍCIO 1.** Indique algumas vantagens do CNC em relação à maquinação convencional.

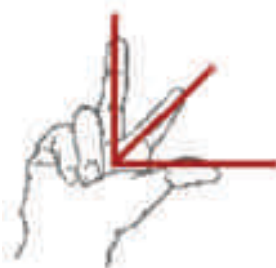
**EXERCÍCIO 2.** Indique também algumas das desvantagens.

**EXERCÍCIO 3.** Diga que tipo de circuito de regulação da posição se encontra representado na figura seguinte. Como funciona?



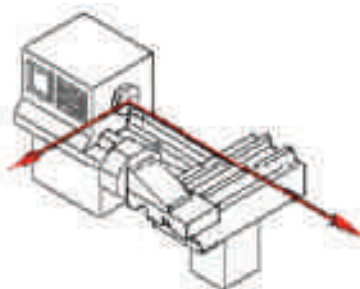
**EXERCÍCIO 4.** Num sistema de coordenadas 3 eixos, quais são essas coordenadas?

**EXERCÍCIO 5.** Considere a figura seguinte.



Diga qual o eixo a que corresponde cada um dos dedos.

**EXERCÍCIO 6.** Considere a figura seguinte que representa os eixos de coordenadas no torno. Indique no desenho o sentido positivo dos eixos X e Z.



**EXERCÍCIO 7.** Defina ponto zero máquina.

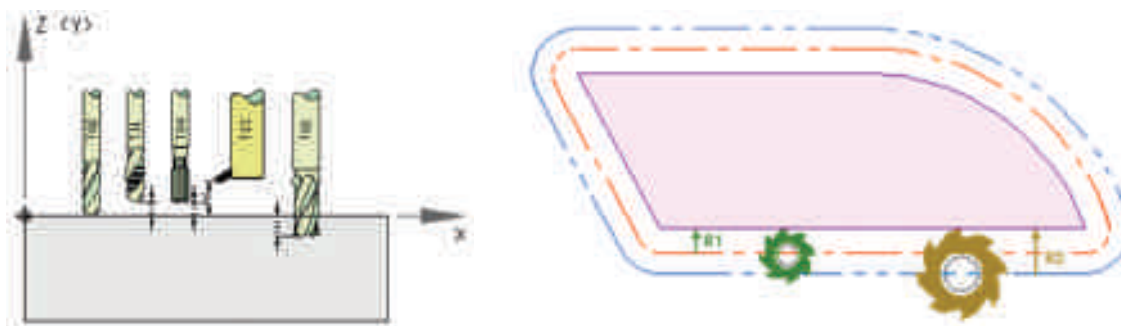
**EXERCÍCIO 8.** Qual o significado dos seguintes códigos: Considere os seguintes códigos:

G02, G03, G41, G21 e G91. Diga qual deles corresponde às seguintes funções:

- a. Programa em milímetros
- b. Posicionamento rápido
- c. Compensação da ponta esquerda do raio da ferramenta
- d. Programa em coordenadas incrementais
- e. Interpolação linear

**EXERCÍCIO 9.** Defina compensação da ferramenta.

**EXERCÍCIO 10.** Na fresagem e cópia, existem dois tipos de compensação que podem ser feitas. Diga quais são e identifique-as na figuras.



## Notas

[illegible]