

1. Entendimento básico do CNC

FUNDAMENTOS DO **CNC** PARA USINAGEM

Embora a intenção deste livro seja apresentar os principais fundamentos dos CNC, seu conteúdo ajudará também a entender porque estas máquinas sofisticadas ficaram tão populares.

Máquina CNC para usinagem é um equipamento eletromecânico computadorizado, que recebe informações em linguagem de máquina via computador próprio. Este irá compila-las e transmiti-las em linguagem decodificada a servo-motores e a outros mecanismos, fazendo, deste modo, com que movimentem eixos ou configurem dezenas de atitudes necessárias para que se fabrique, por meio de usinagem (remoção de material por ferramenta cortante), peças e produtos de baixa à altíssima complexidade, numa sequência prevista e definida pelo programador CNC.

1.1 Composição básica de uma máquina CNC

a. Unidade de entrada de dados

Também conhecido como “*Input unit*”, trata-se do mecanismo responsável por receber os dados dos programas e os apresentar ao computador.

As máquinas mais antigas recebiam os programas CNC a partir de cartões ou fitas perfuradas, até mesmo disquetes. Evoluindo, as máquinas passaram a utilizar uma porta serial (RS232, RS-485 etc.) que permitia receber os programas diretamente através de uma rede DNC (*Direct Numerical Control*), ou seja, com um protocolo específico para máquinas CNC.

Atualmente, as máquinas permitem a conexão em rede Ethernet tornando mais flexível a comunicação, não só para receber os programas CNC, mas também para “exportar” informações do processo (OEE etc.).

b. Computador

Processador que interpreta o conjunto de instruções contidas no programa CNC e envia as informações decodificadas para servo-mo-

tores que vão acionar os eixos (X, Y, Z, A, B, C) da máquina, de forma sincronizada e controlada, para que os movimentos desejados sejam realizados. Estas instruções também são direcionadas a mecanismos, controladores, dispositivos e/ou componentes, em geral suscetíveis a atuações instigadas pelos códigos processados a realizar outras funções também importantes do processo produtivo.

c. Mecanismos comandados ou auxiliares

São mecanismos, controladores e equipamentos que serão operados pela linguagem decodificada do processador. São servo-motores, PLC, micro switches, atuadores etc.

d. Máquina ferramenta

Totalmente integrada com o CNC, é a estrutura física da máquina: base, mesa, eixos, fusos, gabinete; sistemas mecânicos, hidráulicos, pneumáticos e elétricos que em conjunto formam a máquina de usinagem.

Apesar de considerarmos que a máquina CNC atual é composta pelos itens de “a até d” citados acima, há uma integração extremamente complexa de equipamentos, mecanismos, dispositivos e processadores empregados numa máquina CNC. O objetivo é de obter o melhor e mais eficaz desempenho na fabricação de itens usinados.

1.2 Alguns dos benefícios mais importantes do CNC

a. O primeiro benefício (Automatização)

Em todas as formas de máquinas ferramentas CNC é, sem dúvida, a automatização o benefício principal, pois a intervenção humana relacionada à produção da peça-produto é drasticamente reduzida ou eliminada.

Muitas máquinas CNC podem rodar sem qualquer acompanhamento humano durante um ciclo de usinagem completo, permitindo ao operador tempo livre para desempenhar outras tarefas.

Deste modo, o usuário CNC terá vários benefícios que incluem a redução da fadiga física e mental do operador, menos enganos causados por erro humano, usinagem consistente e em tempo previsível de fabricação para cada produto.

Considerando que a máquina estará sob o controle de um programa computadorizado, o nível de habilidade requerido do operador de CNC relacionado à prática de usinagem é básico; e também bastante reduzido se comparado ao operador de máquinas ferramentas convencionais.

b. O segundo benefício (Precisão e Repetitividade)

A tecnologia CNC faz peças consistentes e precisas, estas máquinas CNC de hoje ostentam precisões incríveis de especificações e também quanto à repetitividade.

Isto significa que uma vez que um programa esteja testado e aprovado, podem ser produzidos dois, dez, ou mil produtos idênticos, facilmente, com precisão e consistência adequadas.

c. O terceiro benefício (Flexibilidade)

Também oferecido pela maioria das máquinas ferramentas CNC é a flexibilidade, desde que estas máquinas estejam sob o controle de programas; pois cortar um produto diferente quase é tão fácil quanto carregar um programa diferente na memória do computador.

Uma vez que um programa tenha sido verificado e executado para produção, poderá ser substituído facilmente por um próximo tipo de peça a ser cortada.

Isto nos leva a outro benefício, o da troca rápida de “*setup*”; estas máquinas são muito fáceis de montar e produzir um produto específico, assim como carregar um novo programa. Sendo assim, minimizam muito o tempo de *setup*. Em certos casos, quase zeram este tempo quando possuem “*pallets*” para montagem externa. Isto atualmente está se tornando mandatório com as exigências de produção dos nossos dias.

1.3 Controle de movimento - o coração do CNC

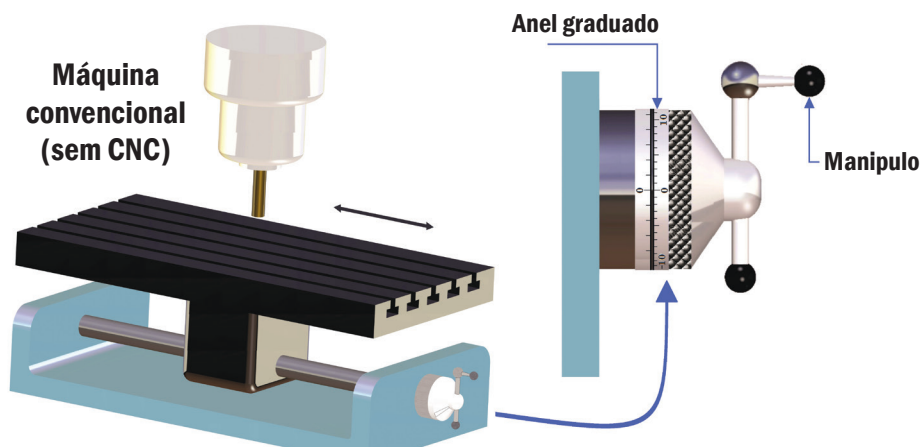


Figura 1.3.1 O movimento de uma mesa de máquina ferramenta convencional é acionado pelo operador que gira uma manivela (manípulo). O posicionamento preciso é realizado pelo operador que conta o número de voltas a ser dada na manivela com graduações no dial (anel graduado), desta forma dependendo exclusivamente da perícia do operador.

A função mais básica de qualquer máquina CNC é o controle de movimento automático dos eixos, precisos e consistentes.

Todos os equipamentos CNC que tenham duas ou mais direções de movimento, estes movimentos específicos em uma dada direção são chamados de eixos. Estes eixos são precisos e automaticamente posicionados ao longo dos seus movimentos de translação.

A demanda por eixos especiais está entre as inovações dos CNC que são solicitadas pelos usuários no momento; no entanto, a base ainda são os eixos rotativos ou lineares nas mesas ou cabeçotes dos CNC.

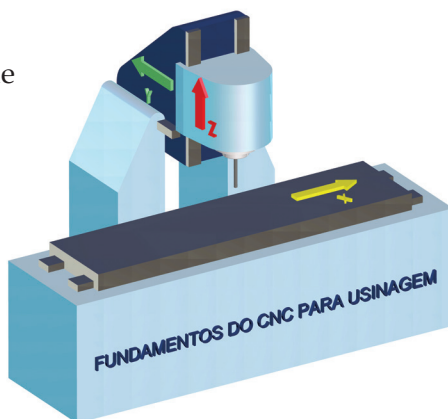
E podemos dizer ainda que uma máquina de cinco eixos (normalmente três lineares e dois rotativos) é o artigo mais desejado dos usuários de CNC, pois são máquinas que possuem a maior versatilidade e desenvoltura na fabricação de produtos usinados.

1.4 Os dois tipos de eixos mais comuns:

a. Eixos lineares

São eixos dirigidos ao longo de um caminho retilíneo.

Figura 1.4.1 Exemplo de três eixos lineares (X, Y e Z)



b. Eixos rotativos

São dirigidos ao longo de um caminho circular ou angular. A figura ao lado representa os eixos mais comuns encontrados em uma mesa CNC, onde é possível perceber os eixos rotativos A, B e C.

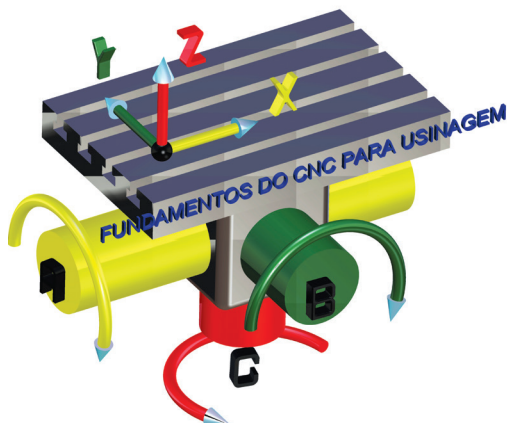


Figura 1.4.2. Exemplo representativo de eixos diversos, incluindo rotativos A, B e C, todos na mesa da máquina.

Estas máquinas incríveis, em vez dos eixos serem movimentados se girando manualmente algumas manivelas, como era feito nas máquinas ferramentas convencionais, têm seus eixos movimentados sob o controle de servo-motores do CNC.

Geralmente os CNC possuem ao menos um PLC, cuja função principal é auxiliar o computador a controlar e monitorar as atitudes mais importantes e repetitivas das máquinas. Em conjunto com o computador, estes controladores lógicos ajudam a enviar e receber informações dos vários mecanismos comandados da máquina CNC. Os mais importantes são os servo-motores que giram em velocidade precisa e geram os movimentos dos eixos com pontualidade. Isto é, durante todo o tempo estes servo-motores estão recebendo e, de algum modo, enviando informação de suas atitudes ao cérebro do CNC.

Em geral, o tipo do movimento (rápido, linear e circular), a quantidade de movimento e a taxa de avanço (*feedrate*^{*)} são programáveis em todas as atuais máquinas ferramentas CNC. Na figura 1.3.1 anterior mostramos o controle de movimento de uma máquina convencional, enquanto que a figura logo abaixo mostra a esquematização de um movimento de eixo linear em uma máquina CNC.

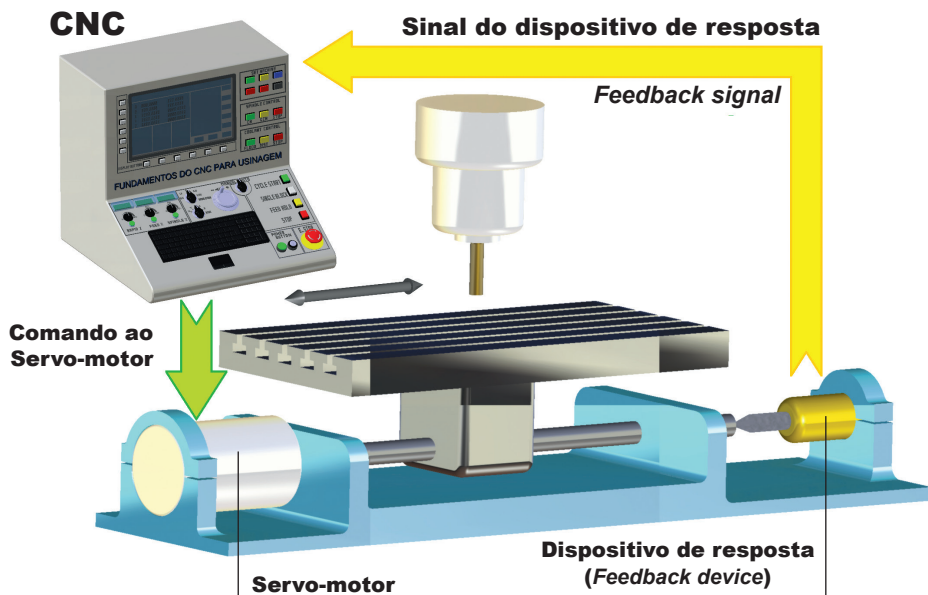


Figura 1.4.3 Uma máquina CNC recebe a posição comandada do programa CNC. O servo-motor é acionado com a quantidade correspondente de giros no fuso de esferas de aço, na velocidade adequada para posicionar a mesa onde foi comandada ao longo de um ou mais eixos lineares ou rotativos no tempo exato definido pela velocidade programada. Um mecanismo de resposta confirma se a quantidade de giros no fuso guia realmente ocorreu ou está ocorrendo.

Um comando executado no CNC (comumente por um programa) diz, em última instância, ao servo-motor, via impulsos elétricos, para girar um número preciso de vezes, em um tempo determinado.

A rotação do servo-motor gira o fuso que passa em um suporte da mesa que está montada sobre um barramento; quando o fuso gira os sulcos com esferas de aço do mesmo, força a mesa em uma direção; e esta desliza sobre o barramento de apoio gerando movimento em uma direção específica.

Este fuso movimentava o eixo linear, um mecanismo de avaliação constante, em geral posicionado no final deste fuso roscado, o que permite o controle confirmar, o tempo todo, se o número comandado de rotações está acontecendo.

Embora a analogia seja bastante rústica, o mesmo movimento linear básico pode ser encontrado em uma máquina convencional; quando gira a manivela, você girará um eixo com rosca (parafuso sem fim), o qual movimentava a mesa em uma direção específica.

Por comparação, um eixo linear em uma máquina ferramenta CNC é extremamente preciso. O servo-motor dirige exatamente o número de rotações do fuso e controla a quantidade de movimento linear ao longo deste eixo.

É lógico o que foi dito sobre fuso sulcado, movimentos com esferas de aço e barramentos não são os únicos elementos ou os únicos modos de

se obter movimentos das mesas ou cabeçotes dos CNC. Há outras tecnologias sendo inseridas nos CNC, é sabido atualmente que muitas inovações nas ciências dos elementos e movimentos de máquinas estão sendo aplicadas aos novos CNC. Um exemplo bastante comum são os CNC com guias lineares.



Figura 1.4.4 Acima, exemplo de fuso de esferas. Ainda muito usado para geração de movimentos em CNC.

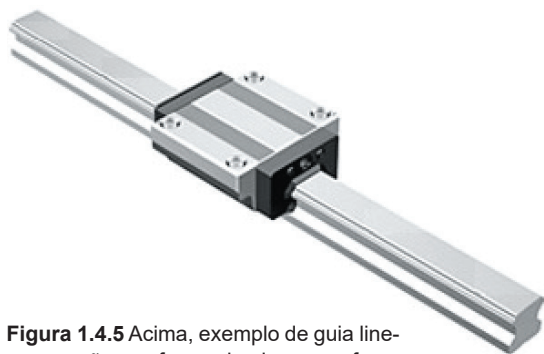


Figura 1.4.5 Acima, exemplo de guia linear, que não usa fuso sulcado com esferas de aço para gerar movimento de mesa nos CNC.

1.5 Entendendo os sistemas de coordenadas

Seria inconcebível para o operador CNC gerar movimento de eixo tentando controlar o servo-motor de cada eixo; ou seja, teria que saber quantas vezes deveria girar este fuso para comandar uma determinada quantidade de movimento linear. Isto levaria a ter que entender quantas voltas da manivela em um anel graduado seriam necessárias para movimentar a mesa em um milímetro exatamente e de maneira uniforme, constante e concomitante com outro eixo.

Em vez disto, todos os controles CNC permitem comandar o movimento do eixo de um modo muito mais simples e mais lógico, utilizando alguma forma de sistema de coordenada. Os dois sistemas de coordenadas mais populares, usados na maioria das máquinas CNC, são o sistema de coordenada cartesiano ou retangular e o sistema de coordenada polar.

Sem dúvida, o mais comum é o sistema de coordenada retangular, que usaremos como base para a grande maioria das discussões contidas neste livro.

Uma aplicação muito comum para o sistema de coordenada retangular ou cartesiano é a leitura de gráficos; quase todo mundo já teve que fazer ou interpretar um gráfico.

Atualmente, entende-se que a necessidade de utilizar gráficos é trivial a qualquer trabalhador de nível técnico ou superior, isto se assemelha muito ao conhecimento que é exigido para se entender a geração do movimento de um eixo em uma máquina de CNC. Por isto, revisemos os fundamentos dos gráficos:

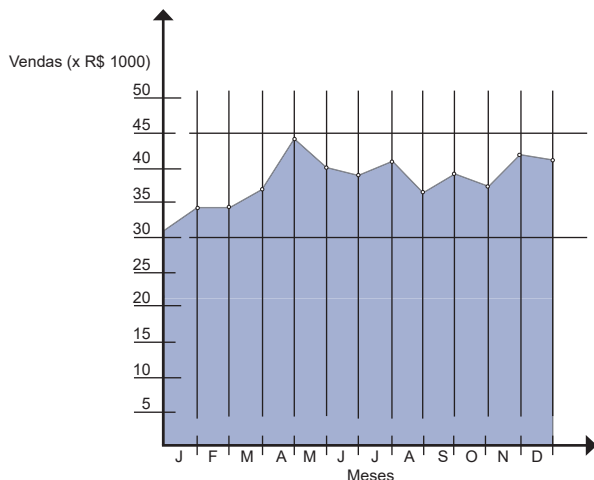


Figura 1.5.1 O gráfico ilustra o uso de duas linhas básicas, os incrementos usados para cada linha básica, a origem pontual para as duas linhas básicas (horizontal e vertical).

A figura anterior é um gráfico das vendas de uma loja comercial durante um ano; como em qualquer gráfico de duas dimensões, este gráfico tem duas linhas de base (vertical e horizontal).

Observa-se que cada linha básica é usada para representar algo. Nas linhas básicas são representados os incrementos, além do que, cada linha básica tem seus limites.

No gráfico do exemplo de venda anual, a linha básica horizontal está sendo usada para representar o tempo; para esta linha básica, o incremento de tempo está em meses, perceba que esta linha básica tem início em janeiro e final em dezembro.

A linha básica vertical representa as vendas da loja, que estão divididas de cinco em cinco mil reais, inicia-se em zero e finaliza-se em cinquenta mil reais.

Quem fez o gráfico observou o montante de vendas da companhia realizado em janeiro do ano passado e colocou na posição do gráfico no final do mês de janeiro. Um ponto, então, foi destacado no gráfico.

Isto foi repetido em fevereiro, março e assim sucessivamente para cada mês do ano, uma vez que todos os pontos foram lá colocados. Uma linha ou curva foi passada em cada um dos pontos, o que torna mais claro o desempenho das vendas desta companhia no ano anterior.

1.6 Usando o que aprendemos sobre gráficos

Relacionemos, agora, o que se sabe sobre gráficos com o movimento de um eixo CNC. Em vez de plotar os pontos teóricos do exemplo acima para representar ideias conceituais, o programador de CNC plotará os pontos do final físico para cada movimento de eixo. Cada eixo linear da máquina ferramenta pode ser pensado como uma linha básica do gráfico.

Como nos gráficos de linhas básicas, os eixos estão divididos em incrementos. Porém, em vez de estar dividido em incrementos de ideias conceituais, como tempo e montante de vendas, cada eixo linear do sistema de coordenada retangular ou cartesiana de uma máquina CNC está dividido em incrementos mensuráveis em polegadas ou mm (medida de distância).

No modo de polegadas, o incremento menor pode ser 0.0001 polegadas. No modo métrico, o incremento menor pode ser 0.001 milímetros. A propósito, para eixo rotativo o incremento é 0.001 graus.

Assim como nos gráficos, cada eixo no sistema de coordenadas da máquina CNC tem que iniciar em algum ponto. Com o gráfico, a linha básica horizontal começou em janeiro e a linha básica vertical começou nas vendas zeradas.

O lugar onde as linhas básicas verticais e horizontais se encontram é chamado de ponto de origem do gráfico. Para propósitos de CNC, este ponto de origem é chamado pelo programa comumente de ponto zero (também chamado de zero de trabalho, zero peça, origem do programa etc.).

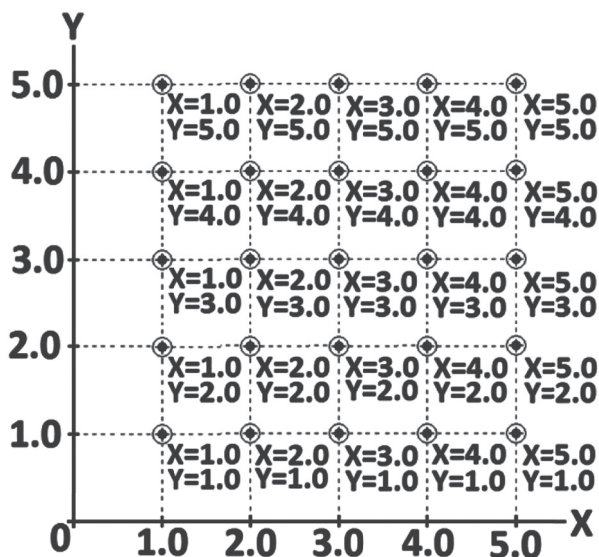


Figura 1.6.1 No sistema de coordenada retangular para o plano XY, o ponto zero do programa estabelece o ponto de referência para movimento comandado em um programa de CNC. Isto permite ao programador especificar movimentos de um local comum. Se o zero de programa for sabiamente escolhido, normalmente podem ser tomadas as coordenadas precisas para o programa diretamente.

A figura acima mostra como são considerados os posicionamentos e, assim, como são comandados usualmente os movimentos de eixo em máquinas CNC.

Por exemplo, os dois eixos mostrados são chamados de X e Y, mas lembre-se de que no programa o zero pode ser aplicado a qualquer eixo, embora o nome de cada eixo mude dependendo do tipo de máquina CNC. Há outros nomes comuns, entre eles incluem-se Z, A, B, C, U, V e W. Neste exemplo é possível mostrar bem como o movimento de eixo pode ser comandado.

Como se pode ver, a posição mais baixa no canto e mais à esquerda da peça será correspondente à posição zero para cada eixo. Quer dizer, o canto mais baixo à esquerda da peça é o ponto zero do programa. Antes de escrever o programa, o programador deverá determinar a posição zero do programa. Tipicamente, o ponto zero do programa é escolhido como o ponto onde todas as dimensões se iniciam.

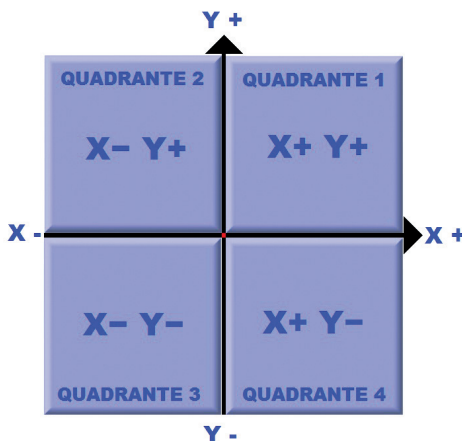
Com esta técnica, se o programador deseja enviar a ferramenta a uma posição dez milímetros à direita do ponto zero do programa, X10.000 é comandado. Se o programador deseja que a ferramenta se mova a uma posição de dez milímetros sobre o ponto zero do programa, Y10.000 será comandado.

O controle determinará quantas vezes automaticamente irá girar o servo-motor de cada eixo e, assim, fazer o eixo alcançar o ponto de destino do bloco comandado. Além do número de vezes que o servo-motor irá virar, o CNC irá definir com que velocidade isto deverá ocorrer; isto é algo extremamente difícil ou demorado de obter-se nas antigas máquinas convencionais. Para o programador, no entanto, este modo de programar o movimento é algo muito lógico e simples.

Nos exemplos dados, todos os pontos aconteceram para cima e à direita do ponto zero do programa. Esta área, acima e à direita do ponto zero do programa, é chamada de primeiro quadrante (neste caso, quadrante número um).

Não são raras as máquinas CNC que trabalham em outros quadrantes. Quando isto acontecer, pelo menos uma das coordenadas deve ser especificada como negativa. A figura abaixo mostra a relação dos quatro quadrantes, como também as representações “mais e menos” que requerem para cada.

Figura 1.6.2 Se um ponto for definido num programa CNC em qualquer quadrante diferente do primeiro quadrante, um sinal de menos deverá ser incluído, no mínimo, em um de seus eixos.



1.7 Absoluto versus incremental

Todas as discussões sobre este ponto concluem que o modo absoluto de programar deve ser usado. Atualmente são raríssimas as condições de trabalho que consideram o modo incremental mais interessante.

No modo absoluto, as coordenadas dos pontos de todos os movimen-

tos serão especificadas a partir do ponto zero do programa.

Normalmente, este é o melhor e mais fácil método de especificar as posições para comandos de movimento de uma CNC.

Porém, há outro modo de especificar os movimentos de eixo, o incremental; neste modo são especificadas as distâncias dos movimentos a partir da posição atual da ferramenta, não do zero do programa. Com este método de movimento, o programador precisa se questionar: “quão distante eu deveria mover a ferramenta?”; porém, são tão raras as vezes que este método é útil, que atualmente está se transformando em coisa do passado, em geral, é mais incômodo e difícil.

É importante tomar muito cuidado ao se fazer os comandos de movimento; novatos têm a tendência de pensar em modo incremental. Porém, trabalhando-se no modo absoluto (como é aconselhável), o programador sempre se perguntará: “a que posição a ferramenta deveria ser movida?”. Esta posição é relativa ao zero do programa e não à posição atual da ferramenta.

A próxima figura mostra duas sequências idênticas de movimentos, uma no modo incremental e a outra no modo absoluto. Uma explanação para simplificar o conceito Absoluto & Incremental, veja abaixo:

a. Modo Absoluto - (cujo código G é G90) As Coordenadas dos pontos de todos os movimentos serão especificadas a partir do ponto zero do programa.

b. Modo Incremental - (cujo código G é G91) O movimento é especificado a partir da posição atual da ferramenta, não do zero do programa.

As próximas figuras explicam os dois conceitos:

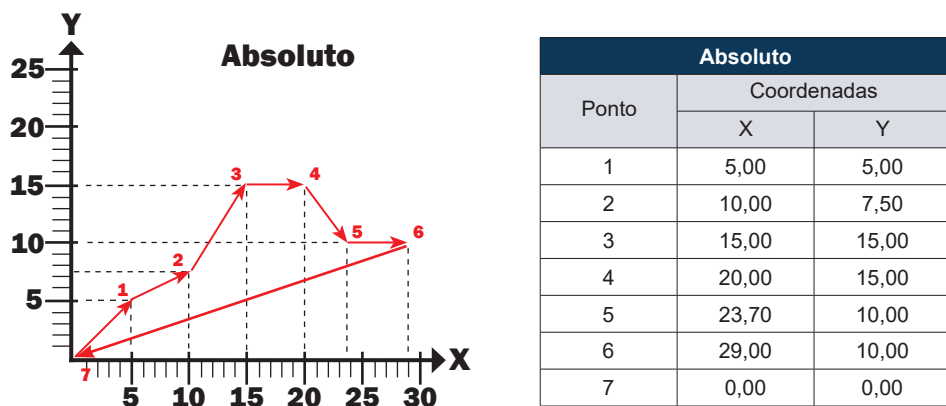
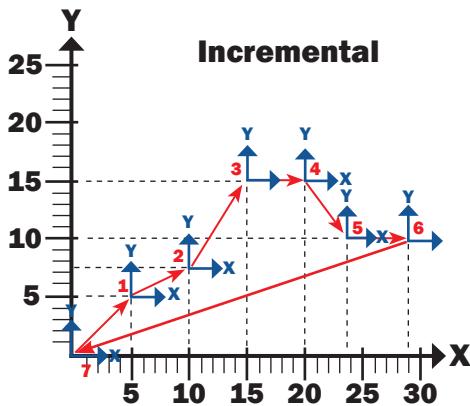


Figura 1.7.1 Acima, é possível se entender com facilidade o conceito do modo absoluto.



| Incremental | | |
|-------------|-------------|--------|
| Ponto | Coordenadas | |
| | X | Y |
| 1 | 5,00 | 5,00 |
| 2 | 5,00 | 2,50 |
| 3 | 5,00 | 7,50 |
| 4 | 5,00 | 0,00 |
| 5 | 3,70 | -5,00 |
| 6 | 5,30 | 0,00 |
| 7 | -29,00 | -10,00 |

Figura 1.7.2 Acima, demonstração do conceito do modo incremental.

É muito fácil identificar o local preciso da ferramenta em qualquer comando dado pelo modo absoluto.

No modo incremental, pode ser muito difícil determinar a posição referencial e atual da ferramenta para um determinado comando de movimento; porém, há situações de trabalho que justificam o uso do modo incremental. Como, por exemplo, em alguns casos quando se trabalha em MDI (Manual Data Input), programando na própria máquina.

Além de ser muito fácil de determinar a posição atual para qualquer comando, outro benefício de se trabalhar no modo absoluto tem a ver com os enganos ocorridos durante os comandos de movimento.

No modo absoluto, se um erro de movimento é cometido em um comando do programa, só este movimento estará incorreto. Por outro lado, se um erro é cometido durante movimentos por incrementos, todos os movimentos a partir deste ponto também estarão errados.

Lembre-se de que o controle CNC precisa saber onde você definiu o ponto zero do programa, assim como se passa informação de uma pessoa para outra. Como isto varia muito de uma máquina CNC para outra, o método mais antigo e usual é nomear o zero peça no programa.

Com este método, o programador diz ao controle a posição do ponto zero do programa em relação ao ponto zero da máquina. Isto é comumente passado ao controle pelo código G92 (ou séries de G50). Este comando é colocado pelo menos no começo do programa e, possivelmente, no começo de cada ferramenta.

Um modo mais interessante para nomear o zero do programa é inserir alguma forma de compensação. Fabricantes de controle de centros de usinagem normalmente chamam estas compensações de *Offsets*^{is*} do zero de instalação. Fabricantes de centro de torneamento geralmente nomeiam

estas compensações de acordo com cada tipo de desenho da ferramenta.

Outros modos de como os programas podem ser zerados serão apresentados durante o Fundamento 4.

Outras considerações sobre movimentos de eixos

Até aqui, a preocupação principal foi mostrar como determinar o ponto de cada comando de movimento. Como você pode perceber, para tanto foi requerida uma compreensão do sistema de coordenada retangular ou cartesiano.

Porém, há outras preocupações de como um movimento acontecerá. Por exemplo, o tipo de movimento (rápido, interpolação linear, circular etc.), a taxa de avanço também deve ser uma das considerações do programador. Serão discutidas estas e outras questões durante o Fundamento 3.

1.8 O programa CNC

Quase todos os controles CNC, atualmente, usam um único formato de endereço de palavra para se programar em código ou linguagem de máquina. Geralmente, a maioria dos códigos atuais é baseada na norma ISO 1056* (as poucas exceções para isto são certos controles conversacionais, como, por exemplo, o CNC *Heidenhain** e outros. No entanto, o próprio CNC da companhia *Heidenhain* também propicia, nos seus comandos, um modo de programação no formato de código mais universal, como o código G ou código ISO).

Por intermédio deste formato de endereço de palavra, podemos dizer que o programa CNC é feito sobre sentenças de comandos. Cada comando é composto de palavras CNC e cada qual tem seu endereço de letras e valores numéricos.

O endereço de letra (X, Y, Z etc.) diz ao controle o tipo de palavra e o valor numérico diz ao controle o valor da palavra. Assim como a unidade linguística (palavra) é usada para a formação de sentenças no idioma português, as palavras em um comando CNC dizem às máquinas CNC o que se deseja fazer com cada bloco de comando, numa sequência lógica.

Analogias simples facilitam o entendimento do que acontece em um programa CNC e como são sequenciadas as instruções dadas ao CNC. Exemplos podem ser encontrados em qualquer conjunto de instruções passo a passo, como uma receita de bolo ou uma instrução para se chegar a algum lugar, entre outras situações.

Tomando como exemplo a seguinte situação: a vinda de um visitante de outra cidade para conhecer a empresa e será preciso descrever, deta-

lhadamente, as instruções para percorrer o caminho do aeroporto local até a empresa.

Para isto, deve-se primeiro visualizar todo o caminho do aeroporto até a empresa. Em sequência, descreve-se cada instrução, uma em baixo da outra. Quem seguir as instruções, as executará passo a passo; a primeira e então seguirá para a próxima até que se chegue às instalações.

De modo semelhante, um programador CNC deve poder visualizar as operações de usinagem que deverão ser realizadas durante toda a execução do programa. Então, passo a passo, o programador dará um conjunto de comandos que fará com que a máquina se comporte adequadamente.

Embora não diretamente ligada ao assunto, faremos uma observação importante sobre a visualização. Da mesma maneira que um motorista em uma viagem precisa visualizar o caminho a ser tomado, assim também deve o programador CNC visualizar os movimentos que a máquina CNC estará executando, antes mesmo de o programa ser desenvolvido. Sem esta habilidade de visualização, o programador poderá não desenvolver os movimentos corretamente. Esta é uma das razões porque, em geral, os operadores de máquinas obtêm sucesso nos programas de CNC. Um operador experiente deve poder visualizar qualquer operação de usinagem de modo fácil e efetivo, devido a seu cotidiano junto à máquina CNC.

Da mesma forma que cada instrução de viagem concisa será composta de uma sentença, assim também, cada instrução dada dentro de um programa CNC será composta de um comando. Assim, do mesmo modo que a sentença de instrução de viagem é composta por palavras (unidade linguística), o comando CNC é composto de palavras de CNC (na linguagem CNC).

Quem segue um conjunto de instruções de viagem, as executará explicitamente. Se houver erros no conjunto de instruções, a pessoa se perderá no caminho e não chegará ao seu destino. Em modo semelhante, a máquina CNC executará um programa CNC explicitamente. Se houver um engano no programa, a máquina CNC não se comportará corretamente.

Abaixo, um exemplo breve de um programa onde se deseja executar dois furos em uma peça, num centro de usinagem CNC.

Lembre-se de que não estamos acentuando os comandos neste programa; entretanto, a mensagem nas descrições dos blocos deve deixar relativamente claro sobre o que está acontecendo em cada comando. Neste caso, o principal propósito é acentuar a estrutura de um programa CNC e o fato de que será executado em uma sequência de blocos; ou seja, cada bloco será executado e assim se passará ao próximo imediatamente subsequente.

| Blocos de comando | Descrição dos blocos |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| O0001 | Número de Programa (como “Default ¹ ”, o sistema de medidas do programa, em geral, é em polegadas – G70). |
| N05 G54 G90 G71 S400 M03 | Seleciona as coordenadas, sistema absoluto e o fuso deve girar no sentido horário a 400 RPM, no sistema métrico G71. |
| N10 G00 X100. Y100 | Rápido para o local de XY do primeiro furo. |
| N15 G43 H01 Z10. M08 | Inicia a compensação de comprimento de ferramenta; rápido em Z para posição acima da superfície para furar; liga o refrigerante. |
| N20 G01 Z-5.0 F100 | Avance para executar o primeiro furo até Z=-5mm, na velocidade de 100 mm pôr minutos. |
| N25 G00 Z10 | Rápido para fora do furo a Z=10mm. |
| N30 X200. | Rápido para o segundo furo. |
| N35 G01 Z-5.0 | Avance para o segundo furo. |
| N40 G00 Z100. M09 | Rápido para fora do segundo furo; desliga a refrigeração da ferramenta. |
| N45 G91 G28 Z0 | Retorno posição de referência em Z. |

Mesmo que as palavras e os comandos neste programa não façam muito sentido a você, o intuito aqui é fazer com que se entenda a ordem sequencial na qual o programa CNC será executado. Primeiro o bloco 1, depois o bloco 5 e, assim, sucessivamente.

O controle lerá, interpretará e executará o primeiro comando do programa. Só depois, então, irá para o próximo comando e, deste modo, ele irá: ler, interpretar e executar a linha de comando; seguindo para o próximo comando e, assim, continuamente. Novamente, note-se a semelhança a qualquer conjunto de instrução, passo a passo, dado a executar alguma tarefa ou a atingir algum objetivo específico.

1.9 Exemplos do Código G

Como dito anteriormente, o padrão ISO 1056, também conhecido como Código G, é atualmente a linguagem CNC mais utilizada no mundo; por isto, a maioria dos exemplos de linguagem CNC deste livro será expressa no padrão ISO.

Também já mencionado, um bloco de programa CNC é composto de uma sequência de palavras CNC; na realidade, uma palavra CNC é escrita com uma letra e um número. Estas palavras definem o que deve ser feito em cada bloco do programa, ou seja, o computador do CNC:

- a. Lê as palavras do bloco (ou seja, a sentença toda);
- b. Interpreta as palavras do bloco, executando os cálculos pertinentes;
- c. Decodifica as palavras interpretadas em um comando eletroeletrônico ou em código de linguagem interna do CNC;
- d. Envia o comando aos mecanismos executores na máquina CNC;
- e. Aguarda o *feedback* até a finalização do comando dos mecanismos de resposta;
- f. Passa ao próximo bloco.

O modo descrito acima é apenas para servir de referência do que ocorre, em geral, em um CNC, a cada leitura de um bloco do programa CNC. Lembre-se que os seis passos descritos ocorrem, muitas vezes, em milésimos de segundo.

1.10 Palavras de programação CNC

PALAVRAS COM G – Como citado antes, o código ISO é conhecido também como Código G, pois de acordo com especialistas, as palavras iniciadas com a letra G acrescidas de um número natural são os comandos mais importantes desta linguagem (G01, G02, G03..., a função G vem da expressão “*General Functions*” ou, muitas vezes, as chamam de funções preparatórias; são tidas como as funções mais importantes de um CNC, daí vem a denominação Código G).

A norma ISO padronizou as funções G de 0 a 99, sendo que existem algumas funções que não possuem reserva de funcionalidade; ou seja, os fabricantes de CNC podem usá-las como acharem melhor. Além disto, há fabricantes de CNC que usam G100 ou maior, ou ainda G com um número não natural, por exemplo, G52.1. Entretanto, em geral, a função G serve para inicializar um modo de operação ou um comportamento específico do CNC.

PALAVRAS COM M – Também pela norma ISO, o código ou a palavra iniciada com M é muito comum; a letra M vem da expressão “*Miscellaneous Functions*” ou função miscelânea, que pela norma ISO foi padronizada de 0 a 99. Neste caso, também existem algumas funções que não possuem reserva de funcionalidade; ou seja, os fabricantes de CNC podem, do mesmo modo, usá-las como acharem melhor. Em geral, a função M serve para identificar uma atitude do tipo liga ou desliga de algum mecanismo ou função do CNC. Por exemplo, M04 comanda para ligar o fuso no sentido horário, enquanto que o M05 comanda para desligar a rotação do fuso.

PALAVRAS COM N – A norma ISO sugere que as palavras iniciadas com N identifiquem um bloco de comando (*Block or Line Number*), e, por isto, convencionou-se, para facilitar o entendimento do programa CNC, que o mesmo poderia identificar o número da sequência de blocos com uma palavra e uma sequência de número, que seriam os números dos blocos. A letra N é a mais usual nos CNC conhecidos, devido à sugestão da norma ISO. Normalmente, as palavras N têm o seguinte formato: N001; N002; N003... N00N; muitos programadores em vez de uma sequência de 1 em 1 preferem usar de 5 em 5, isto auxilia muito quando se deseja introduzir alguns blocos extras no momento do “*Try-Out*”.

Nota: o primeiro bloco de um programa é usualmente, nos programas em Códigos G, iniciado com a letra “O”; e, tradicionalmente, acrescido de um número que identifica o programa CNC. Por exemplo: **O0123325** no início do programa deve indicar para o usuário, de alguma forma, que o produto usinado com aquele programa está relacionado com o número 123325.

1.11 Outras palavras comuns

a. Palavras de posicionamento

Exemplos: X90.000 para posição de X à distância de 90mm de zero em X; ou Y45.001 para a posição de Y à distância de 45.001mm de zero em Y; ou eixos angulares como A32.000 para o Ângulo de 32 graus do grau zero do eixo A.

b. Palavras Gerais

Exemplos: F450, que identifica um avanço de 450mm por minuto; H01, compensação de altura de ferramenta na posição 1; ou D02, compensação do diâmetro ou raio da ferramenta na posição 2.

Nota: além das palavras antes descritas, existem outras muito conhecidas; porém, para o entendimento melhor de cada uma, é importante a consulta ao manual do fabricante do CNC, pois cada fabricante tem uma formatação exclusiva para estas palavras.

1.12 Outro modo de explicar sentenças de programas CNC

Parece redundante, mas como o entendimento de palavras CNC é essencial para o conhecimento que se quer adquirir aqui, será importante citar novamente como funcionam as sentenças de programas CNC; agora de um modo um pouco diferente.

Como dito anteriormente, os fabricantes de controle CNC variam em relação a como eles determinam os nomes das palavras (letra e direção) e os significados delas. No início, o programador CNC necessita se referenciar pelo manual do fabricante do controle para determinar como deve ser o significado e o endereço de cada palavra.

Reforçamos que a norma ISO regulariza a grande maioria dos códigos de programas CNC. Inclusive, um grande número de CNC que usa uma linguagem conversacional própria e bem diferente da norma ISO, fornece como meio secundário a possibilidade dos CNC deles atuarem também com o código ISO, que também é conhecido pelos profissionais da área como Código G.

A seguir, uma lista breve de alguns dos tipos de palavras e as especificações de endereço de letra mais comuns (a partir deste capítulo, usaremos os códigos referenciados pela norma ISO 1056).

| |
|----------------------------------------------------|
| O - Número de Programa (Identificação do programa) |
| N - Número de Sucessão (Identificação de linha) |
| G - Função Preparatória (Veja tabela item 1.15) |
| X - Eixo X |
| Y - Eixo Y |
| Z - Eixo Z |
| R - Raio |
| F - Taxa de Avanço |
| S - Rotação do Fuso |
| H - Compensação de comprimento da ferramenta |
| D - Compensação de raio da ferramenta |
| T - Ferramenta |
| M - Função miscelânea (Veja tabela item 1.16) |

Como se pode observar, muitos dos endereços de letra são escolhidos de uma maneira lógica (T para ferramenta “*tool*”, S para fuso “*spindle*”, F para taxa de alimento “*feedrate*” etc.); no entanto, alguns endereços de letra requerem maior esforço para a memorização das funções por elas desempenhadas, por não se enquadrarem em modo mnemônico.

Função G e M: as duas letras diretoras do código ISO (G e M) que permitem designar funções especiais. A função preparatória (G) especificamente é usada para fixar modos de atuação da máquina. Nós já introduzimos modo absoluto que é especificado por G90 e modo incremental especificado por G91. Estas são mais duas das funções preparatórias usadas. Você deve se referenciar no manual de seu fabricante de controle para achar a lista de funções G e M da sua máquina.

Assim como as funções preparatórias, as funções miscelâneas (M) permitem uma variedade de funções especiais. Funções miscelâneas são tipicamente usadas como interruptores programáveis (liga e desliga do fuso, liga e desliga o refrigerante, e assim por diante). Estas funções também são usadas para permitir a programação de muitas outras funções das máquinas ferramentas CNC.

Para um novato, pode parecer necessário muita memorização para se programar CNC; porém, temos uma boa notícia. Existem, aproximadamente, de 30 a 40 palavras diferentes usadas em programação CNC. Imagine se precisasse aprender programação CNC manual, isto seria como aprender um idioma estrangeiro que tem apenas 40 palavras; isso não nos parece muito difícil.

1.13 Programação de ponto decimal

Certas letras dos programas CNC permitem a especificação de números reais (números que requerem porções de um número inteiro). Exemplos incluem eixo X (X), o eixo Y (Y) e raio (R). Quase todos os modelos de controles CNC atuais permitem usar um ponto decimal dentro da especificação de cada endereço de letra. Por exemplo, X3.062 pode ser usado para especificar uma posição ao longo do eixo X.

Por outro lado, alguns endereços de letra são usados para especificar números inteiros. Os exemplos incluem: o número da ferramenta (T), sucessão dos números dos blocos (N), funções preparatórias (G) e funções miscelâneas (M). Para estes tipos, a maioria dos controles não permite usar um ponto decimal.

O programador principiante deve se referenciar nos manuais dos controles CNC do fabricante, onde deverão estar especificadas as letras que por ventura possuam pontos decimais.

1.14 Outras funções programáveis

Todas as máquinas CNC, inclusive as mais simples, têm funções programáveis diferentes de apenas movimentos de eixos. Com a explosão da produção de equipamentos CNC atualmente, quase toda atitude em uma máquina é programável. Por exemplo, centros de usinagem CNC permitem programar a velocidade e a direção de rotação do fuso, refrigerante pelo interior da ferramenta ou misturando-se óleo refrigerante e ar comprimido, troca automática de ferramentas e muitas outras funções da máquina.

Todas as formas de equipamentos CNC terão o próprio conjunto de funções programáveis. Adicionalmente, certos acessórios como sistemas de sondas (*probe*[®]), sistemas que podem medir o comprimento da ferramenta, trocadores de “*pallets*” e sistemas de controle adaptáveis que também podem estar disponíveis e requererão considerações de programação.

A lista de funções programáveis pode variar muito de uma máquina para outra; o usuário precisa aprender estas funções programáveis para cada máquina CNC. No Fundamento 2 abordaremos as formas diferentes de programação de máquinas ferramentas CNC.

Nota: um bloco de programa CNC não contém especificamente apenas uma palavra CNC; porém, uma sequência delas que dá sentido ao comando exigido pelo programador naquele bloco específico. Exemplo:

Do bloco de comando → N005 G54 G90 G71 S400 M03

Temos as palavras:

| | |
|-------------|--------------------------------------------------|
| N005 | - Identifica a sequência do bloco no programa. |
| G54 | - Solicita que uma origem seja iniciada. |
| G90 | - Diz que o modo é absoluto. |
| G71 | - Diz que as medidas serão mm (sistema métrico). |
| S400 | - Indica a rotação da ferramenta (RPM). |
| M03 | - Diz que o sentido da rotação é horário. |

O CNC, então, irá interpretar e atuar sobre todas as palavras de comando do bloco N005, antes de passar a agir sobre o bloco N006 (ou o próximo).

Nota: nas duas próximas páginas estaremos disponibilizando as tabelas de código G e M, que são referenciadas pela norma ISO 1056. No entanto, apesar dos fabricantes de CNC aceitarem a maioria das indicações desta norma, algumas indicações são negligenciadas e interpretadas da maneira específica do próprio fabricante do CNC.

1.15 Tabela de códigos G (*General Functions* - ISO 1056)

| Código G | Função |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| G00 | Posicionamento rápido |
| G01 | Interpolação linear |
| G02 | Interpolação circular no sentido horário (<i>CW</i> "") |
| G03 | Interpolação circular no sentido anti-horário (<i>CCW</i> "") |
| G04 | Temporização (<i>Dwell</i> "") |
| G05 | Não registrado |
| G06 | Interpolação parabólica |
| G07 | Não registrado |
| G08 | Aceleração |
| G09 | Desaceleração |
| G10 a G16 | Não registrado |
| G17 | Seleção do plano XY |
| G18 | Seleção do plano ZX |
| G19 | Seleção do plano YZ |
| G20 a G24 | Não registrado |
| G25 a G27 | Permanentemente não registrados |
| G28 | Retorna a posição do Zero máquina |
| G29 a G32 | Não registrados |
| G33 | Corte em linha, com avanço constante |
| G34 | Corte em linha, com avanço acelerando |
| G35 | Corte em linha, com avanço desacelerando |
| G36 a G39 | Permanentemente não registrados |
| G40 | Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta |
| G41 | Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda) |
| G42 | Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita) |
| G43 | Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo) |
| G44 | Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo) |
| G45 a G52 | Compensações de comprimentos das ferramentas (pouco usado para o fim determinado) |
| G53 | Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo |
| G54 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01) |
| G55 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02) |
| G56 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03) |
| G57 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04) |
| G58 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (05) |
| G59 | Zeragem dos eixos fora do zero fixo (06) |
| G60 | Posicionamento exato (Fino) |
| G61 | Posicionamento exato (Médio) |
| G62 | Posicionamento (Grosseiro) |
| G63 | Habilitar óleo refrigerante por dentro da ferramenta |
| G64 a G67 | Não registrados |
| G68 | Compensação da ferramenta por dentro do raio de canto |
| G69 | Compensação da ferramenta por fora do raio de canto |
| G70 | Programa em Polegadas |
| G71 | Programa em metros |
| G72 a G79 | Não registrados |
| G80 | Cancelamento dos ciclos fixos |
| G81 a G89 | Ciclos fixos |
| G90 | Posicionamento absoluto |
| G91 | Posicionamento incremental |
| G92 | Zeragem de eixos (mandatório sobre os G54...) |
| G93 | Avanço dado em tempo inverso (<i>Inverse Time</i> "") |
| G94 | Avanço dado em minutos |
| G95 | Avanço por revolução |
| G96 | Avanço constante sobre superfícies |
| G97 | Rotação do fuso dado em RPM |
| G98 e G99 | Não registrados |

Nota: Os códigos que estão como "não registrados" indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles têm livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de G99.

1.16 Tabela de códigos M (*Miscellaneous Functions* - ISO 1056)

| Código M | Função |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| M00 | Parada programa |
| M01 | Parada opcional |
| M02 | Fim de programa |
| M03 | Liga o fuso no sentido horário (CW) |
| M04 | Liga o fuso no sentido anti-horário (CCW) |
| M05 | Desliga o fuso |
| M06 | Mudança de ferramenta |
| M07 | Liga sistema de refrigeração número 2 |
| M08 | Liga sistema de refrigeração número 1 |
| M09 | Desliga o refrigerante |
| M10 | Atua travamento de eixo |
| M11 | Desliga atuação do travamento de eixo |
| M12 | Não registrado |
| M13 | Liga o fuso no sentido horário e refrigerante |
| M14 | Liga o fuso no sentido anti-horário e o refrigerante |
| M15 | Movimentos positivos (aciona sistema de espelhamento) |
| M16 | Movimentos negativos |
| M17 e M18 | Não registrados |
| M19 | Parada do fuso com orientação |
| M20 a M29 | Permanentemente não registrados |
| M30 | Fim de fita com rebobinamento |
| M31 | Ligando o (<i>Bypass</i> ") |
| M32 a M35 | Não registrados |
| M36 | Acionamento da primeira gama de velocidade dos eixos |
| M37 | Acionamento da segunda gama de velocidade dos eixos |
| M38 | Acionamento da primeira gama de velocidade de rotação |
| M39 | Acionamento da segunda gama de velocidade de rotação |
| M40 a M45 | Mudanças de engrenagens se usada, caso não use, não registrados. |
| M46 e M47 | Não registrados |
| M48 | Cancelamento do G49 |
| M49 | Desligando o <i>Bypass</i> |
| M50 | Liga sistema de refrigeração número 3 |
| M51 | Liga sistema de refrigeração número 4 |
| M52 a M54 | Não registrados |
| M55 | Reposicionamento linear da ferramenta 1 |
| M56 | Reposicionamento linear da ferramenta 2 |
| M57 a M59 | Não registrados |
| M60 | Mudança de posição de trabalho |
| M61 | Reposicionamento linear da peça 1 |
| M62 | Reposicionamento linear da peça 2 |
| M63 a M70 | Não registrados |
| M71 | Reposicionamento angular da peça 1 |
| M72 | Reposicionamento angular da peça 2 |
| M73 a M89 | Não registrados |
| M90 a M99 | Permanentemente não registrados |

Nota: os códigos que estão como "não registrados" indicam que a norma ISO não definiu nenhuma função para o código, os fabricantes de máquinas e controles têm livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de M99.