

# Apostila CNC

Material colhido em: [www.mundocnc.com.br](http://www.mundocnc.com.br)

Hoje, controle numérico computadorizado (CNC) são máquinas encontradas em quase todos lugares, das pequenas oficinas de usinagem as grandiosas companhias de manufatura.

Na realidade quase não existem produtos fabris que não estejam de alguma forma relacionados à tecnologia destas máquinas ferramentas inovadoras. Todos envolvidos nos ambientes industriais deveriam estar atentos ao que se é possível fazer com estas maravilhas tecnológicas.

Por exemplo, o projetista de produto precisa ter bastante conhecimento de CNC para aperfeiçoar o dimensionamento e técnicas de tolerância das peças produtos a serem usinadas nos CNCs.

O projetista de ferramentas precisa entender de CNC para projetar as instalações e as ferramentas cortantes que serão usadas nas máquinas CNC.

Pessoas do controle de qualidade deveriam entender as máquinas CNC usadas em suas companhias para planejar controle de qualidade e controle de processo estatístico adequadamente.

Pessoal de controle de produção deveria conhecer esta tecnologia de suas companhias para definirem os tempos de produção de modo realístico. Gerentes, supervisores, e líderes de time deveriam entender bem de CNC para se comunicarem inteligentemente com trabalhadores da mesma categoria.

E não precisaríamos nem dizer nada sobre os programadores CNC, as pessoas de organização, operadores, e outros trabalhando diretamente ligados com os equipamentos CNC eles têm que ter um entendimento muito bom desta tecnologia.

Neste texto, nós exploraremos os fundamentos dos CNCs, mostrando muito do que é envolvido em o se usar estas máquinas sofisticadas. Nossa meta primordial será lhe ensinar como aprender sobre CNC. Para leitores que trabalham eventual ou diretamente com máquinas CNCs, nós lhe mostraremos os fundamentos de cada uma das principais funções do CNC. Além disto sugeriremos como você pode aprender mais sobre cada uma destas funções CNC, como se aplica a sua máquina CNC (em particular). À conclusão desta apresentação, você deverá ter um entendimento bem como e porque CNC funciona, como fazer e entender essas coisas que você precisa conhecer relativamente bem para trabalhar com qualquer tipo de máquina CNC.

Para leitores que não trabalharão diretamente com equipamentos CNCs no futuro próximo, nossa meta secundária será lhe dar um conhecimento de funcionamento razoável da tecnologia CNC. À conclusão desta apresentação, você deverá estar o suficiente confortável com os fundamentos do CNC e deverá poder comunicar inteligentemente com outros em sua companhia sobre seu equipamento.

Para proceder de uma maneira organizada, usaremos alguns "conceitos" fundamentais que enquadram a maioria das máquinas contempladas com CNC.

Todas as funções CNC mais importantes serão organizadas em dez conceitos chaves. Pense deste modo. Se você puder entender estes dez princípios básicos, você estará a caminho de ser um profissional proficiente com CNC. Nosso foco principal estará nas duas formas mais populares das máquinas CNCs (fresadoras e tornos CNC), estes dez conceitos chaves podem ser aplicados virtualmente qualquer tipo de máquina de CNC.

É quase impossível que esta apresentação seja extremamente específica sobre qualquer máquina CNC em particular com tantos tipos existentes. Os conceitos fundamentais nos permitem ver as características principais dos CNCs em condições mais gerais, acentuando os detalhes mais técnicos e mais usuais a qualquer máquina CNC. Com esta base, você estará apto a reconhecer os princípios específicos de qualquer máquina CNC que esteja trabalhando.

Como ainda uma terceira meta, esta apresentação deverá ajudar aos instrutores CNCs. Os conceitos fundamentais poderão ser demonstrados em tempos propícios para apresentações em cursos de CNC ao vivo. Este método de apresentação ajudará os instrutores a organizar os conceitos CNC em modo extremamente lógico e fácil para se entender as lições.

## **Fundamentos dos CNCs**

*"Embora a intenção desta apresentação seja lhe ensinar o uso dos CNCs, ajudará também a entender por que estas máquinas sofisticadas ficaram tão populares. Aqui estarão alguns dos benefícios mais importantes que se oferece através de equipamentos CNCs."*

**O primeiro benefício** oferecido por todas as formas de máquinas ferramentas CNC é sem duvida a automatização. A intervenção de operador relacionada a peças produto é drasticamente reduzida ou eliminada.

Muitas máquinas CNC podem rodar sem nenhum acompanhamento humano durante um ciclo de usinagem completo, permitindo ao operador tempo livre para desempenhar outras tarefas. Isto permite ao usuário CNC vários benefícios que incluem fadiga de operador reduzida, menos enganos causados por erro humano, usinagem consistente e em tempo previsível para cada produto. Considerando que a máquina estará correndo sob controle de um programa, o nível de habilidade requerido do operador de CNC (relacionado a pratica de usinagem é básico) também é reduzido quando comparado a um operador de máquinas ferramentas convencionais.

**O segundo benefício** principal da tecnologia CNC são peças consistentes e precisas. As máquinas CNC de hoje ostentam precisão incrível das especificações e também quanto a repetibilidade.

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.

**Um terceiro benefício** oferecido pela maioria das máquinas ferramentas CNC é a flexibilidade. Desde que estas máquinas são rodadas sob controle de programas, pois cortar um produto diferente quase é tão fácil quanto carregar um programa diferente. Uma vez que um programa foi verificado e foi executado para produção, pode ser substituído facilmente por um próximo tipo de peça a ser cortada. Isto nos leva a outro benefício, o de trocas rápidas de "setup". Desde que estas máquinas são muito fáceis de se montar e produzir um certo produto, e considerando-se que podem ser carregados programas facilmente, eles permitem tempos de "setup" muito curtos. Isto é imperativo com as exigências de produção dos nossos dias.

### Controle de movimento - O coração do CNC

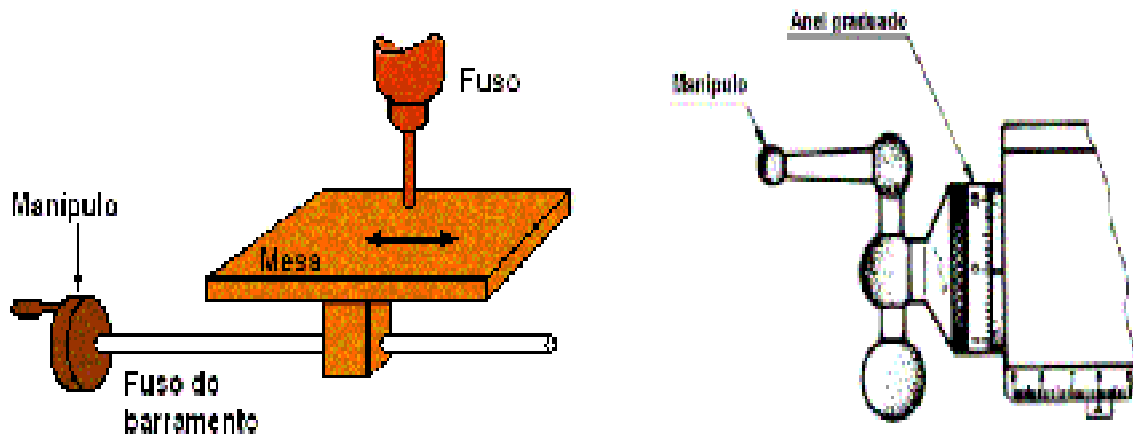
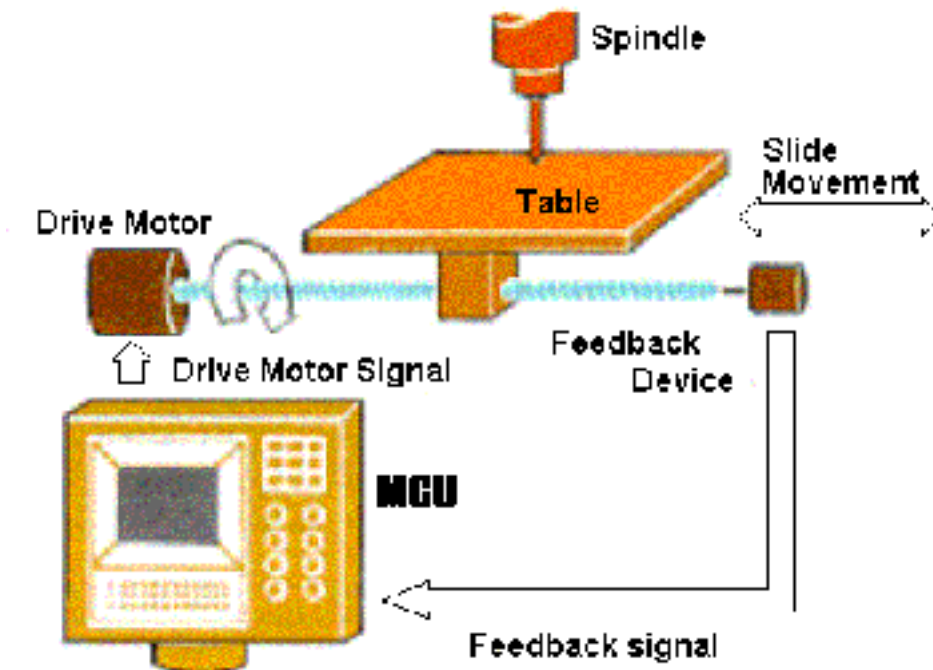


Figura 1. O movimento de uma mesa de máquina convencional é acionado pelo operador que gira uma manivela (manípulo). O posicionamento preciso é realizado pelo operador que conta o número de voltas a ser dada na manivela com graduações no dial (anel graduado) desta forma dependendo exclusivamente da perícia do operador.

A função mais básica de qualquer máquina CNC é o controle de movimento automático, preciso, e consistente. Todos equipamentos CNC que tenha duas ou mais direções de movimento, são chamados eixos. Estes eixos podem ser preciso e automaticamente posicionados ao longo dos seus movimentos de translação. Os dois eixos mais comuns são lineares (dirigido ao longo de um caminho reto) e rotativos (dirigido ao longo de um caminho circular).

Em vez de serem movimentadas virando manivelas manualmente como é feito em máquinas ferramentas convencionais, as máquinas CNCs têm seus eixos movimentados sob controle de servo motores do CNC, e guiado pelo programa de peça.

Em geral, o tipo de movimento (rápido, linear e circular), Para os eixos se moverem, a quantidade de movimento e a taxa de avanço (feed rate) é programável em quase todas máquinas ferramentas CNC. A figura 1 (acima) mostra o controle de movimento de uma máquina convencional. A figura 2 (abaixo) mostra um movimento de eixo linear de uma máquina CNC.



**Figura 2.** 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 eixo linear. Um dispositivo de avaliação confirma se a quantidade de giros no fuso guia realmente ocorreu.

Um comando CNC executado dentro do controle (comumente por um programa) diz para o servo motor girar um número preciso de vezes. A rotação do servo motor gira o fuso que passa em um suporte da mesa que esta montada sobre barramento, quando o fuso gira os sulcos do mesmo força a mesa em uma direção e esta desliza sobre o barramento de apoio gerando movimento em uma direção.

Este fuso movimenta o eixo linear. Um dispositivo de avaliação no final oposto deste fuso roscado permite o controle para confirmar que o número comandado de rotações aconteceu.

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

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

## Como é comandado o movimento de um eixo

### Entendendo os sistemas de coordenadas.

Seria inconcebível para o usuário CNC gerar movimento de eixo tentando controlar o servo motor de cada eixo, quantas vezes deveria girar este fuso para comandar uma determinada quantidade de movimento linear. (Isto estaria como ter que entender quantas voltas da manivela em um anel graduado para movimentar a mesa em um milímetro exatamente!). 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 da maioria usado nas máquinas CNCs é o sistema de coordenada cartesiano ou coordenada retangular e o sistema de coordenada polar. Sem dúvida, o mais comum é o sistema de coordenada retangular, e nós o usaremos para todas as discussões feitas nesta apresentação.

Uma aplicação muito comum para o sistema de coordenada retangular são os gráficos.

Quase todo o mundo já teve que fazer ou interpretar um gráfico. Desde que a necessidade para se utilizar gráficos é tão trivial, e isto se assemelha muito ao que é exigido para causar movimento de eixo em uma máquina de CNC, revisemos os fundamentos dos gráficos.

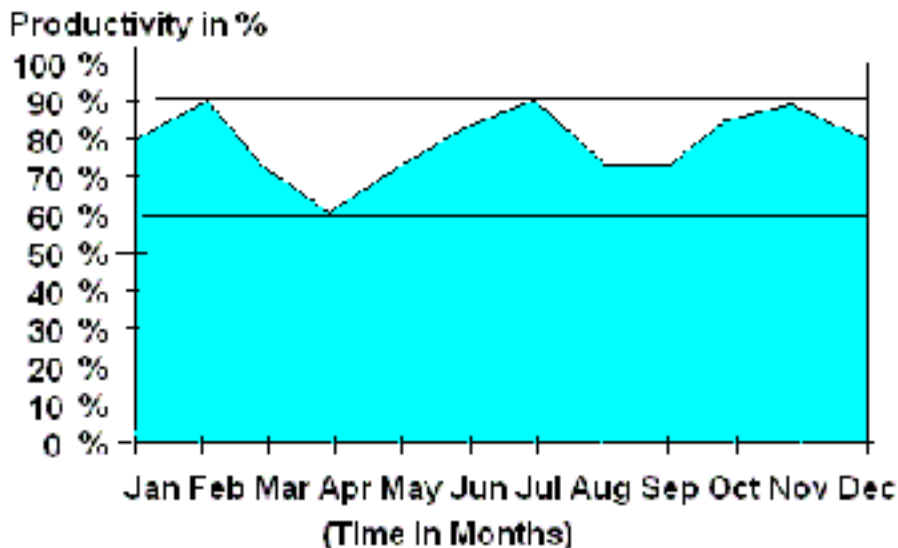


Figura 3. O gráfico ilustra o uso de linhas básicas, os incrementos usados para cada linha básica, e a origem pontual para as duas linhas básicas (horizontal e vertical).

Figura 3 (acima) é um gráfico da produtividade de uma companhia durante ano passado. Como em qualquer gráfico de duas dimensões, este gráfico tem duas linhas de base. Cada linha básica é usada para representar algo. O que a linha básica é representa por incrementos, além do que, cada linha básica tem seus limites. Em nosso exemplo de produtividade, a linha básica horizontal está

sendo usada para representar tempo. Para esta linha básica, o incremento de tempo está em meses.

Note que esta linha básica tem início em janeiro e final em dezembro. A linha básica vertical representa produtividade. A produtividade está dividida de dez em dez por cento cada incremento, inicia-se em zero por cento de produtividade e finaliza-se nos cem por cento.

A pessoa que fez o gráfico observou a produtividade da companhia para janeiro do ano passado e à posição de produtividade no gráfico durante janeiro, um ponto então foi apontado no gráfico. Isto então foi repetido em fevereiro, março, e cada mês do ano. Uma vez que todos pontos foram lá colocados, uma linha ou curva é passada em cada um dos pontos o que tornar mais claro o desempenho da companhia no ano passado.

Tomamos o que sabemos agora sobre gráficos e relacionamos ao eixo de movimento do CNC. Em vez de plotar os pontos teóricos para representar idéias 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 os gráficos de linhas básicas os eixos estão divididos em incrementos. Mas em vez de estar dividido em incrementos de idéias conceituais como tempo e produtividade, cada eixo linear do sistema de coordenada retangular de uma máquina CNC está dividido em incrementos mensuráveis em mm (medida de distancia). No modo de polegadas modo, o incremento menor pode ser 0.0001 polegada. No modo métrico, o incremento menor pode ser 0.001 milímetro. (A propósito, para eixo rotativo o incremento é 0.001 graus.)

Assim como os gráficos, cada eixo no sistema de coordenadas da máquina CNC tem que iniciar em algum lugar. Com o gráfico, a linha básica horizontal começou a janeiro e a linha básica vertical começou na produtividade de zero %. Este lugar aonde as linhas básicas verticais e horizontais se encontram é chamado o ponto de origem do gráfico. Para propósitos de CNC, este ponto de origem é chamado pelo programa comumente: ponto zero (também chamado de zero de trabalho, zero peça, ou origem do programa).

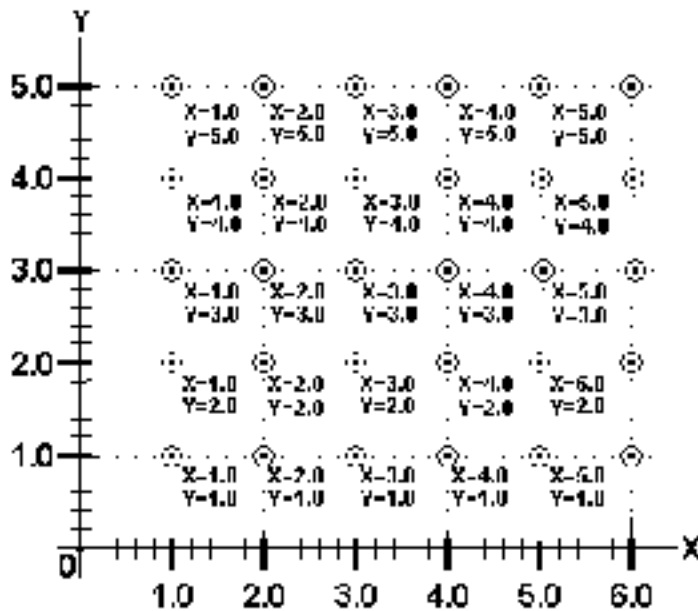


Figura 4. O sistema de coordenada retangular para o plano XY. O ponto zero do programa estabelece o ponto de referência para movimento comandado em um programa de CNC. Isto permite para ao programador especificar movimentos de um local comum. Se o zero de programa for sabiamente escolhido, normalmente podem ser tomadas as coordenadas precisas para o programa diretamente.

Figura 4 (acima) mostra como são comandados os movimentos de eixo comumente em máquinas CNC. Por exemplo, os dois eixos que nós estamos mostrando 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 em cada tipo de máquina CNC a outros (outros nomes comuns incluem Z, A, B, C, U, V, e W), este exemplo deveria ser usado para mostrá-lo bem como o movimento de eixo pode ser comandado.

Como pode ver, a posição mais baixa no canto e mais a 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 10 milímetros à direita do ponto zero do programa, X10.0 é comandado. Se o programador deseja que a ferramenta mova se a uma posição de 10 milímetros sobre o ponto zero do programa, Y10.0 é comandado.

O controle determinará quantas vezes automaticamente ira girar o servo motor de cada eixo e assim fazer o eixo alcançar o ponto de destino comandado. Isto faz com que o programador comande o movimento de eixo de uma maneira muito lógica.



Com os exemplos dados, todos os pontos aconteceram para cima e à direita do ponto zero do programa zero. Esta área, acima e à direita do ponto zero do programa é chamado de primeiro quadrante (neste caso, quadrante número um). Não são raras máquinas CNC que trabalhem em outros quadrantes. Quando isto acontecer, pelo menos um das coordenadas deve ser especificado como negativa. Figura 5 (abaixo) mostra a relação dos quatro quadrantes como também as representações "mais e menos" que requereram para cada. Figure 6 (abaixo) mostra uma aplicação comum onde os pontos finais ocorrem entre os quatro quadrantes e coordenadas negativas devem ser especificadas.

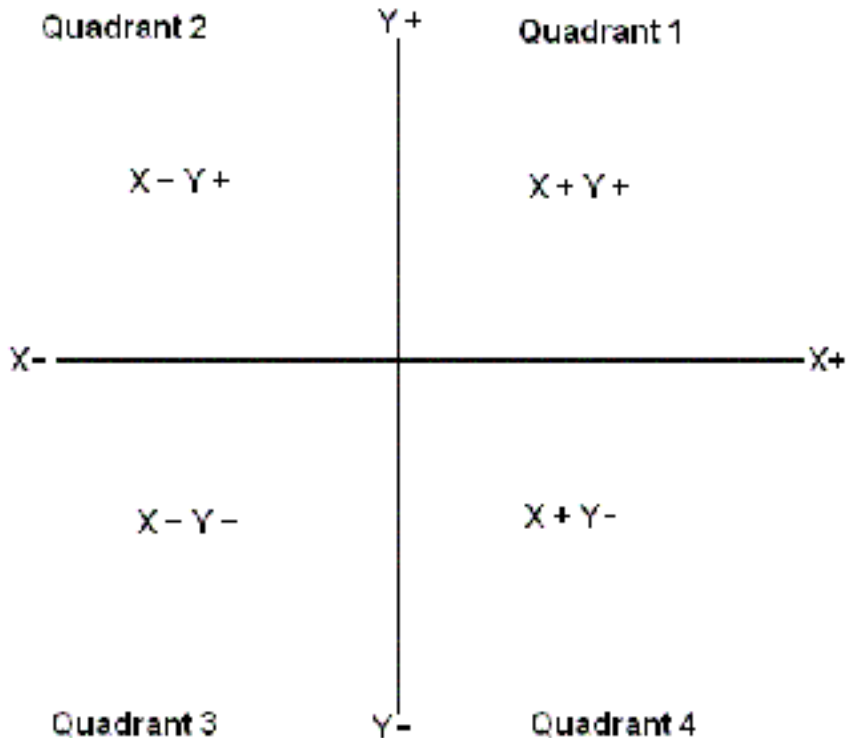


Figura 5. Se um ponto aparecer num programa CNC em qualquer quadrante diferente do primeiro quadrante, um sinal de menos deverá ser incluído em pelo menos um dos seus eixos.

### **Absoluto versus incremental**

Todas as discussões sobre este ponto assumem que o modo absoluto de programar deve ser usado. No modo absoluto, as coordenadas dos pontos de todos os movimentos serão especificadas a partir do ponto zero do programa. Para novatos, normalmente este é o melhor e mais fácil método de especificar as posições para comandos de movimento. Porém, há outro modo de especificar os movimentos de eixo.

O modo incremental onde se é especificado os movimentos a partir da posição atual da ferramenta, não do zero do programa. Com este método de movimento dominante, o programador tem que estar perguntando. "Quão distante eu deveria mover a ferramenta?", são tão raras as vezes que este método é útil que atualmente esta se transformando em coisa do passado, em geral, este



método é mais incômodo e difícil.

É importante tomar muito cuidado ao se fazer os comandos de movimento. Os novatos têm a tendência para pensar incrementalmente. Trabalhando se no modo absoluto (como deveria ser feito), o programador sempre deveria estar perguntando "A que posição a ferramenta deveria ser movida?" Esta posição é relativa ao zero do programar, não da posição atual da ferramenta. Figura 6 (abaixo) mostra duas séries idênticas de movimentos, um no modo incremental e a outra no modo absoluto.

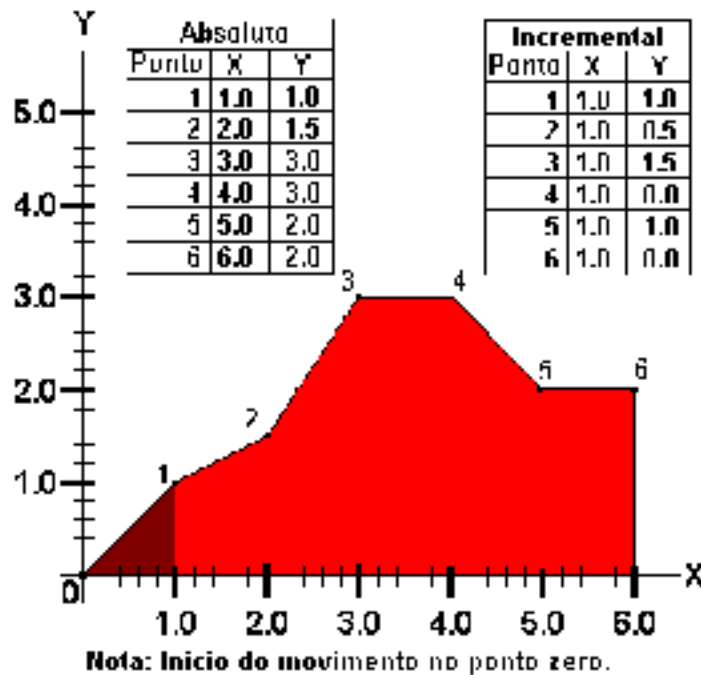


Figura 6. É muito fácil de dizer o local preciso da ferramenta em qualquer comando dado pelo modo absoluto. No modo incremental, pode ser muito difícil determinar a posição atual da ferramenta para um determinado comando de movimento.

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

No modo absoluto, se um erro de movimento é cometido em um comando do programa, só um 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 dramaticamente de uma máquina CNC para outra. Um método mais antigo e usual é nomear o zero de programa 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 G50) este comando é colocado pelo menos no começo do programa e possivelmente no começo de cada ferramenta.

Um modo mais novo e melhor para nomear zero do programa é por alguma forma de compensação. Fabricantes de controle de centros de usinagem normalmente chamam estas compensações de "Offsets" do zero de instalação. Fabricantes de centro de torneamento comumente chamam estas compensações para cada tipo de desenho da ferramenta. Mais modos de como os programas podem ser zerados serão apresentados durante conceito fundamental número quatro.

## **Outros pontos sobre movimentos de eixos**

Até este ponto, nossa preocupação primária foi lhe mostrar como determinar o ponto de cada comando de movimento. Como você pode perceber, enquanto fazendo isto foi requerida uma compreensão do sistema de coordenada retangular. Porém, há outras preocupações como um movimento acontecerá. Por exemplo, o tipo de movimento (rápido, interpolação linear, circular, etc.), e taxa de avanço também deve ser uma das preocupações do programador. Nós discutiremos estas outras considerações durante conceito fundamental número três.

## **Programa CNC**

Quase todos controles de CNCs atualmente usam um único formato de endereço de palavra para se programar. (As únicas exceções para isto são certos controles sociáveis). Através deste formato de endereço de palavra, queremos dizer que o programa CNC é feito sobre sentenças de comandos. Cada comando é composto de palavras CNC e cada qual têm 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. Usado como palavras e sentenças no idioma português, palavras em um comando CNC dizem as máquinas CNCs o que é que desejamos fazer com este bloco de comando.

Uma analogia muito boa para o que acontece em um programa CNC é encontrada em qualquer conjunto de instruções passo a passo. Por exemplo, você tem algumas visitas de outra cidade que estão chegando para visitar sua companhia. Você precisa escrever as instruções para se chegar do aeroporto local a sua companhia. Para fazer isto, você deve primeiro visualizar o caminho do aeroporto até sua companhia. Você vai então, em seqüência, escrever cada instrução uma em baixo da outra. A pessoa que segue suas instruções executará a primeira instrução e então seguirá para a próxima até que ele ou ela chegue a suas instalações.

De modo semelhante, um programador CNC manual deve poder visualizar as operações de usinagem que deverão ser executadas durante a execução do programa. Então, passo a passo, o programador dará um conjunto de comandos que fazem a máquina se comportar adequadamente.

Embora um pouco fora do assunto, nós desejemos fazer uma observação importante sobre visualização. Da mesma maneira que a pessoa dirige em uma viagem precisa visualizar o caminho a ser tomado, assim deve o programador CNC poder visualizar os movimentos que máquina CNC estará fazendo antes mesmo do programa ser desenvolvido. Sem esta habilidade de visualização, o programador poderá não desenvolver os movimentos corretamente no programa. Esta é uma razão por que os operadores de máquinas fazem os melhores programas de CNC. Um operador experiente deve poder visualizar qualquer operação de usinagem de modo fácil e efetivo.

Da mesma maneira que cada instrução de viagem concisa será composta de uma sentença, assim vá cada instrução dada dentro de um programa CNC será composto de um comando. Da mesma maneira que a oração de instrução de viagem é composta de palavras (em português), assim é o comando CNC composto de palavras de CNC (em linguagem CNC).

A pessoa que segue seu conjunto de instruções de viagem os executará explicitamente. Se você cometer um erro com seu conjunto de instruções, a pessoa se perderá a caminho de sua companhia. Em modo semelhante, a máquina CNC executará um programa CNC explicitamente. Se houver um engano no programa, a máquina CNC não se comportará corretamente.

A baixo está um exemplo de um programa curto onde se deseja executar dois furos em uma peça em um centro de usinagem CNC. Lembre-se de que nós não estamos acentuando os comandos neste programa (entretanto as mensagens nas descrições dos blocos deve deixar relativamente claro sobre o que está acontecendo em cada comando). No entanto nosso principal propósito aqui é acentuar a estrutura de um programa CNC e o fato que será executado em uma seqüência de blocos.

#### **Blocos de comando Descrição dos blocos**

<b>O0001</b>	<b>Número de Programa</b>
N005 G54 G90 S400 M03	Seleciona as coordenadas, sistema absoluto e o fuso deve girar no sentido horário a 400 RPM.
N010 G00 X1. Y1.	Rápido para o local de XY do primeiro furo.
N015 G43 H01 Z.1 M08	Inicia a compensação de comprimento de ferramenta, rápido em Z para posição acima da superfície para furar, liga o refrigerante.
N020 G01 Z-1.25 F3.5	Avance para o primeiro furo a 3,5 polegadas por minutos.
N025 G00 Z.1	Rápido para fora do furo.
N030 X2.	Rápido para o Segundo furo.
N035 G01 Z-1.25	Avance para o Segundo furo
N040 G00 Z.1 M09	Rápido para fora do segundo furo,desliga o refrigerante.
N045 G91 G28 Z0	Retorno para posição de referência em Z.
N050 M30	Fim de programa, rebobinar a fita.

As palavras e comandos neste programa não fazem muito sentidos a você, portanto nosso intuito é acentuar a ordem seqüencial na qual o programa CNC será executado. O controle lerá primeiro, interpretará e executará o primeiro comando no programa. Só então irá para o próximo comando. Leia, interprete, execute. Então seguirá para o próximo comando e assim sucessivamente. Novamente, note a semelhança a dar qualquer conjunto de instrução passo a passo.

### **Outras notas sobre programas CNC.**

Como já foi dito, programas são compostos de comandos e comandos são compostos de palavras. Cada palavra tem um endereço de letra e um valor numérico. O endereço de letra diz para o controle o tipo de palavra. Os fabricantes de controle CNC variam com respeito a como eles determinam os nomes das palavras (letra e direção) e os significados delas. No início o programador CNC deve se referenciar pelo manual do fabricante do controle para determinar como deve ser o significado e o endereço de cada palavra. Aqui está uma lista breve de algumas dos tipos de palavras e as especificações de endereço de letra mais comuns.

O - Número de Programa (Usado para identificação de programa)

N - Número de Sucessão (Usado para identificação de linha)

G - Função Preparatória (Veja abaixo)

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

Como você pode ver, muitos dos endereços de letra são escolhidos de uma maneira lógica (T para ferramenta 'tool', S para fuso 'spindle', F para taxa de alimento 'feedrat', etc.). Algumas requerem memorização maior.

Há duas letras diretoras (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. Estes 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.

Como as funções preparatórias, as funções miscelâneas (M) permitem uma variedade de funções especiais. Funções miscelâneas são tipicamente usadas como interruptores programáveis (como liga e desliga do fuso, liga e desliga o refrigerante, e assim por diante). Estas funções também são usadas para

permitir programação de muitas outras funções das máquinas ferramenta CNC. A um novato, tudo pode parecer requerer muita memorização para se programar CNC. Porém uma coisa boa precisa ser dita, é que existem apenas aproximadamente de 30 a 40 palavras diferentes usadas em programação CNC. Imagine se você precisasse aprender programação CNC manual, isto seria como aprender um idioma estrangeiro que tem só 40 palavras, isso não deveria parecer muito difícil.

### **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 modelos de controles CNC atuais permitem usar um ponto decimal dentro da especificação de cada endereço de letra. Por exemplo, X3.0625 pode ser usado para especificar uma posição ao longo do eixo de 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 estarão especificadas as letras que por ventura possuam pontos decimais.

### **Outras funções programáveis**

Todas inclusive as máquinas CNC mais simples têm funções programáveis diferentes de apenas movimentos de eixos. Com a explosão da produção dos equipamentos CNC de hoje, quase tudo sobre a 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. E todas as formas de equipamentos CNC terão o próprio conjunto de funções programáveis. Adicionalmente, certos acessórios como sistemas de sondas, 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 dramaticamente de uma máquina para outra, e o usuário precisa aprender estas funções programáveis para cada máquina CNC que fizer um programa. Em conceito fundamental número dois, nós daremos uma olhada nas formas diferentes de programação de máquinas ferramentas CNC.

## Conheça sua máquina CNC.

*"Se você já conhece as praticas de usinagem básicas e como relacioná-las com a máquina CNC que trabalha, você já sabe o que é que você deseja fazer nesta máquina".*

Um usuário CNC tem que entender o funcionamento da máquina ferramenta CNC que esta usando. Enquanto isto pode parecer uma consideração básica, um usuário CNC deve poder ver a máquina de duas perspectivas distintamente e diferentes. Aqui no conceito fundamental número dois, nós estaremos vendo a máquina da perspectiva de **um programador**. Posteriormente, em conceito fundamental número sete, nós olharemos para a máquina do ponto de vista de um operador.

## Pratica de usinagem é a chave do sucesso de QUALQUER máquina CNC.

A primeira meta de qualquer novato em CNC deveria ser, entender as práticas de usinagem básicas que se vai usar na máquina ferramenta CNC.

Pense deste modo. Se você já conhece as praticas básicas de usinagem e como elas se relacionam à máquina CNC que você estará trabalhando, você já sabe também o que é que você quer fazer na máquina. Será uma questão relativamente simples aprender a dizer a máquina CNC o que é que você quer que ela faça (aprender a programar). Isto é o motivo porque os operadores de máquinas fazem os melhores programas CNC, operadores, e pessoal de organização que conhecem o que as máquinas são capazes. Será uma questão relativamente simples de adaptar o que eles já sabem à máquina de CNC.

Por exemplo, um novato em torno CNC deveria entender como fazer o desbaste e o acabamento de contorno em torneamento, desbaste e acabamento de furos, etc. Como este tipo de máquina operações múltiplas podem ser executadas em um único programa, o novato também deveria conhecer os fundamentos de como programar completamente uma peça produto e as sucessão de operações de usinagem que deverá ser desenvolvida para tal peça.

Este ponto não pode ser negligenciado. Tentar aprender sobre uma máquina CNC em particular sem entender a prática de usinagem básica relativa a esta máquina, seria como tentar aprender a voar um avião sem entender os fundamentos de aerodinâmica de vôo.

Do ponto de vista de um programador, como você deve começar aprender sobre qualquer nova máquina CNC, você deveria concentrar em quatro áreas básicas.

- 1) Você deveria entender a maioria dos componentes básicos da máquina.
- 2) Você deveria estar confortável com as direções dos movimentos de sua máquina (eixos).
- 3) Você deveria se familiarizar com quaisquer acessórios que equipem sua máquina.
- 4) Quais funções programáveis você deveria conhecer a fundo e saber como programá-las em sua máquina.



## **Componentes de máquina CNC.**

Como você não é um desenhista de máquina, para trabalhar com equipamento CNC é importante saber como sua máquina CNC é construída. Isto o ajudará a medir exatamente os limites do que é possível ser feito com sua máquina. Da mesma maneira que o piloto de um carro de rali deveria entender os fundamentos do sistema de suspensão para que quanto este sistema quebre e precise ser consertado, também o funcionamento interno do sistema de combustão (entre outras coisas) para se conseguir o máximo desempenho do carro, desta forma deve o programador CNC entender os funcionamentos básicos da máquina CNC para obter o máximo da mesma.

De modo geral, para inclinar a mesa de um centro de usinagem, por exemplo, o programador deveria conhecer a mesa e seus movimentos limites lineares e angulares, o modo de ação do fuso e dos cabeçotes, como estão montados na torre, e seus dispositivos de fixação. Normalmente esta informação é publicada no manual de construção da máquina, inclusive os desenhos de montagens. Como você deve ler o manual, aqui estão algumas questões sobre as capacidades da máquina que deveria saber.

Qual a máxima rotação da máquina?

Quais são as gamas de velocidade do fuso e o quanto tempo necessita para atingir a rotação solicitada?

Qual a potência do motor do fuso?

Quais são os limites de cada eixo?

Quantas ferramentas suporta o magazine de ferramentas da máquina?

Que tipo de barramento são usados para movimentos desta máquina (encaixes normalmente quadrados, rabo de andorinha, lineares sobre rolamentos, etc).

Qual é a velocidade em modo "RAPID" da máquina?

Qual a mínima e máxima taxa de avanço de corte?

Estes são algumas das perguntas que você deveria estar se perguntando quando você começa a trabalhar com qualquer nova máquina CNC. Verdadeiramente, quanto mais você souber sobre as capacidades de sua máquina e suas montagens, o mais fácil será para programá-la.

## **Direções dos movimentos (eixos)**

O programador CNC tem que conhecer as direções dos movimentos programáveis (eixos) disponível para a máquina ferramenta CNC. Os nomes dos eixos variarão de um tipo de máquina ferramenta para outra. Eles sempre serão referidos por um endereço de letra. Os nomes dos eixos mais comuns são X, Y, Z, U, V, e W para eixos lineares e A, B e C para eixos giratórios. O programador iniciante deveria confirmar estas designações de eixo e direções (mais e menos) no manual do construtor da máquina.

Como discutido no conceito fundamental número um, sempre que um programador deseja comandar movimento em um ou mais eixos, o endereço de letra que corresponde aos eixos correspondentes como também o destino de cada eixo é especificado. Por exemplo: X35.00, diz para a máquina mover o



eixo de X a uma posição de 35 milímetros do ponto zero do programa em X (assumindo que o modo absoluto de programar seja usado e que o sistema de medida seja dado em mm).

O lançamento de eixo rotativo também requer um endereço de letra (normalmente A, B ou C) junto com o ponto final do movimento. Porém, o ponto final para um movimento de eixo rotativo é especificado em graus (não polegadas ou milímetros). Um comando de eixo rotativo no modo absoluto de B45; Por exemplo, giraria o eixo de B a um ângulo de 45 graus do ângulo zero do programa.

### **O ponto de referência para cada eixo.**

A maioria das máquinas CNC utiliza uma única posição ao longo de cada eixo como ponto de referência. Alguns fabricantes de controle chamam esta posição de retorno a zero. Outros chamam isto de "grid" de zeragem. Ainda outros chamam isto "home position". Embora isto seja chamado de vários modos diferentes, esta posição de referência é requerida por muitos controles como um ponto de referencia preciso. Controles CNC que utilizam um ponto de referência para cada eixo requerem que a máquina seja enviada a seu ponto de referência em cada eixo como parte do procedimento de iniciação da máquina quando mesma precisa ser reinicializada após seu desligamento. Uma vez que o procedimento esteja completo, o controle estará sincronizado com a posição física da máquina.

A posição de referência específica para cada eixo variará de máquina para máquina. A maioria dos construtores de máquinas ferramenta CNC colocam suas referências posicionadas no lado mais extremo de cada eixo. Você precisa consultar o manual de seu construtor de máquinas ferramentas para saber se sua máquina incorpora uma posição de referência e o quanto isto é preciso.

### **Acessórios para máquina CNC.**

A terceira área que um que o usuário iniciante de CNC deveria se dirigir é relacionado a outras possíveis adições à própria máquina ferramenta básica. Alguns destes acessórios são fabricados e recebem suporte do fabricante da máquina, e deve ser bem documentado no manual do fabricante. Outros acessórios podem ser feitos por terceiros e depois disponibilizados no mercado, neste caso as informações do dispositivo não constarão no manual do fabricante de máquina, neste caso deverá haver um manual em separado sobre o dispositivo.

Exemplos de acessórios de CNC incluem sistemas de sondas "Probe system", dispositivos de medição de comprimento de ferramenta, sistema de pós-processadores específicos para medição, trocadores de pallets automáticos, sistemas de controle adaptáveis, e sistemas de automatização.

As listas de dispositivos de acessórios potenciais são incontáveis hoje em dia.

## Funções programáveis.

O programador também tem que conhecer quais as funções da máquina CNC são programáveis (como também os comandos relacionados). Com a baixa do custo dos equipamentos CNC, muitas vezes são ativadas muitas funções de máquina manualmente. Com algumas fresadoras CNC, por exemplo, as únicas funções programáveis são os movimentos dos eixos. Enquanto que a rotação e direção do fuso, ligação e desligamento do óleo refrigerante e sistema de troca de ferramenta são ativadas manualmente pelo operador.

Por outro lado, com a explosão dos equipamentos CNC, quase tudo é programável e o operador só será exigido para carregar e remover a peça produto. Uma vez que o ciclo é ativado, o operador fica livre para outras funções.

O manual de referência do construtor de máquinas ferramentas serve para informar quais funções de sua máquina são programáveis. Para te dar alguns exemplos de como algumas funções programáveis devem ser manuseadas, eles colocam algumas das funções programáveis mais comuns junto com as palavras de programação relacionadas delas.

### Por exemplo:

- Controle de rotação do fuso:  
S seguido de um valor numérico é usado para especificar a velocidade do fuso (em RPM em centros de usinagens).  
M03 é usado para girar o fuso sentido horário.  
M04 gira o fuso no sentido ante-horário.  
M05 desliga a rotação do fuso.  
Note: Para centros de torneamento também existe uma outra característica chamada de velocidade de superfície constante que permite especificar velocidade de fuso em pés de superfície por minuto (ou metros por minuto).
- Trocador de ferramentas automático (Centros de usinagem). Um "T junto com um número inteiro positivo" é usada para dizer à máquina que estação de ferramenta deverá ser colocada no fuso. Na maioria das máquinas, um M06 diz para a máquina executar a mudança de ferramenta de fato.
- Troca de ferramentas (Em centros de torneamento). Um "T de quatro dígitos" é usada para comandar mudanças de ferramenta na maioria dos centros de torneamento. Os primeiros dois dígitos do T especificam o número de estação na torre e o segundo dois dígitos especificam o número de compensação a ser usado com a ferramenta.  
Por exemplo, T0101 especifica número de estação de ferramenta a pessoa com número um compensado.
- Controle de refrigeração. M08 é usado para ligar o óleo refrigerante no modo "flood" ou seja, injeção de líquido. Se disponível, M07 é usado para ligar o refrigerante no modo "mist" ou seja, névoa (óleo refrigerante com ar comprimido). M09 desliga o refrigerante.

- Trocador de Pallet automático. Um comando de M60 é usado para fazer mudanças de pallet comumente.

### **Outras características programáveis**

Como já foi dito, funções programáveis variarão dramaticamente de uma máquina para outra. Os comandos de programação atuais mais necessários também variarão de construtor a construtor. Tenha uma lista de código M (funções miscelâneas) determinadas no manual do construtor da máquina ferramenta para conhecer mais sobre que outras funções podem ser programáveis em sua máquina em particular. Códigos M são comumente usados pelo construtor de máquina ferramenta para dar ao usuário a possibilidade de liga e desliga de algum dispositivo da máquina CNC tal como liga e desliga o óleo refrigerante, liga o trocador de ferramenta, etc. Em todo caso, você precisa saber o que você tem disponível para ativar dentro de seus programas CNC.

Para centro de torneamento, por exemplo, a ativação e desativação da mandíbula de fixação da peça podem ser programáveis. Se a máquina tiver mais de uma gama de rotação, comumente é programável. E se a máquina tiver um travador de barra, será programável. Você pode até mesmo ativar e desativar o transportador de cavacos de sua máquina via programa. Tudo isto, claro que, são informação importante ao programador de CNC.

### **Entendendo os tipos de movimentos nos CNCs.**

*"Movimento efetivamente dominante na maioria das máquinas CNC requer mais que descrever como a máquina CNC determina a posição de ponto final de cada movimento".*

Durante o conceito fundamental número um, nós discutimos como são comandados os pontos finais para os movimentos de eixo utilizando o sistema de coordenada retangular. Durante aquela apresentação, porém, nós nos preocupamos apenas com descrever como a máquina de CNC determina a posição de ponto final para cada movimento. Comandar movimento efetivamente na maioria das máquinas CNC requer mais do que posicionar movimentos.

Os fabricantes de controle CNC fazem isto tão fácil quanto possível para os comandos de movimento no programa. Para esses estilos de movimento do que é preciso normalmente, eles dão para o usuário CNC vários tipos de interpolação.

### **Entendendo as interpolações.**

Diga por exemplo, você deseja mover só um eixo linear em um comando. Você quer mover o eixo X a uma posição com um avanço lento à direita do zero do programa.

Considerando que o comando fosse X10. (assumindo o modo absoluto e em mm). A máquina removeria uma linha perfeitamente reta neste movimento

(desde que só um eixo está movendo).

Agora digamos que desejo para incluir um Y eixo movimento a uma posição de 10 milímetros em relação ao zero do programa (e juntamente com o Y atuasse o X voltando a zero). Nós diremos que você está tentando fazer um chanfro na peça produto com este comando. Para caminhar numa linha perfeitamente reta e chegar ao ponto de destino programado nos dois eixos juntos, tem que haver uma sincronização dos eixos X e Y neste movimentos. Também, se a usinagem ocorrer durante o movimento, uma taxa de movimento (feedrat) também deve ser especificada. Isto requer interpolação linear.

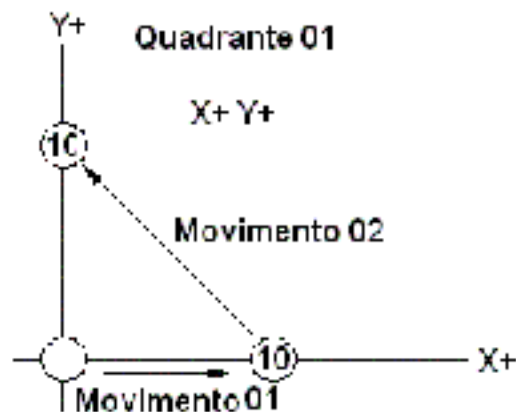


Figura 1. O movimento 2 atual foi gerado com interpolação linear. Saiba que para máquina não ocorreu um único movimento, mas sim uma série de movimentos minúsculos cujo tamanho do passo é igual à resolução da máquina, normalmente 0.001mm.

Durante comandos de interpolações lineares, o controle precisa e automaticamente calcular uma série de únicas partidas de eixo muito minúsculas, enquanto mantêm a ferramenta tão perto do caminho linear programado quanto possível. Com as máquinas CNC de hoje, se aparecerá que a máquina está formando um movimento de linha perfeitamente reta. Porém, na figura 1 (acima) mostra o que o controle de CNC está fazendo de fato durante interpolação linear.

Em modo semelhante, requerem muitas aplicações para máquinas CNC, por exemplo, que a máquina possa formar movimentos circulares. Aplicações para movimentos circulares incluem raio de concordância entre faces de peças, furos circulares de grandes e pequenos diâmetros, etc. Este tipo de movimento requer interpolação circular. Como com interpolação linear, o controle gerará minúsculos movimentos que se aproximam o máximo de caminho circular desejado. A figura 2 (abaixo) mostra o que acontece durante interpolação circular.

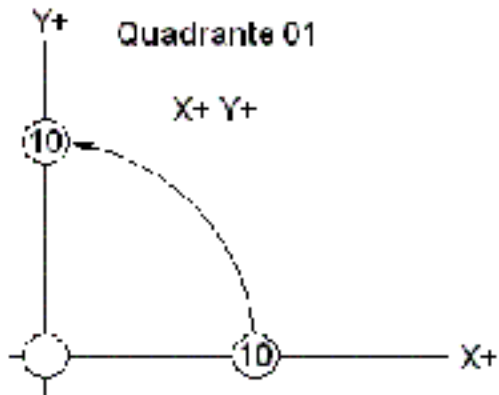


Figura 2. Este desenho mostra o que acontece durante interpolação circular.

Dependendo da aplicação da máquina, você pode encontrar ainda outros tipos de interpolação disponível. Novamente, os fabricantes de controle CNC tentam fazer isto tão fácil quanto possível para programar os controles deles. Por exemplo, em muitos centros de usinagem os usuários executam operações de fresagem em linha em suas máquinas. Durante o fresamento em linha, a máquina tem que se movimentar em um modo circular ao longo de dois eixos (normalmente X e Y) ao mesmo tempo um terceiro eixo (normalmente Z) se movimenta num modo linear. Isto permite se usinar uma hélice da linha. Este movimento se assemelha a um movimento de espiral (entretanto o raio de uma espiral não é constante). Sabendo que seus clientes precisam deste tipo de movimento para fresadoras de linha, fabricantes de centros de usinagem CNC oferecem outra interpolação característica chamada helicoidal.

Ainda outro tipo de interpolação pode ser requerido em centros de torneamentos que têm estampagem ao vivo. Por centros de torneamentos que podem girar ferramentas (como fresadoras de acabamento) na torre e tem um eixo de C para girar a peça produto, podem ser usados interpolação de coordenada polar para fresar contornos ao redor da periferia da peça produto. Interpolação de coordenada polar permite para o programador aplainar com o eixo rotativo, enquanto tratando isto como um eixo linear com a finalidade de fazer comandos de movimento.

### Os três tipos de movimento mais básicos.

Enquanto sua máquina CNC particular pode ter mais tipos de movimentos (dependendo de sua aplicação), concentremos nos três mais comuns disponíveis em quase todas formas de equipamento de CNC. Depois de introduzir cada tipo de movimento brevemente, nós mostraremos um exemplo de programa que acentua o uso de todos os três.

Estes tipos de movimentos têm em comum duas coisas.

*Primeiro*, eles são todo modais. Isto significa que eles permanecem em efeito até outro comando interrompê-los. Por exemplo, se vários movimentos do mesmo tipo forem usados consecutivamente, o G correspondente só aparecerá no primeiro comando.

*Segundo*, o ponto final do movimento é especificado em cada comando de movimento. A posição atual da máquina será tomada como o ponto de partida.

## **Movimento rápido (Também chamado de posicionamento)**

Este tipo de movimento é usado para comandar movimento à taxa de avanço mais rápida da máquina. É usado para minimizar tempos não produtivos durante o ciclo de usinagem. Usos comuns para movimento rápido incluem posicionamento da ferramenta para se iniciar um corte, movimentos de desvios de partes auxiliares tais como grampas, fixadores e outras obstruções, e em geral, qualquer movimento não cortante durante o programa.

Você tem que conferir o manual do construtor da máquina para determinar a taxa de movimentação rápida. Normalmente esta taxa é extremamente rápida (algumas máquinas ostentam taxas rápidas de bem mais de 25m/min), significando o operador devem ser cautelosos ao verificar comandos de movimento rápidos. Felizmente, há um modo para o operador anular a taxa rápida durante verificação de programa.

O comando que quase todas máquinas CNC usam para iniciar movimento rápido é o G00. Dentro do comando de G00, o ponto final para o movimento é determinado.

Os fabricantes de controle variam com respeito ao que de fato acontece se mais de um eixo é incluído no comando de movimento rápido. Com a maioria dos controles, a máquina moverá tão rápido quanto possível em todos os machados comandados. Neste caso, um eixo alcançará seu ponto de destino provavelmente antes dos outros. Com este tipo de comando rápido, movimento de linha reta não acontecerá durante movimentos rápidos neste sentido o programador deve ter muito cuidado se há obstruções para evitar. Com outros controles, acontecerá movimento de linha reta entre o ponto inicial e final do movimento, até mesmo nos comandos de movimento rápidos.

## **Movimento em linha reta**

Este tipo de movimento permite ao programador comandar movimentos de linha reta perfeitamente como discutido anteriormente durante nossa discussão de interpolação linear. Este tipo de movimento também permite ao programador especificar a taxa de movimento (taxa de avanço) ser usado durante o movimento. Movimento de linha reta pode ser usado a qualquer momento, um movimento cortante reto é requerido enquanto se faz uma furação, um faceamento e ao fresar superfícies retas.

O método pelo qual a taxa de avanço é programada varia de um tipo de máquina para o outro. Em geral, centros de usinagens só permitem que a taxa de avanço seja especificada em formato de por minuto (polegadas ou milímetros por minuto). Os centros de torneamento também permitem se especificar taxa de avanço em formato de por revolução (polegadas ou milímetros por revolução).

A palavra G01 é normalmente usada para especificar movimentação em linhas retas. No G01, o programador incluirá o ponto final desejado em cada eixo.

## Movimento circular

Estes tipos de movimento causam a máquina movimentos na forma de um caminho circular. Como discutido anteriormente durante nossa apresentação de interpolação circular, este tipo de movimento é usado para gerar raios durante a usinagem. Toda a taxa de avanço relacionado e pontos já ditos durante nossa discussão de movimento de linha direto se aplica aqui.

Dois códigos G são usados com movimento circular. G02 é usado para especificar movimentos circulares à direita (sentido horário) enquanto G03 é usado para especificar os movimentos circulares a esquerda (sentido anti horário). Para se avaliar o qual usar, você simplesmente precisa ter uma visão do movimento da mesma perspectiva que a máquina verá o movimento. Por exemplo, se fazendo um movimento circular em XY em um centro de usinagem, simplesmente veja o movimento do ponto de vista do fuso. Fazendo se um movimento circular em XZ em um centro de torneamento, simplesmente veja o movimento de sobre o fuso.

Adicionalmente, movimento circular requer que por um meio ou outro, o programador especifique o raio do arco a ser gerado. Com os controles CNCs mais novos isto é controlado por um "R" que simplesmente declara o raio. Com controles mais antigos, vetores direcionais (especificado por I, J e K) digam ao controle o local do ponto de centro do arco. Desde que controles variam com respeito a como são programados vetores direcionais, e desde que a palavra de R está ficando mais popular para designação de raio, nossos exemplos mostrarão o uso do R. Se você desejar aprender mais sobre vetores direcionais, recorra ao manual de seu fabricante de controle.

### Exemplo de programa mostrando três tipos de movimentos.

Neste exemplo particular, nós estamos fresando o contorno externo de uma peça produto. Note que nós estamos usando uma fresa de uma polegada de diâmetro para usinar o contorno e nós estamos programando considerando o centro da fresa. Mais tarde, durante conceito fundamental número quatro, nós discutiremos um modo para programar a peça produto de modo que seja considerado o contorno da ferramenta (não o caminho de da linha de centro da ferramenta de corte).

Bloco de comando (linguagem de máquina)	Descrição do bloco
O0002	Número de Programa
N005 G54 G90 S350 M03	Seleciona o sistema de coordenadas, modo absoluto fuso gira a 350 RPM sentido horário
N010 G00 X -.625 Y -.25	Rápido para o ponto 1
N015 G43 H01 Z -.25	Ativar a compensação de comprimento da ferramenta, rápido até superfície de trabalho
N020 G01 X5.25 F3.5	Máquina em movimento direto para o ponto 2, taxa de avanço 3.5 pol/min.



N025 G03 X6.25 Y.75 R1.0	Movimento circular no sentido ante horário CCW para o ponto 3
N030 G01 Y3.25	Máquina em movimento direto para o ponto 4
N035 G03 X5.25 Y4.25 R1.0	Movimento circular no sentido ante horário CCW para o ponto 5
N040 G01 X.75	Máquina em movimento direto para o ponto 6
N045 G03 X - .25 Y3.25 R1.0	Movimento circular no sentido ante horário CCW para o ponto 7
N050 G01 Y.75	Máquina em movimento direto para o ponto 8
N055 G03 X.75 Y - .25 R1.0	Movimento circular no sentido ante horário CCW para o ponto 9
N060 G00 Z.1	Rápido ao longo do eixo Z
N065 G91 G28 Z0	Vai para o ponto de referência da máquina em Z
N070 M30	Fim de programa, rebobinamento da fita

Se você não conseguiu entender todos os comandos dados neste programa, concentre-se em entender o que está acontecendo no movimento comanda (G00, G01, e G02/G03). Com estudo, você deveria poder ver o que está acontecendo. Pois as mensagens em parênteses servem para documentar o que está acontecendo em cada comando.

Lembre-se que controles CNC variam com respeito a limitações dos tipos de movimento. Por exemplo, alguns controles têm regras rígidas que regem o quanto de um círculo completo lhe permitem para fazer dentro de um comando circular. Alguns requerem vetores direcionais para comandos de movimento circulares em vez de permitir o "R". Alguns têm ciclos fixos para fazer chanfros e concordâncias circulares em cantos, minimizando o número de comandos de movimento que devem ser dados. Embora você deva estar preparado para variações, e você sempre deve conferir o manual do fabricante do controle para descobrir mais sobre os movimentos de sua máquina, pelo menos esta apresentação lhe mostrou os fundamentos de comandos de movimentos. Você deveria estar apto a entender os movimentos básicos de sua máquina particular e controlá-la com facilidade relativa.

### **O que é pós-processamento CNC?**

No início do pós-processamento CN, um pós-processador era considerado uma ferramenta de interface entre o CAM e a máquina CN, ou seja, um mero tradutor, lendo as instruções emitidas de um sistema CAM e escrevendo numa forma apropriada para uma máquina CN específica. Hoje, porém, o pós-processamento evoluiu para incluir uma gama dinâmica de ferramentas de otimização do código que são responsáveis por emitir um código de máquina CN o mais eficiente e produtivo possível.

O pós-processador CN é responsável por unir duas tecnologias muito diferentes, e serve freqüentemente para compensar as deficiências entre elas. Tenha em mente o ponto crucial do assunto: um pós-processador pode ampliar a tecnologia, ou pode inibi-la, dependendo de sua aplicação.

Entender como um pós-processador pode ampliar tecnologia, ajuda entender como e por que os

pós-processadores evoluíram, como era tradicionalmente aplicado, e como o surgimento de sistemas de pós-processadores avançado mudou o modo de uso desta tecnologia hoje. Este artigo mostrará como podem os pós-processadores CN atuar como componentes fundamentais em automatização industrial.

### **O que é um pós-processador?**

A maioria dos sistemas CAM gera um ou mais tipos de arquivos de linguagem neutra que contêm instruções para uma máquina CN. Estes ou estão em um formato binário chamado CLDATA ou algum formato ASCII o qual é legível e geralmente escrito em linguagem APT.

APT é uma sigla para "Ferramentas Automaticamente Programadas" que aceita definições de geometrias simbólicas e instruções de usinagem, e gera CLDATA que descreve uma operação de usinagem passo a passo em condições absolutas. Alguns sistemas de CAM provêm um grande grau de flexibilidade, permitindo incluir quase qualquer coisa no arquivo neutro, outros são bastante rígidos sobre o que pode e não pode ser incluído.

No outro extremo do pós-processamento estão as máquinas CN. Que requerem informações personalizadas para que o controle exija menos do profissional que opera a máquina. Mais importante, a máquina CN deve ser dirigida para satisfazer os critérios de chão de fábrica que estão principalmente baseados em segurança e eficiência.

O pós-processador é o software responsável para traduzir instruções neutras do sistema CAM para as instruções específicas requeridas pela máquina CN. Este software precisa responder às exigências e limitações do sistema CAM, máquina CN e ambiente industrial.

Então, pós-processar é uma parte importante de automatização industrial, como é qualquer coisa que se encontrem no caminho crítico entre o engenheiro responsável pela produção e o departamento de remessa.

### **Uma perspectiva histórica**

As pessoas perguntam freqüentemente se realmente precisam de pós-processadores, desejando saber se talvez todo assunto não seja conversa de vendedores de sistemas de pós-processadores sem escrúpulos.

Na realidade, realmente não há uma conspiração, apenas muita praticidade.

Padrões internacionais (ISO) como também padrões nacionais americanos (ANSI, EIA) definem ambos um formato de saída para sistemas CAM e um formato de entrada para máquinas CN. Estes dois formatos, saída do CAM e entrada das máquinas CN, são muito diferentes.

Por que não um padrão, um único formato? Padrões estão freqüentemente baseados em prática existentes. Eles servem para definir um único método aceito de varias escolhas possíveis, todos os quais estão geralmente arraigados nas práticas de costumes afins.

Padrões contrários à prática comum aparecem de vez em quando, mas eles são difíceis de se justificar, de se estabelecer ou de serem aceitos. Eles também requerem muito mais dedicação e esforço que as maiorias das pessoas estão dispostas a dispor.

A proliferação de sistemas APT competindo entre si, permitiu a definição de um padrão para auxiliar os "input e output" e viabilizar a entrada de dados nos controles, deste modo, foram criados padrões definindo-se os elementos requeridos para usinagem. Semelhantemente, a proliferação de controles CN também exigiu um pouco de uniformidade, e para os controles foram criados padrões de linguagem definindo as primeiras regras baseadas em praticas de usinagem.

Isso nos deixou supor por um momento que uma única solução unificando tudo, tinha sido criada em um prazo razoável, e que um número significativo de companhias fabricantes de CAM e de controle CN concordaram em fazer um esforço para o bem comum.

## O que ocorreu então?

O tempo passa e vendedores de CAM e de NC percebem logo que uma única solução unificando tudo não responderia pela competitividade.

Há três modos pelo menos para se agir, por exemplo, com o surgimento de um novo recurso ou característica tecnológica que não seja coberto pelos padrões.

- Primeiro; A pessoa revisaria primeiro o padrão, então implementaria este novo recurso, anunciaria aos clientes de um modo satisfatório logo depois que o padrão seja publicado.
- Segundo; Proveria o novo recurso primeiro aos clientes, então depois recorreria a padronização.
- Terceiro; Ignoraria qualquer esforço no sentido da padronização e implementaria os novos recursos ao cliente tão depressa quanto possível.

A opção mais aceita é aquela que dá menos tempo e chance a competição.

"O novo recurso ou característica será comercializado tão depressa quanto possível".

Sendo assim as coisas agora ficam um pouco mais complicadas. Se a nova característica está no controle CN, como poderia o sistema CAM do cliente prever esta nova característica de modo a habilitá-la no controle CN, e vice-versa?

O padrão tem que ser estendido em ambos os lados da interface para fazer a nova característica funcionar. Os vendedores de CAM e de NC, ambos têm que concordar em incorporar a funcionalidade sem padrão para permitir acesso a esta nova característica. Quem ganhará? Ambos ganharão igualmente?

Seria mais provável que algum tipo de pré-processador fosse exigido para mudar o 'output' do sistema CAM para satisfazer as exigências de 'input' da máquina CN. Além disto, um pré-processador provavelmente é preciso já para controlar conversões de formato binárias entre o computador do sistema CAM e o controle CN. Inicialmente a conversão será simples, mas com o passar do tempo e divergências do padrão continuam a aumentar, a conversão ficará então mais complexa talvez para um ponto onde poderiam ser requeridos pré-processadores diferentes para cada máquina CN.

Quem proverá o pré-processador, especialmente se ambos o 'output' do sistema CAM e o 'input' da máquina CN contêm extensões ao padrão? O que acontece quando um padrão revisado aparece, ou uma publicação de vendedor de CAM ou o fabricante de computador lhe fala que o computador que você está usando está obsoleto e não é compatível com o modelo mais novo?

## Isto tudo estão começando a soar familiar?

Realmente dá no mesmo se a interface entre CAM e NC é unificado ou não. Pressões de mercado criarão incompatibilidades no final das contas, e algum software será necessário para atravessar a questão. A única pergunta a se responder é, que software usar?

## Escolher um sistema de pós-processamento ou um pós-processador.

Pós-processadores podem fazer muitas outras coisas além de traduzir o código CLDATA ao código da máquina CN. Por exemplo, um pós-processador pode se resumir em movimentação dos eixos, limitando a alimentação e velocidade de pós-processamento, e a qualidade da informação pós-processada podendo assim minimizar o uso dos recursos disponíveis do CAM ou do CN.

Porém, pós-processadores mais sofisticados podem validar o programa antes que fosse cortado na máquina CN. Há muitas regras simples que um pós-processador pode seguir, como colocar mensagens de advertência, que seriam exibidas quando regras são violadas.

Alguns exemplos:

- Notando se uma ferramenta não é selecionada próximo do início do programa.
- Advertência quando movimentos de corte são implementados com fuso parado.
- Sinalizando longa série de movimentos de posicionamentos.

- Advertindo que a ferramenta esta fora do plano de usinagem;
- Notando se não forem ligadas as compensações de comprimento ou diâmetro quando forem solicitadas para uma ferramenta.

### **Além de validação simples vem a correção.**

Há muitas situações onde um pós-processador pode descobrir um erro e corrigi-lo.

#### **Exemplos incluem:**

- Ciclos fixos ativos durante uma mudança de ferramenta (eles deveriam ser temporariamente cancelados);
- Selecionando uma gama de engrenagem de fuso incorreta ou inexistente (o pós-processador deveria selecionar uma gama de velocidades que a máquina possua);
- Especificando um sistema de lubrificação indisponível solicitado (o pós-processador deveria selecionar o próximo melhor tipo).

Os melhores pós-processadores mantêm um quadro global do trabalho completo a toda hora, enquanto adequando os eventos que estão chegando, tomam decisões sobre atual. O programador CN usa esta informação para aperfeiçoar o trabalho sem, no entanto precisar intervir no pós-processamento.

#### **Por exemplo:**

- Pré-selecionando a próxima ferramenta assim que fisicamente possível;
- Segmentando uma fita em uma mudança de ferramenta de modo que o caminho da ferramenta chegue inteiro adequando tudo para que se ajuste no carretel atual;
- Selecionando uma engrenagem de fuso que melhores ajustes as exigências de velocidade atuais e subseqüentes;
- Alterando inteligentemente entre eixos paralelos (Z e W) baseado nos tipos de operações que chegar e limites de movimentos disponíveis.

Pós-processadores também podem trabalhar com relação às limitações e bugs do sistema de CAM ou na máquina CN. É geralmente muito mais fácil de mudar o pós-processador do que adquirir uma revisão nova do sistema CAM, ou uma nova revisão da executiva do controlador CN.

O ponto importante a ser dito é que o programador CN não deveria se preocupar sobre máquina CN ou idiossincrasias do operador de máquina que não afetam a produção de um trabalho diretamente. Sempre que possível, bons pós-processadores deveriam trabalhar sobre estes detalhes, porém sem transparecê-los aos usuários.

Sistemas CAM, máquinas CN, CLDATA e vocabulário de pós-processadores padrões não podem ser todos misturados para produzir um sistema de funcionamento imediatamente junto. Há muitas variáveis no mundo real, e padrões são muito restritos a extensões, para se alcançar integração total de todos estes componentes.

Pós-processadores permitem juntar tudo, e pós-processadores bons podem fazer isto com um mínimo de esforço.

Os melhores trabalhos pós-processados são transparentes, em outras palavras os melhores pós-processadores são os que o usuário não toma conhecimento sobre a complexidade dos cálculos e ações que estão ocorrendo por traz do pós-processamento e nem se preocupa com ele. Eles aguardam o pós-processamento tranqüilamente, e só interferem quando algum alarme for dado, garantindo o trabalho feito.

## Diferença entre G00 e G01

### Curiosidade:

O código G01(interpolação linear) e G00(movimento rápido) para muita gente parece atuar de modo igual, porém, se existem os dois e com descrições diferentes com certeza é porque eles atuam diferentemente, às vezes um programador ou operador de máquina CNC tem o sentimento que a única diferença é o fato que em G00 a máquina movimenta-se na velocidade mais rápida possível e em G01 a mesma máquina movimenta-se em velocidade controlada. De certo modo isto é verdade, porém algumas outras diferenças sutis podem causar um movimento inesperado na máquina, pois o programador no CAD/CAM, vê um movimento rápido do mesmo modo que uma interpolação linear.

Tentarei abaixo passar a vocês estas diferenças e o que isso pode acarretar na máquina CNC.

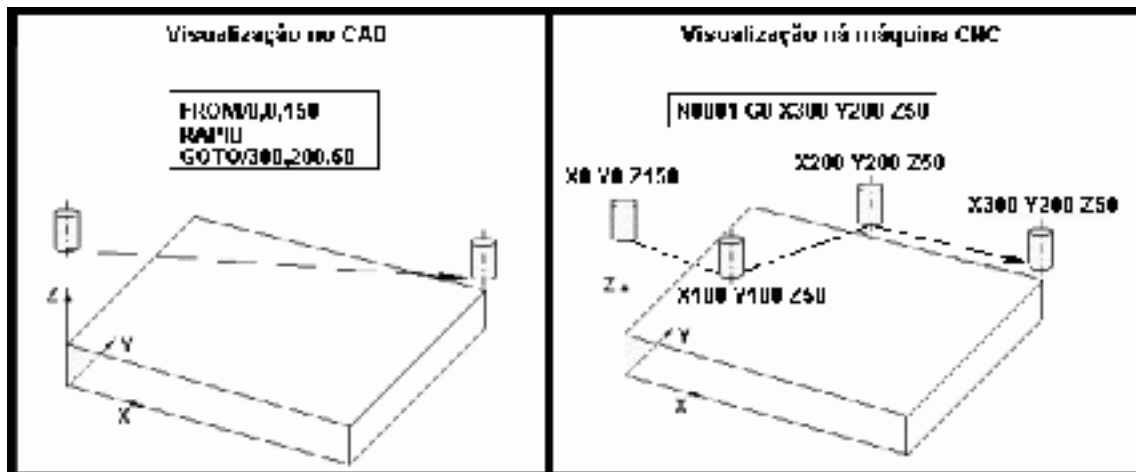
### G00 Rapid Positioning (posicionamento rápido).

Isto quer dizer que quando o programador escolhe este tipo de movimento com o comando "RAPID" ele não está se preocupando com as atitudes da máquina para se adotar o G00, ou seja, em geral isso significa que a máquina conduzirá a ferramenta para posição indicada com a máxima velocidade possível em todos os eixos e muitas vezes os eixos possuem velocidades máximas diferentes.

No início quando as máquinas CN eram relativamente simples com 2 ou 3 eixos isso não gerava tanto problema, pois não implicava em eixos rotativos de cabeçotes ou mesas.

### Veja abaixo o que pode ocorrer:

#### Exemplo 1: uma demonstração gráfica.



#### Exemplo2: uma demonstração descritiva.

Considerando uma máquina de três eixos (X,Y e Z) com velocidades máximas iguais (F=10000mm/min), a posição da ferramenta em X=3000, Y=2000 e Z=1000, o programador usa então um RAPID para movimentar a ferramenta para X=0, Y=0 e Z=0.

### Ou seja:

### No programa fonte:

```
FEDRAT/100  
GOTO/3000,2000,1000  
RAPID  
GOTO/0,0,0
```

### **No programa máquina:**

```
N0 G01X3000 Y2000 Z1000F100  
N1 G00X0Y0Z0
```

### **Na máquina o que ocorre:**

```
Movimento 0 èX3000Y2000Z1000F100  
Movimento 1 èX2000Y1000Z0 F10000  
Movimento 2 èX1000Y0 Z0 F10000  
Movimento 3 èX0 Y0 Z0 F10000
```

Perceba que um único bloco no programa fonte irá na realidade gerar três movimentos na máquina.

Porém na época atual com a evolução das máquinas este detalhe ficou ainda mais complexo, pois as máquinas possuem mais de três eixos e um comando RAPID gerará provavelmente mais de três movimentos e o movimento que no CAD parece apenas que a ferramenta inclinou na realidade gera movimentos em X,Y,Z A e B, se estes A e B forem na mesa ficarão muito mais complicado podendo ocorrer até impacto entre barramentos e ferramenta ou coisa semelhante.

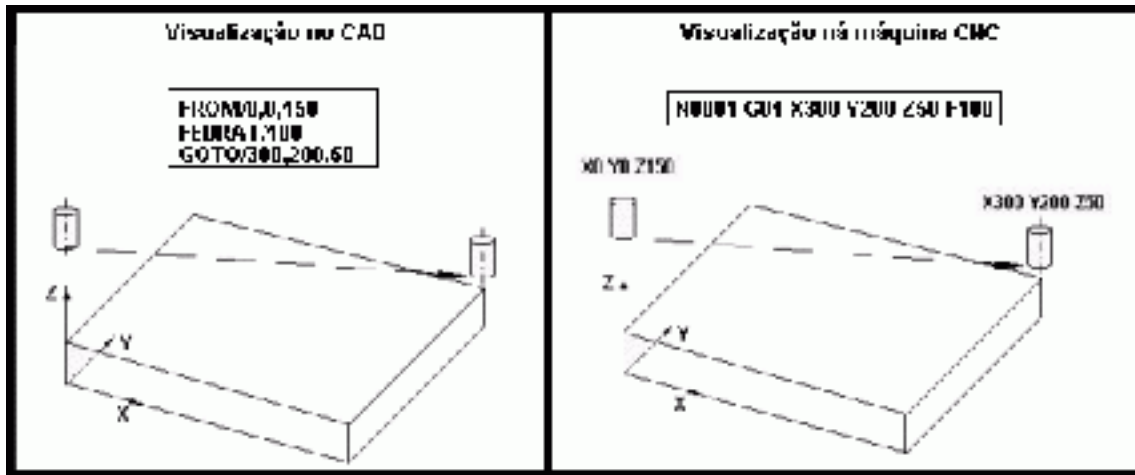
Como estes detalhes foram se tornando complexos com o tempo e no início não havia muito que se preocupar os programadores às vezes não entendem porque um movimento que parece ser tão simples no CAD/CAM pode se transformar em coisa tão catastrófica na máquina.

Devido a isto os pós-processadores modernos permitem tratamentos especiais para estas situações, porém as máquinas são muito mais complexas e estas informações podem ser tratadas de varias maneiras, como a principal função dos pós-processadores é ser fiel às informações vindas do CAD/CAM é um tanto quanto delicado estas decisões pelo pós, ficando mais simples atitudes diretivas dos próprios programadores no sentido de minimizar estas decisões do pós.

### **G01 Linear interpolation (interpolação linear).**

Em caso de 3 eixos ou menos o movimento se dará tanto no CAD/CAM quanto na máquina de modo muito semelhante, porém se for 4 ou mais eixos pode ocorrer uma linearização\* (coisa que não ocorre com o G00), ou seja, a colocação de pontos intermediária aos movimentos finais, porém como o CAD/CAM não conhece cinemática das máquinas (quem se movimenta se a mesas ou cabeçotes? Qual eixo carrega qual? etc) tudo se passa como se a referencia de giros e movimentos sejam no topo da ferramenta, desta informação mais as informações de comandos e cinemáticas das máquinas que são consideradas nos pós-processadores saem o programa no código de máquina (GCode), com ainda mais linearização desta vez colocada pelo pós que conhece mais da máquina do que o CAD/CAM, porém como já foi dito estas informações intermediárias precisam ser muito depuradas, pois excessos ou faltas podem comprometer o produto final.

### Exemplo de G01 em máquina três eixos:



É importante saber que o avanço de 100mm/min será na direção e sentido do movimento e não em cada eixo independente.

\* linearização é um evento usado para corrigir discrepâncias entre informação CAD e máquina, no sentido de manter a tolerância estipulada entre o movimento e a superfície da peça, caso você queira saber mais, veja o item nos conceitos avançados do site.

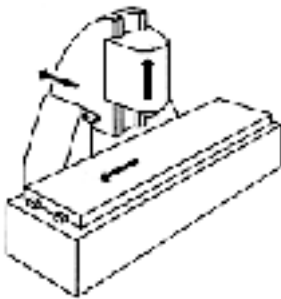
Nota: a configuração dos controles pode alterar a forma de interpretação dos códigos G00, deste modo existem controles que o G00 age tal qual o G01.

### Conceituação da palavra eixo em CNC

Sempre quando ouvimos falar sobre tecnologia CN/CNC, esta implícita a questão eixo, ex. Compramos uma máquina CN cinco eixos.

No entanto sempre surge a dúvida, quais são estes tais eixos? Um modo simples de conceituar a palavra eixo CNC é referenciar se como eixo cada movimento possível de ser feito na direção de um dos eixos do sistema cartesiano de modo consecutivo, ou seja, se a máquina pode se movimentar na direção X Y e Z no mesmo tempo, esta máquina é uma máquina de três eixos, porém se esta máquina movimenta-se em dois eixos consecutivamente e o terceiro quando os outros dois estiverem parados, esta máquina possui dois eixos e meio.

É comum encontrarmos máquinas de dois eixos e meio, o movimento do eixo que denomina esta máquina como 'meio' é conhecido por movimento indexado ou seja não contínuo, pois só atua quando os outros eixos estão parados.



Máquina simples de três eixos

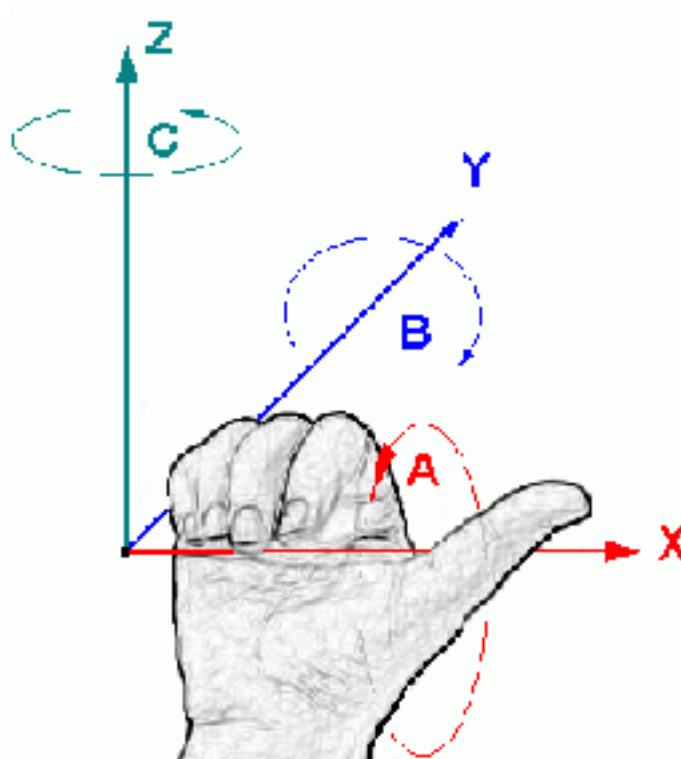


Encontramos os três primeiros eixos, e o que falar de uma máquina de quatro ou cinco eixos; Vamos então conversar de outros tipos de eixos que não sejam X Y e Z, que são conhecidos como eixos lineares primários.

Os outros dois no caso de uma máquina cinco eixos são os eixos rotativos ou giratórios ou ainda eixos angulares, estes eixos se movimentam em torno de um dos três eixos primários X, Y e Z, do seguinte modo se girar como se fosse em torno de um eixo paralelo ao eixo X este levará o nome de eixo A, se em torno do eixo Y se chamará B e em torno de Z por consequência seria o C.

Veja como seria fácil identificar os movimentos dos eixos rotativos, ou seja, o sentido e a direção destes eixos, podem utilizar a regra da mão direita, do seguinte modo, com a mão como se estivesse fazendo "positivo" considerando que o eixo linear sobre o qual girará o eixo rotativo, passa paralelo por dentro da mão como se a mesma segurasse o eixo e o polegar indicaria o sentido que este eixo aumenta positivamente, então o eixo rotativo giraria acompanhando os outros quatro dedos também no sentido positivo.

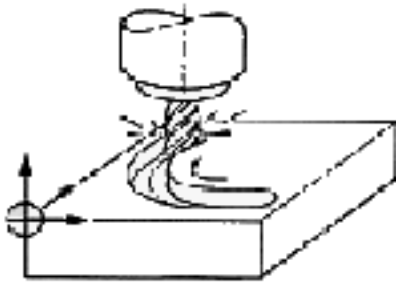
Veja no croqui Abaixo:



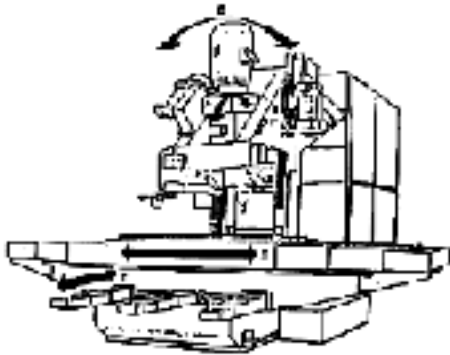
Regra da mão direita para identificar o sentido de giro dos eixos rotativos

### Interpolação Circular Os códigos:

G02 interpolação circular no sentido horário;



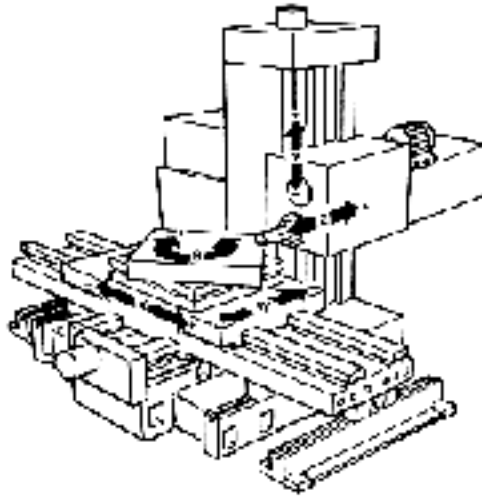
G03 interpolação circular no sentido anti-horário.



Máquina de cinco eixos (X,Y, A, B)

Uma pergunta ainda, pode estar havendo na cabeça de muitas pessoas, mas eu já ouvi falar de máquinas de seis, sete ou até mais eixos, como seria isto?

Realmente isso existe, embora sejam máquinas extremamente especiais, elas existem, além dos eixos lineares primários pode haver outros três eixos lineares, que são conhecidos como eixos lineares secundários, e suas disposições são da seguinte maneira, se o eixo é paralelo ao X se chamará U, se paralelo a Y o nome será V, se paralelo ao eixo Z recebe o nome de W; Deste modo já se somam nove eixos possíveis em uma máquina CNC; porém isto não para por aí, pois pode haver máquinas de até 15 eixos, porém seriam casos muito especiais e não seria interessante nesta explanação.



Máquina cinco eixos (quatro lineares X,Y,Z e W, um rotativo B)

Outro aspecto importante sobre os eixos de máquinas CNC seria onde estes eixos se movimentam, ou seja, os eixos podem movimentar o cabeçote da máquina e a mesa fica parada ou vice-versa, ou então alguns eixos movimentam a mesa e outros o cabeçote, as combinações podem ser muitas, e o que tem de importante nisto?

Na realidade para programadores isso tem pouca importância, quando se trata apenas de eixos lineares, porém se forem eixos rotativos, isso pode gerar alguns problemas, quem na realidade precisa conhecer as implicações cinemáticas sobre este assunto é o desenvolvedor de pós-processador, pois ele precisa saber interpretar essas diferenças e implementá-las nos pós-processadores. Os programadores, no entanto precisam conhecer um pouco disto tudo para verificar o que ocorre quando movimentos rápidos atuam em eixos mistos, ou seja, lineares e rotativos, porém este assunto será tratado em assuntos técnicos avançados.

## Função G & Função M

Com o surgimento do controle numérico foi necessário se desenvolver uma linguagem entendível pelos controles das máquinas e esta deveria ser padronizada para que minimizasse o efeito "Torre de Babel" tão comum em tecnologias emergentes, deste modo a EIA Standards, (Associação das indústrias elétricas dos EUA) e posteriormente e mais em nível mundial a ISO (International Organization for Standardization). Adotaram algumas prerrogativas, uma delas a distinção entre código G (general ou preparatory) e código M (miscellaneous).

Tentaremos aqui ser o mais coloquial possível, pois a intenção é que com simplicidade distingamos as duas correntes.

**As funções G:** [<basic7.htm>](#) fazem com que as máquinas CNC se comportem de uma forma específica quando acionadas, ou seja, enquanto tal G estiver acionado o comportamento da máquina será de tal modo.

Ex.

G00X...Y...Z... é todo movimento será executado na velocidade máxima de cada eixo;

G02X...Y...Z... é Todo movimento será em interpolação circular no sentido horário.

E assim por diante, quer dizer que os códigos G irão interferir no comportamento da máquina.

**As funções M: <basic8.htm>** agem como botões liga e desliga de certos dispositivos tais como: ligar ou desligar o óleo refrigerante, travar ou destravar um eixo.

Ex.

M00 é Desligar todos os dispositivos ou encerrar o programa

M30 é Rebobinar a fita.

M08 é Ligar o refrigerante.

Porém tendo em vista que a nomalização é um tanto quanto difíssil estas prerrogativas podem ser alteradas conforme as necessidades e boa vontade dos fabricantes de máquinas CNC e Controles.

## Função G

**Códigos G (General or preparatory) pelo Padrão ISO 1056.**

### Código G

G00  
G01  
G02  
G03  
G04  
G05  
G06  
G07  
G08  
G09  
G10 a G16  
G17  
G18  
G19  
G20  
G21  
G12 a G24  
G25 a G27  
G28  
G29 a G32  
G33  
G34  
G35  
G36 a G39  
G40

G41  
G42  
G43  
G44  
G45 a G52  
G53

G54  
G55  
G56  
G57  
G58  
G59

### Função

Posicionamento rápido  
Interpolação linear  
Interpolação circular no sentido horário (CW)  
Interpolação circular no sentido anti-horário (CCW)  
Temporização (Dwell)  
Não registrado  
Interpolação parabólica  
Não registrado  
Aceleração  
Desaceleração  
Não registrado  
Seleção do plano XY  
Seleção do plano ZX  
Seleção do plano YZ  
Programação em sistema Inglês (Polegadas)  
Programação em sistema Internacional (Métrico)  
Não registrado  
Permanentemente não registrado  
Retorna a posição do Zero máquina  
Não registrados  
Corte em linha, com avanço constante  
Corte em linha, com avanço acelerando  
Corte em linha, com avanço desacelerando  
Permanentemente não registrado  
Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta  
Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda)  
Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita)  
Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo)  
Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo)  
Compensações de comprimentos das ferramentas  
Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01)  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02)  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03)  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04)  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (05)  
Zeragem dos eixos fora do zero fixo (06)

G60	Posicionamento exato (Fino)
G61	Posicionamento exato (Médio)
G62	Posicionamento (Groceiro)
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 (Inverse Time)
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 tem livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de G99.

## Função M

### Códigos M (miscellaneous) pelo Padrão ISO 1056

<b>Código M</b>	<b>Função</b>
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 numero 2
M08	Liga sistema de refrigeração numero 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 registrado
M30	Fim de fita com rebobinamento
M31	Ligando o "Bypass"
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 "Bypass"
M50	Liga sistema de refrigeração numero 3
M51	Liga sistema de refrigeração numero 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 tem livre escolha para estabelecer uma função para estes códigos, isso também inclui os códigos acima de M99.

## Definição de DNC

Direct Numeric Control / Controle Numérico Direto

Este termo é usado de dois modos.

- A aplicação mais comum da sigla está em referência a um computador que controla diretamente a máquina de usinagem, provendo os sinais exigidos ao longo de um sistema de comunicações de dados.

Um sistema de DNC pode significar algo tão simples quanto um programa de comunicações que envia programas de NC/CNC à memória do controle da máquina de usinagem.

- Também poderia ser algo tão avançado quanto instalação de uma rede de transmissão de dados direta aos componentes de máquina de usinagem com possibilidade de dirigir a mesa e as ferramentas.

Muitos sistemas de DNC comerciais são bastante sofisticados e têm a habilidade para conversar de uma só vez com varias máquinas de usinagem.

Estes sistemas enviam os programas em códigos M e G diretamente à memória de máquinas de usinagem conforme a solicitação dos controles destas máquinas e freqüentemente incluem ferramentas de gerenciamento como querings e estimações de tempo.

## Etapas para se criar um programa CNC

Existem muitas modos diferentes para se obter um programa CNC com os quais obteremos a mesma peça, porém com resultados diferentes.

Abaixo uma sequência de etapas que sem dúvida produzirá um bom programa de usinagem CNC.

## **1a Etapa: Definição do MATERIAL.**

O material deve ser definido de preferência pelo programador da peça em auxílio ao processista de usinagem, pois este deve ter uma idéia melhor do processo de fabricação da peça, levando em consideração material a mais que será usado como fixação da produto ao dispositivo de usinagem.

## **2a Etapa : Determinação da FIXAÇÃO.**

Uma boa fixação minimiza com certeza muitos problemas durante o processo, de modos que deve se ter muito critério e atentarmos por alguns pontos:

- 1) A fixação deve ser de tal modo que a peça não se mova durante o corte.
- 2) É importante que haja espaço suficiente entre a fixação e a peça para acesso da ferramenta.
- 3) Prefira fixações de atuação rápida.
- 4) Para peças de grandes áreas de base tente usar dispositivos a vácuo.
- 5) Caso seja possível elimine as fixações no final do programa.

## **3a Etapa: Definição das FASES, FERRAMENTAS DE CORTE e SEQUÊNCIA DE USINAGEM**

Nesta etapa tendo decidido as fixações, faça um bom delineamento do programa, ou seja de modo macro defina as ferramentas e como elas atuarão para retirar o material da peça, em cada fase

Entenda por fase toda interseção do operador da máquina durante o corte da peça, ex: Prender grampo; soltar a peça e rotacionar prendendo novamente, etc..

*Abaixo descrição das fases de um programa CNC.*

Deverá ser estudado um modo de se prender o material a mesa da máquina, faça um processo mental da usinagem, defina as fases, as ferramentas de corte e a sequência de usinagem, estes três aspectos devem ser analisados juntos porque um depende do outro para serem definidos . Exemplo :

### ***Fase 1 - Primeira face da peça a ser usinado.***

- Ferramenta 1 - Fresa diâmetro 25- Fazer o desbaste geral, mantendo sobremetal de 1mm  
-Facear a região dos parafusos.
- Ferramenta 2 - Broca de centro - Fazer furos de centro na alma
- Ferramenta 3 - Broca de ¼ - Fazer furos próximo a aba central
- ... etc..

### **Fase 2 - Segunda face**

- Ferramenta 1 - Fresa diâmetro 25 - Fazer o desbaste geral.
- Ferramenta 4 - Fresa diâmetro 20 - Usinar cavidades
- Ferramenta 6 - Fresa diâmetro 20 - Usinar contorno externo



- ... etc..

Obs.: Fazer estas definições para todas as fases necessárias ao programa .

#### **4a Etapa: Condições de corte**

Uma vez que o trabalho feito com ferramentas é decidido, os dados de corte tais como avanço , rotação e profundidade de corte devem ser definidos em função do tipo de máquina CNC que será usada e seguindo sempre as condições sugeridas pelo fabricante da máquina ou por um técnico especializado.

#### **5a Etapa: PROGRAMA CNC**

Agora o programador está pronto para começar a criar o programa CNC. Um bom sistema CAD/CAM deve estar disponível. A melhor maneira de criar o programa CNC é simplesmente sentar-se em frente a uma estação de trabalho imaginando-se em frente à máquina e começar a fazer as movimentações necessárias para gerar a peça utilizando todas as informações definidas anteriormente .

Obs.: Alterações nas definições acima podem se fazer necessário visto que quando se esta programando outras idéias ou sugestões podem aparecer para melhorar a eficácia do programa CNC

#### **6a Etapa Verificação do PROGRAMA CNC**

Depois de terminado o programa ,este deve ser verificado usando a própria ferramenta do sistema CD/CAM ou alguma ferramenta própria para simulação ou ainda o próprio simulador da máquina CNC , mas esta verificação se faz necessária para evitar colisões de podem trazer grandes prejuízos.

#### **7a Etapa Teste do programa CNC na máquina CNC**

Antes de começar a primeira peça deve ser verificado se todas as condições pré - estabelecidas foram cumpridas com todo o rigor possível e algumas questões devem ser respondidas positivamente :

Fixação do dispositivo na máquina esta ok?

Fixação da peça no dispositivo esta ok?

Ferramentas de corte estão afiadas e com comprimento de acordo com o programa CNC?

A máquina CNC esta zerada de acordo com programa CNC?

Depois de respondidas estas questões o primeiro teste do programa CNC pode ser feito usando muita cautela tendo em vista que possíveis erros na transmissão de dados para a máquina , erros no programa CNC que não foram percebidos anteriormente nas verificações podem ocorrer.

Este primeiro teste serve principalmente para verificar as condições de corte que não podem ser simuladas.

#### **8a Etapa: INSPEÇÃO do produto final**

A primeira peça deve ser inspecionada totalmente antes de dar sequência na produção.

## **9a Etapa : DOCUMENTAÇÃO**

Uma documentação clara deve ser enviada para o operador para que este consiga produzir a peça sem o auxílio do programador ,se este não for o mesmo , ou para que outra pessoa possa fazer a peça.

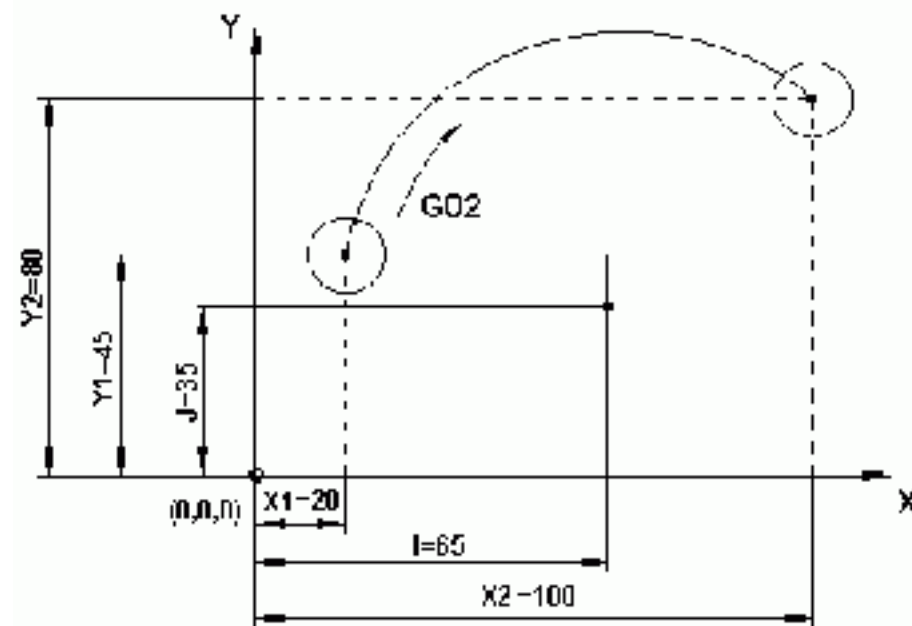
## **10a ETAPA:GERENCIAMENTO DO PROGRAMA CNC**

O gerenciamento do programa é importante para sua localização em caso de o programa sofrer alterações por revisões ou melhorias no programa CNC.

Observação

- Você provavelmente refinará e mudará dados para cada etapa acima conforme o desenvolvimento do programa.
- As etapas acima são apenas um guia , para mais detalhes de cada uma delas estaremos a disposição para lhe responder qualquer questão.

Embora sejam fáceis de se entender, geram dúvidas para operadores e programadores de máquinas CN, pois existem muitas possibilidades de configuração para este tipo de função de máquina, as dúvidas mais comuns estão nos tais versores "i, j e k" indicadores de direção, estes versores conforme o comando, hora podem estar relacionados com o centro da circunferência que deseja se fazer ou então com o sistema de coordenada de trabalho da peça. Os valores "X, Y e Z" são usados para referenciar as posições finais das ferramentas em contato com as circunferências, em geral esses valores são expressos em coordenadas cartesianas absolutas. Os versores "i, j e k" são usados para referenciar os centros das circunferências, em geral esses valores são expressos em coordenadas cartesianas absolutas, ou seja: I é a distancia X do centro do circulo em relação ao (0,0,0) do programa; J é a distancia Y do centro do circulo em relação ao (0,0,0) do programa; K é a distancia Z do centro do circulo em relação ao (0,0,0) do programa. É necessário também informar para máquina o plano de trabalho desta interpolação, a forma mais comum é pelos códigos G17, para plano XY, G18, para plano XZ e G19 para plano YZ. Em geral quando nenhum destes indicadores de planos são citados subentende-se que o plano de trabalho é XY, é como fosse acionado o código G17 (ou seja, o G17 é DEFAULT para o caso). Abaixo podemos entender melhor o mecanismo de funcionamento deste comando veja o croqui e os comandos referentes.



Na figura acima, estão implícitos os comandos abaixo:

G17	Ativação do plano XY
F1000.000	Ativação do avanço 1000mm/min
G1 X20.000 Y45.000 Z0.000 F1000. 000	Interpolação linear até X20, Y45 e Z0
G2 X100.000 Y80.000 I65.000 J35.000	Interpolação circular (CLW) até X100 e Y 80

## Programação de taxa de avanço

A taxa de avanço (feedrat) em programação CN/CNC pode ser dada de varias formas conforme o tipo de usinagem: Pela norma ISO isto pode ser dado de três formas diferentes, a saber:

- G93- Este código indica que os valores de 'feedrate' será reconhecido pelo controle como 1/T, ou seja, tempo inverso (Inverse time).
- G94- Este código geralmente default indica que o 'feedrate' será reconhecido pelo controle como avanço por min (velocidade longitudinal de corte)
- G95- Este código indica que o 'feedrate' será reconhecido pelo controle como avanço por rotação da ferramenta.

Quando o movimento programado requer um posicionamento linear multiaxial, os eixos movem-se simultaneamente ao longo de um vetor, a taxa de avanço de cada eixo é acionada automaticamente pelo controle de tal forma que a taxa de avanço vetorial será igual a programada. Modalidade G93- Inverse time (velocidade em tempo inverso - 1/T)

O G93 é usado para informar ao comando que a taxa de avanço que aparece na variável 'F' é dada em tempo inverso, por exemplo:

G93 X100Y100Z100A5F20

F20 não é 20mm/min ou 20polegadas/min e sim o inverso do tempo em segundos que levará para a ferramenta completar o movimento  $\frac{1}{T}=20$  então  $T(\text{tempo}) = 0,05\text{segundos}$ .

Modalidade G94- Avanço linear em mm/min (ou unidade /min)

O G94 é usado para informar ao comando que a taxa de avanço que aparece na variável 'F' é dada em mm/minuto, considerando-se que o sistema de medida utilizada seja o sistema internacional, por exemplo:

G94 X100Y100Z100F200

F200 é dado em mm/min ou polegadas/min sempre no sentido e direção do movimento da ferramenta, esta modalidade sempre será a modalidade default para avanço.

Modalidade G95- Avanço dado em relação à rotação da ferramenta, ou seja, em cada rotação dada da ferramenta, esta avançará o valor de F.

O G95 é usado para informar ao comando que a taxa de avanço que aparece na variável 'F' em geral é dada em milésimo de milímetro por rotação mm/rotação, considerando-se que o sistema de medida utilizada seja o sistema internacional, por exemplo:

G95 Z100F300

F300 é entendido pelo controle como 0,30mm/rotação (ou polegadas/rotação), é geralmente usada em usinagens especiais, tais como: em tornos, ou para se abrir roscas, porém é mais fácil usar-se neste caso os ciclos fixos.

Existem ainda outras modalidades de avanço, porém são casos bem específicos e dependem dos fabricantes de controle e máquinas.

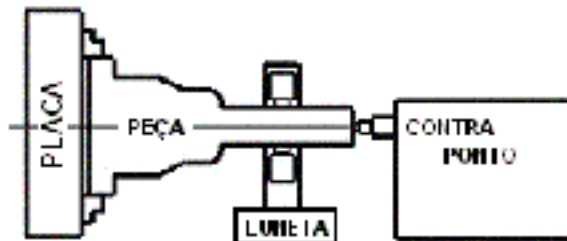
## Uma breve explicação sobre TORNO CNC

Por Joel Rocha

Vamos tratar o torno CNC à parte de outras máquinas CNC, pois existem particularidades somente aplicadas a este tipo de tecnologia, porém já existem máquinas como centro de torneamento (tecnologia que será tratada a seguir) e alguns centros de usinagem que englobam as duas tecnologias em uma só máquina chamadas de máquinas multi-tarefas.

Torno CNC é basicamente um torno com controle numérico computadorizado construído inicialmente para produção de peças de revolução ou cilíndrica que vem dotado de duas bases as quais são chamadas de barramento sobre as quais correm dois eixos sendo um o eixo X (eixo que determina o diâmetro da peça) e outro o eixo Z (eixo que determina o comprimento da peça), a fixação da peça é feita por castanhas fixada em uma placa que vem acoplada ao eixo central da máquina o qual é chamado de eixo árvore, e também podemos usar o ponto que é fixado em um corpo que normalmente fica no barramento do eixo Z na posição contrária a placa e a luneta que fica entre a placa e ponto que é geralmente usada para fixar peças longas.

### Esquema simples de montagem de uma peça no torno.



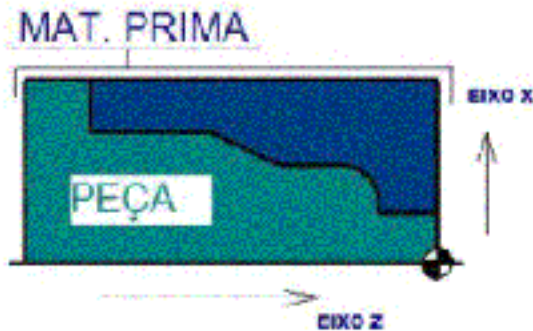
As ferramentas são fixadas em porta ferramentas, as quais são fixadas em torres que podem ser Standard ou japonesa (não vem dotadas de trocas rápidas), VDI (padrão Europeu), Capto (Padrão Sandvick) ou KM (Padrão Kennametal) que são alguns sistemas de trocas rápidas.

### GEOMETRIA DA PEÇA.

Trabalhando com os eixos cartesianos e utilizando os eixos X e Z em movimentos lineares e circulares podemos praticamente determinar todos os perfis possíveis no torno, porém podemos ter tornos dotados com outros eixos como os eixos Y e C e com ferramentas acionadas na torre, os quais somam mais possibilidades de usinagem em um torno, como furos deslocados do eixo Z, faces planas fresadas utilizando o eixo Y e perfis mais complexos com a utilização do eixo C em sincronismo com os demais eixos.

Um programa para torno CNC compõe-se basicamente de:

### 1- Perfil final (peça), de um perfil inicial (matéria prima).



### 2- Dados de corte.

Os parâmetros de cortes são basicamente a Velocidade de Corte (VC que é a velocidade medida em metros de remoção de cavacos por minuto) ou rotação da placa (RPM que é medida em quantidade de voltas da placa "eixo arvore" por minuto), avanço do carro (medido em milímetro por rotação da placa ou milímetro por minuto) e profundidade de corte (medido em milímetro no raio da peça). Os parâmetros de corte são determinados em função do material e o tipo de ferramenta utilizada.

### 3- Definição das ferramentas (perfis e classes).

As escolhas da ferramenta são feitas quanto ao perfil do inserto, quebra cavacos e classe do material do inserto que é normalmente determinada pelo material a ser usinado (quanto a suas ligas e dureza). OBS: normalmente a usinagem é feita com refrigeração de óleo solúvel em água a qual deve ser abundante e direcionada.

OBS: -Os tornos utilizam os códigos G e M respeitando a norma ISO com algumas exceções que variam de acordo com os fabricantes da máquina.

### 4- Ciclos fixos.

O torno utiliza bastante dos ciclos fixos (pacotes de usinagem fechados) principalmente na programação MDI (Introdução Manual de Dados) porque este sistema facilita a programação, pois o programador somente informa o perfil final da peça e o ponto inicial determina a matéria prima o ciclo fixo se encarrega de desbastar a peça até atingir o perfil final da peça, nos ciclos fixos também estão incluídos os ciclos de roscas.

### Cavacos, uma preocupação constante.

Uma das maiores preocupações em uma usinagem no torno é com a quantidade e forma dos cavacos e saber como lidar com eles durante a usinagem porque disto depende o acabamento e podendo até interferir no perfil final da peça, como por exemplo, se em uma usinagem interna em um furo cego tivermos o cavaco formado em fita e se a usinagem for feito sentido placa (de fora para dentro) podemos ter sérios problemas de acabamento e no perfil final podendo resultar até em quebra da ferramenta, por isso existem vários estudos dos fabricantes de ferramentas sobre a relação dos parâmetros de corte e perfil do quebra cavacos com a forma resultante dos cavacos e como isso interfere no perfil e no acabamento final, porém isso deve ser um capítulo a parte como também a constante preocupação com o tempo de vida do inserto e seus mais variados tipos de desgastes.

## ***Conceitos Avançados***

### **Quando um centro de usinagem 5 eixos é requerido?**

Embora não queira ser muito simplista sobre este tipo sofisticado de equipamento, há apenas dois tipos de aplicações para usinagem cinco eixos (em condições muito gerais).

1) Muitas companhias precisam usinar superfícies complexas (planos inclinados ou superfícies não planares) em uma máquina CNC. Seria o caso, por exemplo, de uma peça que precise ser usinado em muitas faces. Em geral, este tipo de usinagem é simplesmente uma extensão do que pode ser feito com o quarto eixo. Se esta for sua área de interesse, você precisará aprender mais sobre "seleção de planos variáveis". Esta característica pode ser selecionadas usando-se o G17, G18 e G19 (XY, XZ, YZ) que são seleções de planos pelo controle, mas lhe permite definir o plano de usinagem que mais lhe facilite o corte da peça. Isto lhe possibilita usar muitas das características de programação padrão tais como ciclos fixos, compensação de raio da ferramenta de corte e inclinação de eixo, de modo que simplificará muito a programação.

2) O tipo mais clássico, quando se elabora usinagem em formas 3d, como seria o caso com Moldes de injeção e eletrodo de edm, onde é muito importante manter a ferramenta cortante perpendicular a superfície de usinagem. Isto requer cinco eixos com certeza (três lineares, dois rotativos). Note que este tipo de usinagem sempre é tão sofisticado que exige um sistema CAM que prepare muito bem os programas, e o sistema CAM faz todo o trabalho duro relacionado a entender os movimentos de eixo.

Quando os dois eixos adicionais são controlados de fato pela máquina, novamente há só dois modos.

Primeiro, com máquinas menores, os eixos rotativos são controlados normalmente com mesas rotativas. A peça é girada para sempre alcançar o tipo de usinagem de cinco eixos que você está fazendo. Note que este tipo de máquina em especial poderá ser mencionado como primeiro tipo, desde que não possua nenhuma limitação a rotação (360 graus completos em ambos os eixos rotativos), e deste modo poderá usinar muitas superfícies complexas.

Segundo, quando a máquina fica tão grande que é muito difícil girar a peça (como é o caso das fresadoras Gantrys), os dois eixos rotativos serão então incorporados ao cabeçote da máquina. A ferramenta realmente inclina em duas direções. Sempre haverá uma limitação a quanto a ferramenta pode inclinar, que também tende a limitar a aplicação para este tipo de máquina para trabalhos 3d.

Falando francamente, não há tanto mais a se falar sobre usinagem em cinco eixos. Novamente, você precisaria atentar para seleção de planos variáveis se você estiver fazendo o seu primeiro trabalho em cinco eixos, porém eu não conheço nenhum outro tópico passível de discussão.

Qualquer pessoa que possua mais informação para relacionar, daremos boas-vindas a seus comentários.

### **Programação Parametrizada**

Talvez este seja o segredo mais bem guardado sobre conceitos CNC.

Há poucas pessoas envolvidas com CNC que conhecem programação paramétrica e estas pessoas evitam comentar o uso deste tipo de programas. Dado aos ganhos que este tipo de programas trazem e os benefícios que os "experts" possuem em conhecer os conceitos aplicados em programas parametrizados, é surpreendente que os grandes usuários deste conceito se restrinjam aos construtores de máquinas de usinagem, e fabricantes de controles, pois é quase nulo a informação que se obtém sobre isto nos meios acadêmicos a não ser grupos de estudos muito isolados, as escolas técnicas não dizem mais sobre isto.

No Brasil sem exagero pode se contar nos dedos das mãos as pessoas que conhecem e usam este tipo de programação. Nesta discussão curta, explicaremos programação paramétrica e mostraremos suas aplicações principais.



## O que é?

Programação paramétrica pode ser comparada a qualquer linguagem de programação como as linguagens BASIC, linguagem C ou PASCAL.

Porém, esta linguagem de programação reside dentro do controle do CNC e pode ser acessado ao nível do código G, podemos dizer que podem combinar técnicas de programação manuais com técnicas de programação paramétricas.

Características relacionadas aos computadores como as variáveis, aritmética, declarações de lógica, e os loopings estão disponíveis nesta linguagem.

Como todas linguagens de programação a programação paramétrica possui várias versões.

A mais popular é Custom Macro B (usado pela Fanuc e controles Fanuc compatíveis).

Outros incluem User Task (Okuma), Q Routine (Sodick), e linguagem de programação Avançada [APL] (G & L).

Além de ter muitas rotinas relacionadas ao computador, a maioria das versões de programação paramétrica tem rotinas relacionadas ao CNC com relativa profundidade.

Por exemplo, macros que permitem ao usuário de CNC ter acesso a muitas propriedades do controle CNC (ferramenta de compensação, posicionamento dos eixos, alarmes, geração e edição de código G codifica, e proteção de programa) que permite a edição interna do programa CNC.

Estas coisas são impossíveis só com a utilização do código G normal, ou seja, com os programas CNC normais.

## Aplicações:

Muitas companhias têm aplicações excelentes para macros de usuários e provavelmente não os conheça.

Claro que, se você sabe utilizá-los pode ser que às vezes não imagine as muitas aplicações possíveis para estes macros ou então os sub-utilize.

Estes macros podem ser divididos em cinco categorias básicas.

Alguns destes podem te soar familiar, vejamos.

### • Famílias de peças.

Quase todas companhias têm pelo menos algumas aplicações que se ajustem à categoria de macro de usuários.

Possivelmente você tenha peças semelhantes, porém, com dimensões variáveis, deste modo o programador deverá referenciar em um quadro no desenho as cotas variáveis e propor-las em um programa parametrizado, que será acionado conforme as solicitações das peças a serem produzidas.

Se você fizer isto, você tem uma aplicação perfeita para macro de usuário.

### • Inventando Ciclos fixos (inclusive referenciando um código G)

Até mesmo se você não tiver uma família perfeita de aplicação de peças para macro de usuário, seguramente você tem algumas peças que requeiram operações de usinagem semelhantes pelo menos. Ou talvez você deseje que seu controle CNC tivesse mais (ou melhores) ciclos fixos.

Com macros de usuários, você pode desenvolver rotinas de propósito gerais para operações como usinagem em linha, padrões de furos de roscas específicas, entalhes ou algum tipo de usinagem em pocket.

Em essência, você pode desenvolver seus próprios ciclos fixos.

### • Movimentos complexos

Pode haver vezes que seu controle CNC seja incapaz de gerar um movimento necessário com facilidade.

Executar uma usinagem em linha de precisão, por exemplo, seu controle tem que ter a habilidade para formar um movimento espiralado em XY enquanto formando um movimento linear em Z (movimento helicoidal não bastará neste caso).

Infelizmente, a maioria dos controles de CNC não possui interpolação em espiral. Mas, acredite, com macro de usuário você pode gerar este movimento desejado. Em essência, macro de usuário o permite criar suas próprias formas de interpolação.

#### · Dispositivos guias opcionais.

Probe (dispositivo destinado a medir posicionamentos relativos ou absolutos: sonda), pós-processo que medem sistemas exatos, e muitos outros dispositivos sofisticados requerem um nível mais alto de programar que podem não ser encontrados na codificação G standard.

Macro de usuário é a linguagem de programação paramétrica mais popular dirigida a estes dispositivos.

Na realidade, se você possui um acesso a probe ou mais em suas máquinas, talvez você tenha provavelmente em macro de usuário.

#### · Utilidades

Há um mundo de coisas que você pode fazer com macro de usuário que você consideraria nunca poder fazer sem este tipo de linguagem.

Macro de usuário pode ajudar reduzir a cronometragem da organização, tempo dos ciclos, tempo de transferência de programa, e em geral, facilitar o uso de seu equipamento.

Alguns exemplos de aplicações que se ajustam a esta categoria incluem contadoras de peças, gerenciamento de vida de ferramenta, mordentes automáticos inclusos as máquinas, usando as saídas padrões dos próprios controles.

#### Exemplo:

Para melhorar a explanação do que podemos fazer com programação paramétrica, nós mostramos um exemplo simples escrito em "Custom macro B" para uma aplicação de centro de usinagem.

Para usinar um furo de qualquer dimensão em qual quer local.

Note como semelhante este programa é a um programa escrito linguagem BASIC.

Programa

O0001 (número de Programa)

#100=1. (diâmetro final do furo)

#101=3.0 (X posicionam do furo)

#102=1.5 (Y posicionam do furo)

#103 = .5 (profundidade do furo)

#104=400 (velocidade em RPM)

#105=3.5 (avanço em IPM)

#106=3. (número de compensação do comprimento da ferramenta)

#107=2.0 (diâmetro do furo)

G90 G54 S#104 M03 (seleção do modo absoluto, coordenada de sistema, rotação inicial)

G00 X#101 Y#102 (posição corrente X e Y do centro do furo)

G43 H#106 Z.1 (aciona a compensação de comprimento da ferramenta, para chegar ao Z corrente)

G01 Z-#103 F[#105 / 2]

Y[#102 + #107 / 2 - #100 / 2] F#105

G02 J-#107 / 2 - #100 / 2]

G01 Y#102

G00 Z.1

M30

## Definições de matrizes

(conforme linguagem APT que também usado como arquivos fontes gerados em sistemas CAD/CAM)

Desde que dimensionar em um desenho de engenharia normalmente independente do sistema de coordenada da máquina ferramenta na qual a peça será usinada, os programadores consideram que embora as dimensões possam ser suficientes para definir as várias linhas, círculos, pontos, etc., é difícil de fazer no sistema de coordenada da máquina.

Os comandos REFSYS, TRACUT, e COPY permitem o programador trabalhar no sistema de coordenada mais conveniente (por exemplo, um cuja origem é um ponto de referência no desenho), e então facilmente especificar uma transformação no sistema da máquina.

Para propósito de discussão, tal sistema de coordenada será conveniente chamado de "sistema local". O sistema global, normalmente da máquina, será chamado de "sistema básico".

Esta transformação pode consistir em qualquer combinação de rotações, translações, imagens de espelho e fatores de escala, e é especificado através de uma sentença de definição de MATRIZ. Tais transformações sempre podem ser representadas por três equações da forma:

$$A_{11}x_1 + a_{12}y_1 + a_{13}z_1 + a_{14} = x_b$$

$$A_{21}x_1 + a_{22}y_1 + a_{23}z_1 + a_{24} = y_b$$

$$A_{31}x_1 + a_{32}y_1 + a_{33}z_1 + a_{34} = z_b$$

Quer dizer, para este tipo de transformação, é possível determinar coeficientes, ( $a_{11}$ ,  $a_{12}$ , ...,  $a_{34}$ ), tal que, para um determinado ponto com coordenadas ( $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$ ) no sistema local, as equações os transladam as coordenadas transformadas ( $X_b, Y_b, Z_b$ ), no sistema básico.

A transformação é chamada como uma 'matriz' porque este termo é descritivo de forma na qual as três equações são representadas interiormente pelo processador N/C, como uma ordem dos coeficientes:

$A_{11}$   $a_{12}$   $a_{13}$   $a_{14}$

$A_{21}$   $a_{22}$   $a_{23}$   $a_{24}$

$A_{31}$   $a_{32}$   $a_{33}$   $a_{34}$

As notações de dupla-subscrição são bastante comuns em matemática de matriz. Note que esta mostra a linha e coluna de um elemento da matriz. Por exemplo,  $a_{23}$  esta na segunda linha e terceira coluna.

A matriz de transformação revela os atributos geométricos do sistema de coordenada local, em termos do sistema básico, diretamente. Suas primeiras três colunas representam os eixos do sistema local: ( $a_{11}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{31}$ ) é o eixo X de vetor positivo, ( $a_{12}$ ,  $a_{22}$ ,  $a_{32}$ ) o eixo Y de vetor positivo, e ( $a_{13}$ ,  $a_{23}$ ,  $a_{33}$ ) o eixo Z eixo de vetor positivo.

A quarta coluna ( $a_{14}$ ,  $a_{24}$ ,  $a_{34}$ ), é o ponto de origem do sistema local.

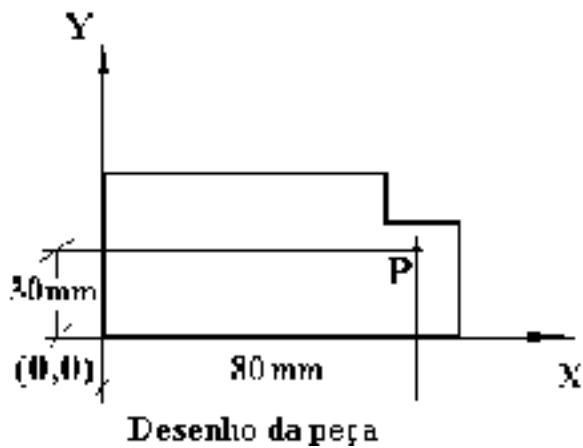


Figura 1 mostra o desenho da peça; o eixo maior da peça é paralelo ao eixo de X.

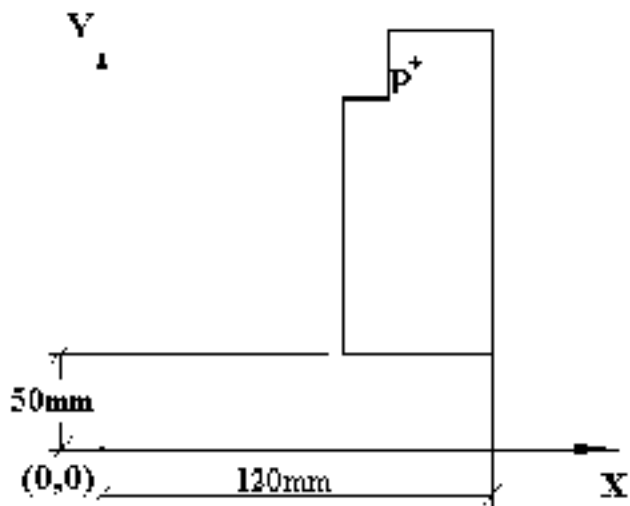


Figure 2 mostra a orientação da peça na máquina; o eixo maior da peça é agora paralelo ao eixo de Y.

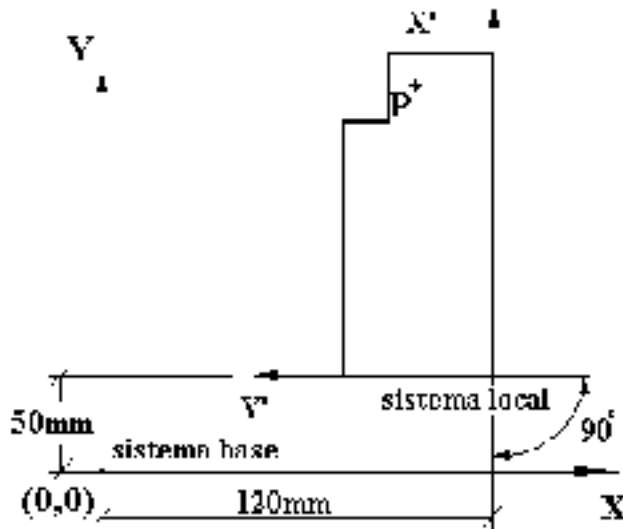


Figure 3 mostra a relação entre os sistemas de coordenada da base (máquina) e local (desenho da peça).

A transformação necessitou que todas as entidades, dimensionados nos termos do sistema local terá dimensões apropriadas no sistema básico, é uma combinação de 90 graus de rotação seguida por translação de: 120 mm em X, 50mm em Y, e 0mm em Z.

A sentença abaixo define "uma matriz definida como uma combinação ordenada de duas determinadas matrizes".

M1= MATRIX/XYROT, 90,TRANSL, 120,50,0

Gera a matriz

```
0 -1 0 120
1 0 0 50
0 0 1 0
```

Que efetuará esta transformação. Por exemplo, considere o ponto P que tem coordenadas locais (80,30,0). Suas coordenadas de sistema básico podem ser computadas por:

$$X_p = 0(80) + (-1)(30) + 0(0) + 120 = 90$$

$$Y_p = 1(80) + 0(30) + 0(0) + 50 = 130$$

$$Z_p = 0(80) + 0(30) + 1(0) + 0 = 0$$

O programador da peça especifica P em termos de suas coordenadas locais (80, 30, 0) e invocando a matriz, M1, com o comando: TRACUT, COPY, ou REFSYS, isto faz o processador CNC executar a transformação que se rende às coordenadas básicas (90, 130,0).

Com referência para figurar 3, pode verificar o leitor que as colunas da matriz contêm: os vetores de eixo e a origem apontam do sistema de coordenada local, como previamente declarado.

## Máquinas CNC ou máquinas Convencionais?

### Introdução

Usar uma máquina CNC não significa substituir o operador por um computador, você pode fazer qualquer coisa que se faça em uma máquina CNC em máquinas convencionais. As únicas diferenças em questão de producibilidade são o tempo de produção e a repetibilidade das peças, sendo que em alguns casos a diferença de tempos pode ser considerada infinita, pois a complexidade das peças pode exigir um empenho sobre-humano do operador.

Falando desta maneira pode-se até entender que o ganho do CNC sobre o convencional não é tão grande, porém isso é um grande equívoco, pois a partir do advento do CNC foi possível criar peças com geometrias de extrema complexidade em tempo recorde, peças, cuja fabricação era possível apenas nas mãos experientes de um exímio mestre modelador.

Podemos perceber isto nas linhas aerodinâmicas dos automóveis modernos com formas complexas e bonitas que se alteraram com muita rapidez. No início da fabricação dos automóveis em série, os modelos T de Henry Ford, por exemplo, todos os carros eram iguais e da mesma cor, o consumidor era obrigado a optar entre comprar aquele carro que todos tinham ou ficar sem. Hoje a colocação de um novo modelo é tão rápida, que o consumidor se sente às vezes até incapaz de se decidir qual escolher.

Neste sentido, eu me atrevo a dizer que hoje em dia, possuir máquinas convencionais ou CNC, esta diretamente relacionada entre ter perspectivas ou não para o futuro. Outro ponto importante é o fato que as máquinas CNC estão tendo seus preços reduzidos pelo próprio aumento da demanda.

É importante planejar muito bem quando se deseja implantar máquinas CNC em um parque pré-existente de máquinas convencionais, ou mesmo, montar um parque de máquinas CNC a partir do zero. O lucro é certo, se toda estratégia for bem estipulada. Tal planejamento exige estudos de:

#### ***· Pesquisa do tipo de máquina que o mercado ou a própria empresa anseia;***

Empresas que fornecem exclusivamente serviço de usinagem precisam estar atentas aos anseios de seus consumidores, tais como complexidade geométrica, precisão, tamanho e tempo de resposta das peças, exigidos por eles assim como volume de produção dos mesmos. Analisando estes itens saberemos determinar o tipo de máquinas que iremos precisar.

Por outro lado, se o setor de usinagem for um membro da empresa, e os serviços de usinagem fizerem parte da concepção do produto desta empresa, o estudo pode se definir mais facilmente, pois podemos encontrar na própria empresa as perspectivas necessárias para a definição do tipo de máquina ideal.

#### ***· Análise de custo x benefício das máquinas elegíveis;***

Neste momento conhecemos o tipo de máquina que estamos querendo. Precisamos então estudar o que o mercado nos oferece a esse respeito, as máquinas disponíveis ou até adaptáveis as nossas necessidades, analisar enfim os custos e benefícios de cada item do mercado que se encaixem em nossas necessidades.

#### ***· Assistência apropriada à implantação desta tecnologia.***

Talvez este item seja o mais importante e deveria constar como coadjuvante dos outros itens, pois quando uma empresa pretende ampliar seus horizontes munindo-se de tecnologias avançadas, é importante que pessoas experientes no ramo sejam consultadas, pois isto pode, sem dúvida, ser a diferença entre o lucro e o prejuízo.

Temos conhecimento de empresas que tentaram resolver este problema de forma "caseira", ou até mesmo acreditando em vendedores de máquinas. Em pouco tempo tiveram seus negócios prejudicados e, em alguns casos, chegaram à falência.

Esta assessoria torna-se imprescindível para instalação da máquina e suporte à produção nos primeiros meses de implantação. Conhecendo o nível de investimento e aplicação dos recursos pode-se planejar a melhor maneira de se integrar aos sistemas fabris o novo meio produtivo. Em poucas palavras, para um sistema completo, do projeto à peça pronta em máquina CNC, torna-se necessária a aquisição e implantação de alguns sistemas que se integrem e facilitem a flexibilização do sistema como um todo, são eles:

- Sistema de programação CNC - CAD/CAM

- Sistema de simulação - Manufatura Digital

- Pós-processador

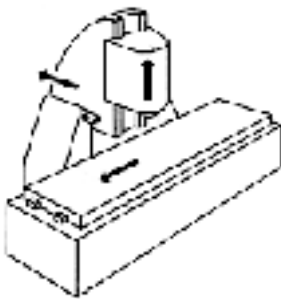
- Sistema DNC - *gerenciamento e transferência de programas (rede) para a máquina*

Todos estes sistemas, hardware e software, precisam ser compatíveis. Outro item imprescindível é a adequação da nova máquina ao layout da fábrica, que precisa ser estudado já na época da aquisição, pois neste instante se tem uma dimensão do novo equipamento e um bom layout leva tempo para ser planejado e implantado.

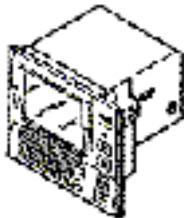
Além dos recursos físicos e eletrônicos descritos no sistema macro acima, é muito importante a preparação dos recursos humanos, visto que esta tecnologia exige pessoal especializado, no projeto, programação, operação e serviços de suporte (porém o item de serviços de suporte pode ser terceirizado com maior facilidade).

### **Constituição básica de uma máquina CNC:**

· A máquina em si. É a parte mecânica, o que antes era a máquina convencional, ou ainda conhecido por alguns como a cinemática do CNC.

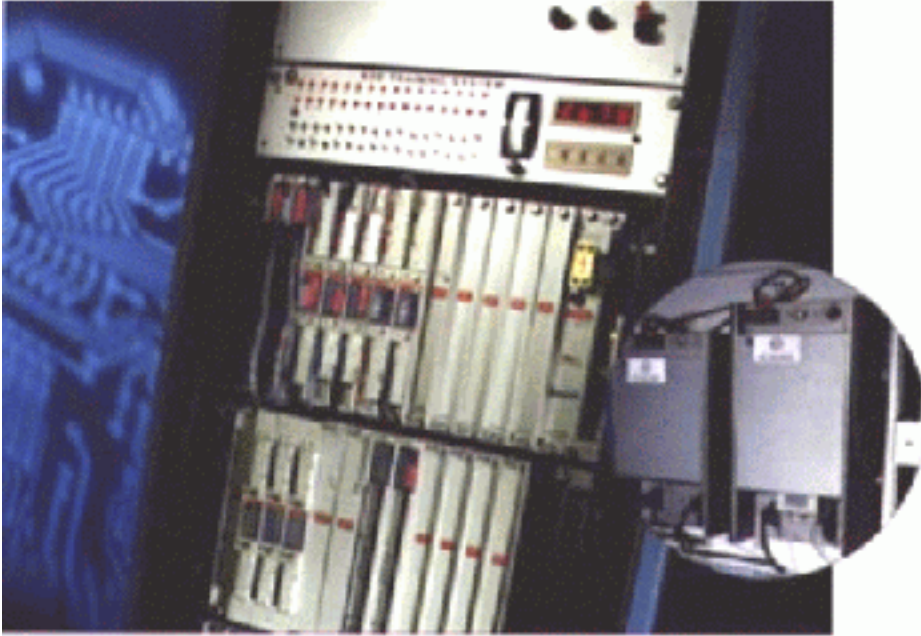


· O Comando ou Controle Numérico. É o equipamento responsável pela interpretação do programa CNC e tradução em comandos que são enviados ao PLC\* aos microswitches\* para acionamento dos eixos. É ainda responsável pelo gerenciamento da interface da máquina com o operador - display, botões, acionadores, etc.



Os PLCs auxiliam os controles nos cálculos matemáticos, controlador lógico programável, também chamado CLP ou controlador programável, é um dispositivo de computador que controla equipamentos em oficinas industriais. Os quantidades de equipamentos que os PLCs podem controlar são tão variados quanto as instalações industriais deles. Sistemas de transportador, linhas de máquinas de processamento de alimentos, máquinas CN e até mesmo um sistema de elevadores prediais, provavelmente haverá um PLC para controlar estas coisas. Em um sistema de controle industrial tradicional, todos os dispositivos de controle são enviados eletrônica e diretamente de um para outro de acordo com como é suposto que o sistema opera.





Os servo-motores giram na velocidade e tempo necessários para que cada eixo atinja os valores de posição e velocidades, estipulados em cada bloco do programa CNC.

**Todo estes sistemas funcionando sincronizados formam a máquina CNC.**

Usamos aqui uma linguagem muito simples para que o maior número de pessoas possam entender com facilidade este mecanismo que não tem nada de simples, citamos os componentes básicos, porém muitos outros componentes formam esta pérola da tecnologia.

#### **Comentários e conclusão:**

O Comando Numérico nasceu e sua aplicação é maior em máquinas de usinagem, porém vem se ampliando de tal forma que praticamente não existe campo nos meios fabris que não tenham sido atingidos por esta tecnologia. Empresas, principalmente as de transformação de metais, que pensam no futuro não podem deixar de planejar suas atividades sem considerar a tecnologia CNC, pois isso pode significar a diferença entre a continuidade e a extinção. Como a implantação de qualquer nova tecnologia exige conhecimento, é importante que estes investimentos sejam feitos consultando-se quem já convive com estes meios há tempos.

As tecnologias emergentes relacionadas à informática vêm se popularizando de tal forma que algumas coisas acontecem tão rápido que nós não damos conta que isto às vezes já ocorreu. Por exemplo, quem diria a seis ou sete anos que poderíamos ter na casa de pessoas comuns um aparelho de gravar CDs ou uma impressora com qualidade fotográfica, uma verdadeira gráfica domiciliar? Outro exemplo é a internet, a maior biblioteca do mundo e todos nós podemos tê-la.

Se em casa temos estes avanços, quem diria nas indústrias. Sem dúvida temos que nos munir de muita tecnologia se quisermos continuar no mercado. Ter máquinas avançadas tecnologicamente não é "luxo" mas sim necessidade para sobrevivência.

Legenda:

\* PLC é Programmable Logical Computer (CLP computador lógico programável)

\* Microswitch é chaves ou válvulas eletromecânicas acionadas por impulsos eletrônico

#### **O que é um PLC?**

Controlador lógico programável, também chamado PLC ou controlador programável, é um dispositivo de computador que controla equipamentos em oficinas industriais. A quantidade de

equipamentos que os PLCs podem controlar são tão variados quanto as instalações industriais deles. Sistemas de transportador, linhas de máquinas de processamento de alimentos, máquinas CN e até mesmo um sistema de elevadores prediais, provavelmente haverá um PLC para controlar estas coisas. Em um sistema de controle industrial tradicional, todos os dispositivos de controle são enviados eletrônica e diretamente de um para outro de acordo com como é suposto que o sistema opera.

Em um sistema de PLC, porém, o PLC substitui a instalação elétrica entre os dispositivos. Assim, em vez de ser telegrafado diretamente de um para outro, todo o equipamento é telegrafado ao PLC. Então, o programa de controle dentro do PLC provê a "conexão de instalação elétrica" entre os dispositivos. O programa de controle é o programa de computação armazenado na memória do PLC que conta ao PLC o que supostamente está entrando no sistema. O uso de um PLC para prover as conexões de instalações elétricas entre dispositivos de sistemas é chamado "softwiring".

### **Por que usar um PLC?**

A vantagem de "softwiring" provida por controladores programáveis é tremenda. Na realidade, é um das características mais importantes dos PLCs. "Softwiring" faz mudanças no sistema de controle fácil e barato.

Se você quer que um dispositivo em um sistema de PLC se comporte diferentemente ou controle um elemento de processo diferente, tudo que você tem que fazer é a mudança do programa de controle.

Em um sistema tradicional, para fazer este tipo de mudança envolveria mudar a instalação elétrica fisicamente entre os dispositivos, isto seria caro e demorado. Além da flexibilidade de programação mencionamos apenas nestes equipamentos, PLCs oferecem outras vantagens sobre os sistemas de controle tradicionais.

### **Estas vantagens incluem:**

- Alta confiança
- Pequenas exigências de espaços
- Capacidade para computar
- Custos reduzidos
- Resistência a ambientes severos
- Capacidade para expansão

### **Mas o que é exatamente um PLC?**

Um PLC consiste basicamente em dois elementos:

- A unidade de processo central
- O sistema de input/output

### **A Unidade de Processo Central**

A unidade de processo central (CPU) é a parte de um controlador programável que recebe, decodifica, reserva, e processa informação. Também executa o programa de controle armazenado na memória do PLC. Em essência, a CPU é o "cérebro" de um controlador programável. Funciona do mesmo modo que a CPU de um computador normal, a não ser que usa instruções especiais codificadas para executar suas funções

### **O CPU basicamente tem três partes:**

- O processador
- O sistema de memória
- A provisão de força

O processador é a seção do CPU que codifica, decodifica, e computa dados. O sistema de memória é a seção do CPU que armazena o programa de controle e dados do equipamento conectado ao PLC. A provisão de força é a seção que proporciona ao PLC a tensão e a corrente que isto precisa para operar.

### **O Sistema de Input/Output**

O sistema input/output (I/O) é a seção de um PLC para o qual todos os dispositivos estão conectados. Se a CPU pode ser considerado como o cérebro de um PLC, então o sistema de I/O pode ser considerado de como os braços e as pernas. O sistema de I/O é o que real e fisicamente leva a cabo os comandos de controle do programa armazenado na memória do PLC. O sistema de I/O consiste em duas partes principais:

- A prateleira
- E os módulos de I/O

A prateleira é um documento anexo com aberturas onde isso é conectado ao CPU. Módulos de I/O são dispositivos com terminais de conexão para os quais os dispositivos internos são telegrafados. Junto a prateleira e os módulos de I/O formam a interface entre os dispositivos de campo e o PLC. Quando montado corretamente, cada módulo de I/O são ambos telegrafados a seus dispositivos de campo correspondentes e instalados em uma abertura na prateleira. Isto cria a conexão física entre o equipamento de campo e o PLC. Em alguns PLCs pequenos, a prateleira e os módulos de I/O são pre-empacotados como uma única unidade.

### **Um pouco mais sobre "output/Input"**

Todos os dispositivos de campo conectados a um PLC podem ser classificados em um de duas categorias:

- Entrada.
- Saída.

De entrada são os dispositivos que provêem um sinal/dados a um PLC. Exemplos típicos de entradas são botões de apertar, interruptores, etc.

Basicamente, um dispositivo de entrada diz ao PLC, "Hei, algo está acontecendo fora daqui... você precisa conferir isto, veja como afeta o programa de controle".

De saídas são os dispositivos que esperam um sinal/dados do PLC para executar as funções de controle deles. Luzes, sinalizadores, motores, e válvulas são todos bons exemplos de dispositivos de saída. Estes dispositivos até então só estavam prestando atenção ao próprio funcionamento deles, até que o PLC diz, "Você precisa virar agora" ou "Seria melhor abrir um pouco mais sua válvula", etc.

## **Há dois tipos básicos de dispositivos de entrada e de saída:**

- Discretos

- Analógico

Dispositivos discretos são entradas e saídas de dados que têm apenas dois estados: de tempo em tempo. Como resultado, eles enviam e recebem sinais simples para/de um PLC. Estes sinais consistem em só Uns ou Zeros. Os "uns" solicitam ligar algum dispositivo e os "zeros" mandam desligar os dispositivos.

Dispositivos analógicos são entradas e saídas que podem ter um número infinito de estados. Estes dispositivos não só podem ser de tempo em tempo, mas eles também podem identificar algo para diminuir de intensidade ou aumentar, etc.

Este envia/recebe de dispositivos complexos sinaliza para/de um PLC.

As comunicações deles consistem em uma variedade de sinais, não apenas "uns ou zeros". Porque dispositivos de entradas e de saídas enviam tipos diferentes de sinais, eles às vezes têm tempo escasso para se comunicar com o PLC.

Mesmo os PLCs sendo dispositivos poderosos, eles as vezes não podem falar o "idioma" de todos dispositivos conectados a eles. Isso é o motivo porque os módulos de I/O, o qual falamos precisam estar ativos mais cedo. Os módulos agem como "tradutores" entre os dispositivos de campo e o PLC. Eles asseguram que o PLC e os dispositivos de campo adquiram as informações das que eles precisam em um idioma que eles podem entender.

## **Um pouco mais sobre o programa de controle.**

Nós falamos pouco sobre o programa de controle. O programa de controle é um programa de software na memória do PLC. É o que põe o controle em um controlador programável. O usuário ou o desenhista de sistema normalmente é quem desenvolve o programa de controle. O programa de controle é composto das chamadas instruções. Instruções são, em essência, pequenos códigos de computador que fazem as entradas e saídas de dados atuarem como se deseja, ou seja, os dados entrarão de certa maneira e sairão de outra.

Há todos os tipos diferentes de instruções e eles podem agir para que um PLC faça quase qualquer coisa (somar e subtrair dados, temporizar eventos, comparar informação, etc.).

Tudo você tem que fazer é programar as instruções na ordem correta e ter certeza que eles estão contactando os dispositivos certos de modo adequado, e você terá um sistema PLC controlado.

Lembre-se, alterar um sistema pode ser em um estalo. Se você quiser que o sistema atue diferentemente, apenas basta mudar as instruções no programa de controle.

PLCs diferentes oferecem tipos diferentes de instruções. Isso é parte do motivo que faz cada tipo de PLC diferente. Porém, todos o PLCs usam dois tipos básicos de instruções:

- Contatos

- Rolagem

Contatos são instruções que recorrem às condições de entrada do programa que é controlado, da informação provida dos dispositivos de campo de saída.

Cada contato monitora um programa de controle de um certo dispositivo de campo. O contato espera pela entrada de informação para fazer algo em particular (por exemplo, ligue, desligue, etc. No entanto isto tudo dependem do tipo de contato).

Então, o contato conta ao programa de controle do PLC, "O dispositivo de saída acaba de fazer o que era suposto fazer. Seria melhor se você verificasse para ver se esta de acordo e se isto afeta quaisquer dos dispositivos de entrada".

Rolagem são instruções que recorrem às saídas de dados do programa de controle que é o que é suposto que cada dispositivo de saída particular faça no sistema. Como um contato, cada rolo monitora também um certo dispositivo de campo.

Porém, cada contato distinto, monitora o dispositivo de campo e então diz ao PLC o que fazer, um rolo monitora o PLC controlando o programa e então diz para o dispositivo de campo o que fazer. Dizendo ao dispositivo de saída, "Hei, o PLC acaba de me falar que o interruptor ligou. Isso significa como é suposto que você ligue agora. Assim vamos"! Para o PLC, este processo de três passos para monitorar as entradas de dados, em que o PLC controla o programa mudando o estado dos dispositivos, são chamadas de saídas adequadas e esquadrejadas.

Como o PLC mantém diretamente tudo isso? O sistema de memória de um PLC é muito complexo, permitindo não só armazenar informação sobre o programa de controle, mas sobre o estado de todas as entradas e saídas de dados de modo adequado. Para manter a rastreabilidade de toda essa informação, usa um sistema chamado de diretor.

Um endereço é um rótulo ou número que indicam onde uma certa parte da informação fica situado na memória de um PLC. Tal qual seu endereço residencial conta onde você vive em sua cidade, um dispositivo ou parte do endereço de dados conta onde a informação sobre isto reside na memória do PLC.

Deste modo, se um PLC quiser descobrir informação sobre um dispositivo de campo, saberá olhar em seu local de endereço correspondente. Alguns endereços contêm informação sobre o estado dos dispositivos de campo particulares. Outros dados são armazenados nos endereços resultados de computações de programa de controle.

Ainda outros contêm dados de referência introduzidos pelo programador de sistema. No entanto, não importa que tipo de dados seja, um PLC usa seu esquema dirigido para manter a rastreabilidade de tudo. Deste modo, terá os dados certos quando precisar.

### **Resumindo tudo.**

PLCs podem parecer um pouco complicado no princípio, mas nada para se apavorar. Apenas lembre-se que todos os PLCs seguem as regras básicas de operação que discutimos acima.

Todos os PLCs têm uma CPU e um sistema de "input/output". Todos eles usam um programa para controlar instruções e dirigir equipamentos pelo sistema de controle para que façam o que se deseja que eles façam com intensidade e tempo adequados. E não importa quantos sinos e apitos você acrescente a isto, todos os PLCs fazem as mesmas três coisas:

- (1) Examina seus dispositivos de entrada de dados,
- (2) Executa seu programa de controle, e
- (3) Atualiza seus dispositivos de saída de dados adequadamente.

Assim na realidade, a compreensão dos PLCs é tão simples quanto 1-2-3!

## **1. NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) - Alguns conceitos iniciais**

Atualmente, os sistemas CAD classificados como modeladores de superfícies permitem a construção de formas complexas, dando ao usuário total liberdade para o modelamento de seus produtos. Um sistema CAD com estas características possui sofisticados modelos matemáticos que possibilitam representações geométricas complexas



Estes algoritmos matemáticos são conhecidos como funções Spline. "Spline é uma curva não-concêntrica, não-reta e desenhada suavemente através de uma série de pontos, conhecida também como curva francesa".

Estes modelos matemáticos foram desenvolvidos inicialmente por Lagrange, Hermite e mais recentemente pelo francês Paul Bézier, que utilizou em 1972 sua formulação no sistema Unisurf, para representar formas complexas de um painel de carro produzido pela empresa na qual trabalhava, a Renault.

Esta foi a primeira utilização de sistemas computacionais para modelamento de superfícies em projetos mecânicos. Atualmente, a formulação proposta por Bézier sofreu algumas alterações, surgindo os modelos B-Spline e a mais recente NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline), permitindo maior manipulação e controle da curva ou superfície gerada, e conseqüentemente, maior versatilidade na representação de formas complexas.

A seguir, encontra-se uma breve descrição das principais metodologias Spline utilizadas para a representação de curvas complexas em sistemas CAD. A representação de superfícies complexas é uma extrapolação do conceito utilizado para a representação de curvas complexas. Todas as metodologias descritas a seguir utilizam-se equações polinomiais paramétricas para a representação das curvas. As variáveis X, Y, e Z estão em função de um único parâmetro.

## 2. Curvas de Hermite

Sendo uma das primeiras representações matemáticas de curvas complexas, Hermite definiu uma curva utilizando uma equação polinomial, dois pontos e dois vetores tangentes que determinam sua forma, como ilustra a Figura 1.

A curva proposta por Hermite é definida por um polinômio e pontos de início e fim, associados a dois vetores, o que permite um controle razoável sobre a curva. A utilização e edição dos pontos e dos vetores tangentes são úteis para o modelamento de formas complexas.



Figura 1: Curva de Hermite

No entanto, utilizando a metodologia de Hermite, os valores dos pontos e as inclinações dos vetores devem ser atribuídos numericamente, dificultando a utilização prática desta técnica.

### 3. Curvas de Bézier

Visando eliminar as inconveniências da formulação de Hermite, Bézier utilizou-se de um polígono para definir a curva, substituindo os pontos e os vetores utilizados por Hermite, como ilustra a Figura 2. Este polígono é aproximado por uma equação polinomial paramétrica, baseado na equação a seguir:

$$P = P_{(u)} = P_1(-3u^3 + 3u^2 + 3u^2 - u^3) + P_2(3u^3 - 6u^2 + 3u^3) + P_3(3u^3 - 3u^3) + P_4(u^3)$$

onde:

P é o ponto da curva (x;y;z) representada pelo polígono P1 à P4,  
U é o valor paramétrico variando de 0 a 1

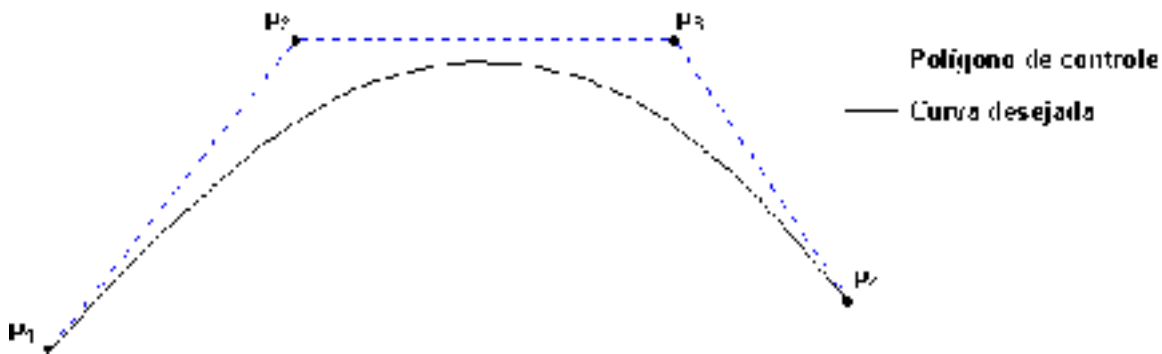


Figura 2: Representação de uma curva através de um polígono de controle

Os pontos do polígono atraem a curva, permitindo manipulações interativas. As modificações na curva são realizadas pela edição dos pontos que definem o polígono de controle. A curva passa pelo primeiro e último ponto e são tangentes ao primeiro e ao último segmento do polígono de controle. Um dos inconvenientes desta metodologia é que apenas permite modificações globais da curva. A alteração de um ponto do polígono, altera-se a curva toda.

Uma evolução das curvas de Bézier é a representação B-Spline, que se utiliza também de uma equação polinomial paramétrica e pode ser considerada como uma generalização das curvas de Bézier, com algumas modificações, permitindo entre outras coisas, representar uma curva utilizando-se um polinômio de baixo grau, facilitando os cálculos computacionais, permitindo também modificações locais da curva.

### 4. Curvas NURBS

Basicamente, a metodologia NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) baseia-se na metodologia B-Spline, acrescentando duas funções principais:

- Non-Uniform: Os vetores (knot) que indicam qual a parcela da curva é afetada por um ponto de controle individual, não são necessariamente uniformes;
- Rational: É possível definir a intensidade (weight) com que cada ponto de controle "atrai" a curva. Além disso, também permite a representação de entidades geométricas



primárias: cilindros, cones, e planos, assim como curvas cônicas, tais como: círculos, elipses, parábolas e hipérboles

Algoritmos NURBS permitem um controle mais apurado sobre a geometria, além da possibilidade de representar uma curva complexa utilizando-se um polinômio de baixo grau. Em síntese, estas características significam que mais fatores de controle podem ser aplicados à curva, de modo que superfícies mais complexas possam ser representadas com um menor número de curvas. Por estas razões, a metodologia NURBS se tornou a mais eficiente para a representação de curvas e superfícies complexas.

### 5. Trajetórias de ferramenta

O método mais utilizado para descrever a trajetória de ferramenta para usinagem de superfícies complexas é a interpolação linear de segmentos de retas, utilizando comandos G01. Existem outras metodologias, como a interpolação circular/linear e interpolações tipo Spline, neste caso, para descrever uma trajetória complexa de ferramenta. Por serem relativamente recentes, estas duas metodologias ainda são pouco estudadas.

O programa NC gerado utilizando um método Spline não irá conter os comandos tradicionais, G01, G02 ou G03, mas uma nova codificação, como ilustrar as linhas de programa a seguir:

```
...
N4 G43 Z27.822 H00
N5 Z11.1
N6 G01 Z-2.075 M08 F4000.
N7 POLY PO[X]=(-2.446 ,-.012 ,.006) PO[Y]=(0,0,0) PO[Z]=(-1.851 ,-.031 ,.012)
N8 PO[X]=(-2.393 ,.005 ,-.001) PO[Y]=(0,0,0) PO[Z]=(-1.643 ,.004 ,-.001)
N9 PO[X]=(4.469 ,4.219 ,-.538) PO[Y]=(0,0,0) PO[Z]=(8.291 ,-1.168 ,-.792) .....
```

Figura 3: Linhas de um programa NC em formato polinomial

A Figura 4 ilustra as três técnicas de interpolações, utilizadas para descrever uma mesma trajetória de ferramenta

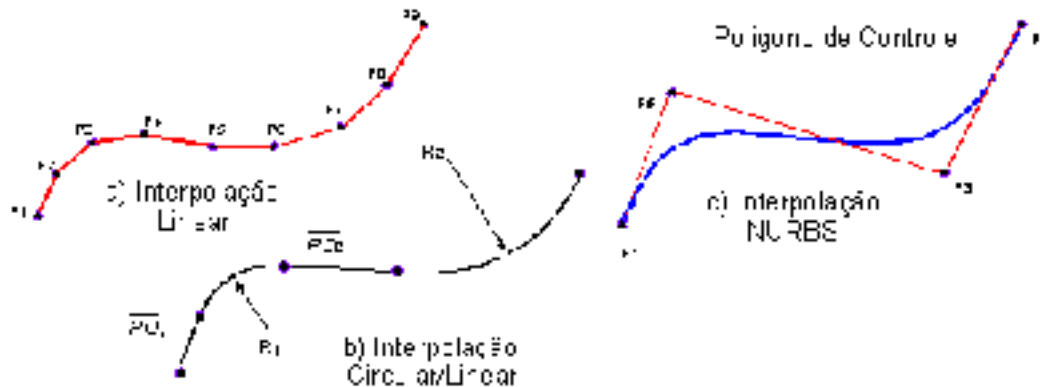


Figura 4: Métodos para descrever trajetórias de ferramenta e geometrias complexas

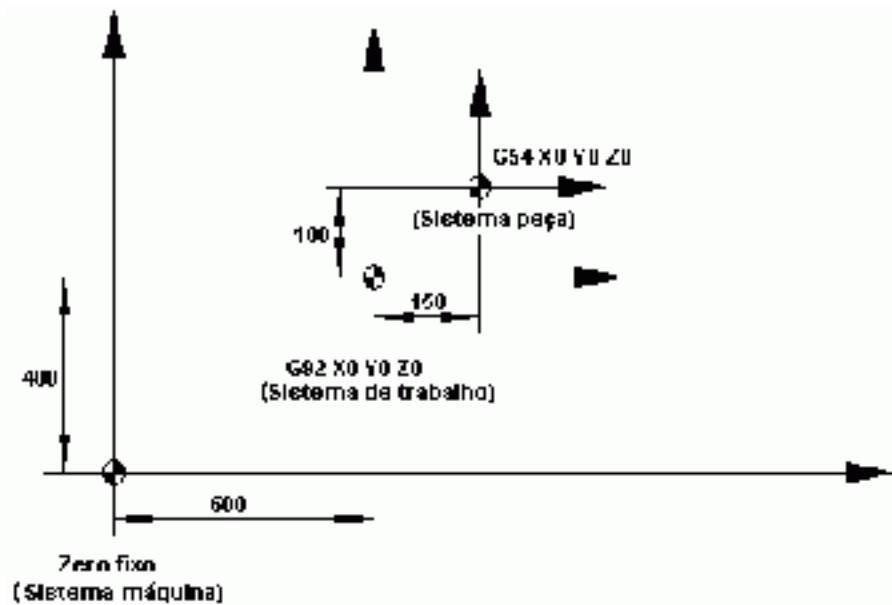
Os dois últimos tendem a propiciar melhores resultados de usinagem, reduzindo o tamanho dos programas NC gerados, com a possibilidade de se trabalhar com maior velocidade de avanço, reduzindo o tempo de usinagem. Outro fator já documentado, é a possibilidade de se obter melhor qualidade na superfície usinagem, utilizando-se interpolações NURBS ou circular/linear.

**MSc Eng. Adriano Fagali de Souza**

Um bom controle CNC possui no mínimo três sistemas de compensação de posição ou de "setagem", sendo que via de regra um é mandatório ao outro, por exemplo:

1) Sistema de trabalho (Work System Compensation), toda máquina CNC em geral tem seu zero

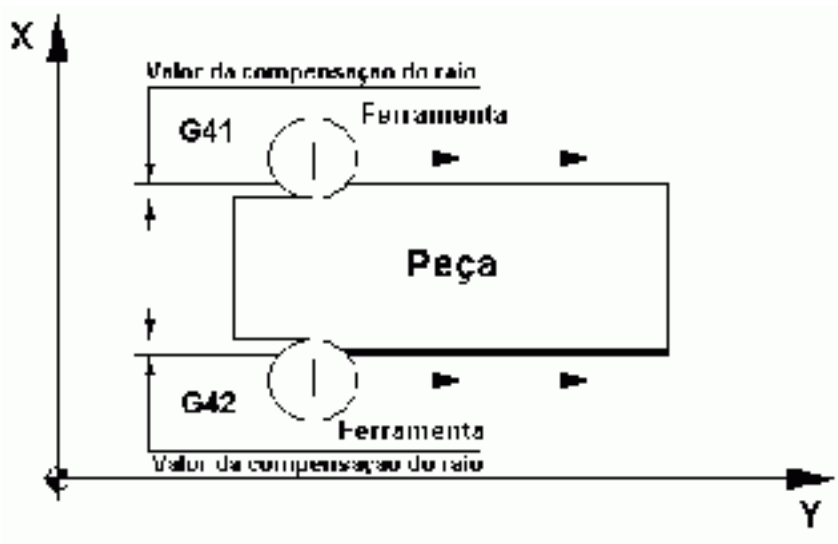
2) Em um nível abaixo do sistema de trabalho, podemos ter o que chamam de sistema peça (Part System Compensation), este é muito usado quando se faz programação manual (MDI manual data input), pois o programador pode sempre recorrer a pontos conhecidos de onde partem certas cotas na peça no sentido de facilitar os cálculos, este sistema peça pode ser definido em varias posições usando-se em geral do G54 a G59 e cancelado pelo G53, quando o G53 é acionado no sentido de desabilitar os sistemas peça, se houver um G92 ativo este ainda será mandatório e a máquina não assumira coordenadas do zero máquina, veja a figura abaixo.



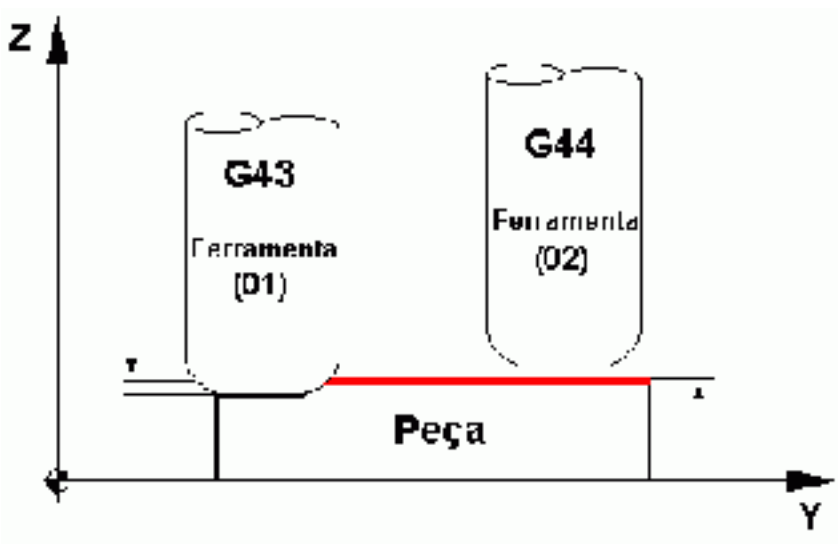
Na figura acima o Código G54 está dizendo que a partir deste ponto as referencias de coordenadas estarão a 150 mm na direção de X e 100 mm na direção de Y a partir do (0,0,0) do G92..

3) Em nível inferior ainda, porém não de menor importância os sistemas de compensação da ferramenta (Tool System Compensation), são dois que agem em conjunto ou não, um que compensa o raio da ferramenta e o outro o comprimento. Em geral para compensação do raio temos o G41 que compensa a ferramenta quando ela corta pela esquerda e G42 pra quando ela corta pela direita para desconsiderar as compensações de raio devemos usar o G40; Com relação ao comprimento da ferramenta usaremos G43 que irá compensar a ferramenta no sentido positivo do comprimento enquanto que o G44 no sentido negativo do comprimento, ao se desabilitar os códigos de compensação de ferramenta estaremos ainda sob domínio das compensações de peça se este existir e assim também em relação ao sistema de trabalho; veja as figuras abaixo

## Compensação do raio.



## Compensação do comprimento da ferramenta.



Para muitas pessoas isso pode parecer muito simples de se entender, porém é comum termos confusões sobre estas informações mesmo entre pessoas com muita experiência em máquinas CNC, pois em geral não se explica a hierarquia nem a lógica de cada um destes sistemas nesta forma.

Existem ainda outras formas de compensação, usada em máquinas CNC de usinagem, como compensação de rotação ou rototranslação, porém são casos mais complexos que serão considerados em ocasião mais oportuna.

## **Uma Nova Visão para Redes Industriais**

Com a popularização da Internet e seu crescimento exponencial, o termo "Rede de Comunicação de Dados", ou simplesmente "rede" torna-se cada vez mais comum no dia-a-dia em geral, e não poderia deixar de estar presente em ambiente industrial. A cada dia surgem novas alternativas para soluções envolvendo máquinas da produção integradas às redes de comunicação, criando mecanismos poderosos de controle, monitoramento, geração on-line de documentação e disseminação dessas informações. Com as tecnologias surgidas das necessidades dos "Internautas", hoje é possível usufruir dessas funcionalidades com segurança, de qualquer parte do globo onde exista um acesso Internet. Como é possível notar, o conceito de que a rede serve apenas para compartilhamento de arquivos e impressoras está bastante ultrapassado. O catalisador dessa mudança em relação à visão de múltiplo uso das redes de comunicação, foi sem dúvida o conceito PC (personal computer). Sem ele não seria possível interligar tantos sistemas de usos tão distintos (desde vídeo conferência até controle numérico), a um custo tão reduzido. Mas assim como os equipamentos vão evoluindo conforme as novas necessidades, as redes de comunicação também devem ser adequadas à essa nova realidade. As aplicações ditas "industriais" em relação a redes, eram outrora codinome de "robustez", pois o ambiente na maioria das vezes é hostil a equipamentos eletrônicos. Atualmente o problema de hostilidade de ambiente possui soluções de prateleira e padrões consolidados, como exemplos a fibra ótica, o cabeamento de par trançado de alta velocidade ou a comunicação sem fio utilizando a tecnologia empregada na comunicação móvel celular. O requisito desempenho torna-se indispensável já que o tráfego de voz, imagem, telemetria e controle em ambiente industrial é hoje uma realidade. Cada vez mais os sistemas necessitam de "disponibilidade de canal", ou seja, como há uma interdependência muito grande entre máquinas que realizam as tarefas, o meio de comunicação deve se apresentar sempre disponível. Chega-se portanto a conclusão de que não é mais possível tratar uma rede de produção como um simples apêndice de uma rede corporativa. A rede da produção (entenda-se máquinas) possui características distintas de priorização, gerenciamento e manutenção em relação ao ramo corporativo (entenda-se rede de escritório). Apenas para ilustrar, um processo de transferência de arquivo entre bancos de dados necessita um bom rendimento da rede, mas a precisão em relação ao tempo de resposta do processo não é tão importante. No caso de um sistema de telemetria e controle, o tempo de resposta é ponto crucial para o funcionamento do sistema.



## **Possíveis Soluções:**

### **Solução Global**

A Solução global seria a separação do tráfego da rede referente à rede corporativa da rede da produção. Essa separação não implicaria de forma alguma em perda de funcionalidade entre os dois sistemas, apenas separando o que é tráfego corporativo isolado no ramo corporativo, o tráfego da produção no ramo da produção, e eventualmente comunicação entre os dois ramos.

Vantagens: grande aumento na capacidade de resposta da rede a sistemas próximos a "real-time" abrangendo grande parte da produção.

Desvantagens: mudança na configuração lógica e física em todos os prédios onde existam sistemas da produção e gerenciamento/controle apurados.

### **Solução Localizada**

A solução localizada seria prover os sistemas que necessitem velocidade, de ramos especiais na rede. A vantagem seria o baixo custo, porém, haveria algumas desvantagens tais como: limite muito pequeno de flexibilidade e de limiar de crescimento.

## **Considerações Finais**

Há a necessidade de revisão nos ambientes de rede, não só do ramo corporativo ou da produção. As aplicações WEB e multimídia tendem a se tornar ferramentas indispensáveis para o aumento da eficiência e velocidade dos sistemas. O sistema cliente-servidor não possui suporte realmente nativo para aplicações WEB e multimídia. Foram feitas apenas adaptações para utilização destas tecnologias. Não é possível depender apenas de um sistema operacional de rede que atenda todas as necessidades ao mesmo tempo. A rede pode apresentar um problema mascarado pela própria capacidade de recuperação intrínseca do sistema. Devido a unidade de tempo envolvida, milissegundos, aparentemente tudo funciona bem, mas essa capacidade de recuperação apresenta pequeno limite de tolerância considerando uma nova gama de aplicações a curtíssimo prazo.

## **Problemas com Sistemas CNC com conexão de rede**

A utilização de plataformas PC em Sistemas CNC é uma realidade. Os grandes fabricantes já a utilizam em seus equipamentos mais sofisticados (Fanuc e Siemens só para exemplificar). Mas é preciso ter em mente que para um CNC a função principal não é a de fornecer um serviço de comunicação de dados veloz. Sendo assim há limitações no uso de conexões de rede para estes equipamentos. Não se pode encarar um CNC como sendo um micro "embutido" em uma máquina. Ele possui funções e requisitos bem diferentes daquele micro que é usado em escritório. Sua confiabilidade também é questionável, basta lembrar as tantas vezes que temos problemas com nossos desktops Windows (travamentos, vírus etc). Alguns sistemas se dizem capazes de utilização e monitoramento remoto de máquinas CNC. Na minha opinião existem detalhes que devemos levar seriamente em consideração. Se o seu processo tolera atrasos da casa de segundos, esses sistemas são aceitáveis, pois nem sempre temos as funções de rede com prioridade, ou seja a rede e o próprio sistema geram atrasos. Se a necessidade é de um monitoramento e controle na casa de centésimos de segundo, não é indicado. Apesar da rede Ethernet estar consolidada como padrão de nível físico de rede, o controle de processos críticos baseado nesta tecnologia ainda é bastante questionável.

Por Osvaldo Norio Ito



# Usinagem de formas complexas:do CAD/CAM ao CNC

Por MSc Eng. Adriano Fagali de Souza

## 1 Manufatura de Superfícies Complexas

A manufatura de superfícies complexas é caracterizada por programas NC extensos e tolerâncias que envolvem o processo, acarretando em inconveniências na manufatura, que podem se agravar quando se utiliza o processo de usinagem em alta velocidade de corte. Para melhor esclarecimento desta etapa produtiva, a seguir encontra-se uma descrição do processo de produção envolvendo a cadeia CAD/CAM/CNC



### 1.1 Criação de geometrias em um sistema CAD

Atualmente as geometrias de produtos são geradas nos sistemas **CAD** fazendo uso de sofisticadas metodologias matemáticas (como **NURBS**, por exemplo), necessárias para satisfazer as exigências do modelamento de formas geométricas complexas. Finalizado o processo de modelamento no sistema **CAD**, tem-se a transferência desta geometria para o sistema **CAM**, visando a geração de programas **NC** para a manufatura.

Para a transferência de dados do sistema **CAD** para o sistema **CAM**, grande parte dos sistemas freqüentemente utilizam uma malha de triângulos gerada sobre a geometria original do **CAD** e que aproxima da representação geométrica real através de uma tolerância definida pelo usuário. Algumas empresas que desenvolvem sistemas **CAD/CAM**, encontraram nesta técnica uma maneira eficiente de se trabalhar. Esta metodologia permite uma comunicação simples e conveniente entre sistemas **CAD e CAM**, pois são apenas transferidas informações por coordenadas cartesianas, permitindo assim uma fácil comunicação entre sistemas **CAD/CAM** de um mesmo fornecedor ou de fornecedores diferentes que, normalmente, são baseados em diferentes modeladores geométricos.

No entanto, neste processo triangularização ocorre a conversão de uma geometria gerada por um modelo matemático, capaz de representar precisamente qualquer forma geométrica, em segmentos de retas. Desta maneira é introduzida a primeira tolerância no processo, como mostra a Figura 1. Quanto menor a tolerância para a triangularização, melhor descrita será a geometria; proporcionalmente, aumenta-se o tamanho dos arquivos e o tempo para cálculo de programas **NC**.

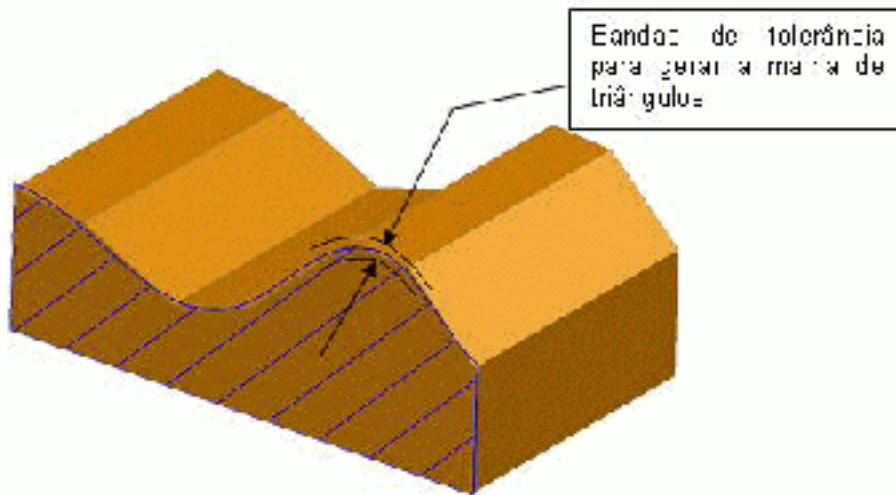


Figura 1: Malha de triângulos gerada para a transferência de dados

A Figura 1 foi criada com um valor elevado de tolerância para ilustrar o fato. Em azul hachurado, está a geometria original do **CAD**, criada por uma função Spline. Em marrom a geometria triangularizada.

## 1.2 Geração de programas NC através de um sistema CAM

A trajetória da ferramenta para a usinagem de uma superfície complexa é gerada pelos sistemas **CAM** através de pequenos segmentos de retas, utilizando apenas os comandos **G01**, de acordo com a norma **DIN 66025**. O comprimento mínimo destes segmentos, não podem ser determinados pelos usuários e está relacionado com as tolerâncias descritas e o grau de curvatura da superfície.

O software **CAM** para o calcular as trajetórias de ferramentas contidas em um programa **NC**, necessita deste outro valor de tolerância. Esta tolerância está relacionada com a exatidão com que a trajetória da ferramenta irá seguir o modelo geométrico proveniente do **CAD**, agora representado por uma malha de triângulos.

Alguns sistemas **CAM** permitem estabelecer através de uma banda de variação, limites de tolerâncias com a possibilidade de desvio da trajetória para dentro e/ou para fora da geometria.

A Figura 2 ilustra uma trajetória de ferramenta calculada sobre um modelo geométrico utilizando um valor de tolerância simétrico, com a ferramenta saindo e invadindo o modelo dentro da tolerância estipulada pelo usuário.

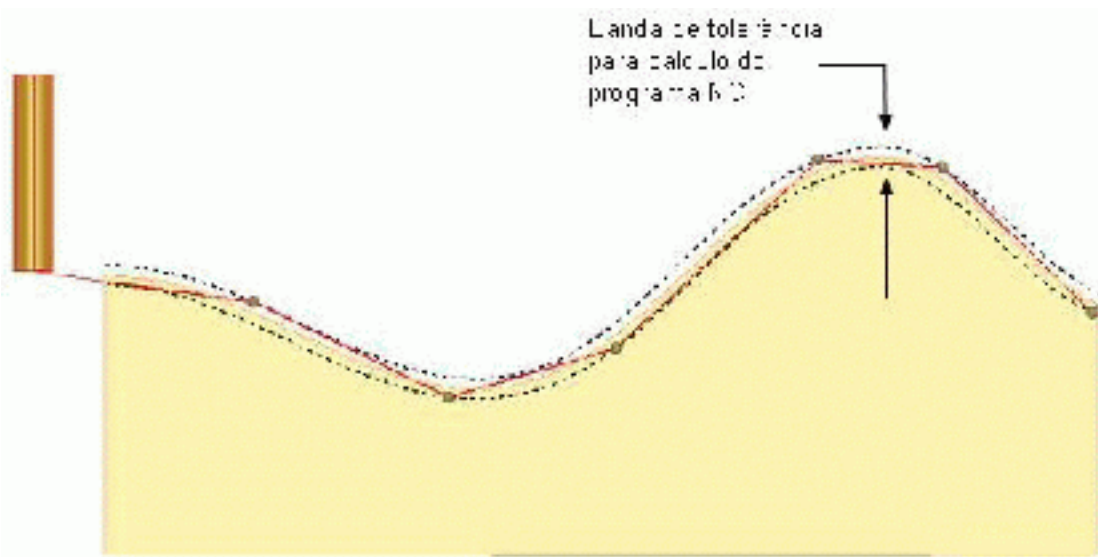


Figura 2: Tolerância da trajetória da ferramenta

Para que se tenha uma qualidade satisfatória e um processo efetivo, o usuário deve estar plenamente ciente destas características citadas acima.

### 1.3 Execução dos programas NC

Depois de gerado o programa **NC** pelo **CAM**, este deverá ser transmitido para a máquina **CNC** para realizar a usinagem. Um programa **NC** é um arquivo em formato **ASCII**, e pode ser transferido de um computador externo para o **CNC** através de cabos seriais, **RS232**, ethernet ou até mesmo por um disquete.

#### 1.3.1 Características do CNC - Tempo de Processamento de Bloco

O Tempo de Processamento de Bloco (**TPB**) é o tempo médio necessário para o controle numérico processar e enviar informações de comando para o acionamento dos servo-motores, e é uma característica do **CNC**. Atualmente encontram-se comandos numéricos com **TPB** a partir de 100 ms até 0,5 milissegundos para os mais modernos.

O comprimento do segmento de reta utilizado para descrever uma parcela da trajetória da ferramenta, em conjunto com o **TPB**, são fatores que limitam a velocidade de avanço da usinagem.

Quando a velocidade de movimentação da máquina relativo a um bloco de comando for maior que a velocidade do comando numérico para enviar novas informações de posicionamento, a máquina chega ao ponto destino e espera os novos comandos para movimentação (Servo Starvation). Embora isto ocorra em frações de segundos, tem-se uma drástica repercussão no acabamento final. Alguns **CNCs** são capazes de reduzir o avanço automaticamente, adequando-se ao **TPB** para evitar problemas de movimentação, desta forma, reduz-se a velocidade de avanço da usinagem.

O **TPB** do comando numérico deve ser menor que o tempo necessário para a ferramenta percorrer o menor incremento de trajetória descrito por um bloco de comando. Supondo que o menor incremento seja 0,3 mm e que o **TPB** seja 8ms, a velocidade de avanço máxima estaria limitada em:

$$Vel. de Avanço = \frac{\text{Comprimento do seg. reta}}{TPB [\text{seg}]}$$

$$Vel. de Avanço = \frac{0,3 \text{ mm}}{0,00135 \text{ s}} = 2250 \text{ mm/min}$$

Portanto, a velocidade de avanço é limitada pelo **TPB** relacionado ao comprimento dos segmentos de retas do programa **NC**. Este é um dos inconvenientes de se trabalhar com interpolações lineares de segmentos de retas para a programação **NC**, agravando-se quando se utiliza comandos impróprios.

Pode-se também citar como desvantagem, o tamanho do programa gerado pela interpolação linear, devido ao grande número de segmentos de retas gerados, visando um bom acabamento.

### 1.3.2 Execução de Programas On-line (Transmissão em Blocos)

Em geral os comando numéricos possuem capacidade limitada de memória para armazenar os programas. Estes, quando utilizados para executar programas maiores que sua capacidade, necessitam fazer uso dos recursos para execução on-line. O **CNC** é conectado a um computador externo através de uma interface padrão, como por exemplo **RS-232**.

Com a utilização de um remote-buffer, o **CNC** é alimentado pelo computador, executa as linhas de comandos, apaga da memória as linhas já executadas e envia sinal para o recebimento de novas informações de acordo com as necessidades. Este processo se repete durante toda a operação em frações de segundos.

Esta velocidade de transferência é quantificada em bits por segundo (baud rate). Cada linha de programa **NC** define um dos pontos cartesianos necessário para descrever os vários segmentos de retas que constituem uma trajetória de ferramenta.

Cada linha de comando tem em geral 24 caracteres para usinagens tridimensionais (X590.029Y234.676Z756.098). Cada caracter é descrito por 11 bits: 7 data bits, 1 start, 2 stop, 1 paridade.

Neste caso, a velocidade de transferência de dados entre o computador e a máquina **CNC** também é um fator que limita a velocidade de avanço a ser utilizada na operação. Quando se trabalha com velocidade relativamente baixa para o avanço, esta taxa de transferência, assim como o **TPB**, não são representativos. Quando a velocidade de avanço supera a capacidade de transmissão, observa-se solavancos na máquina, com descontinuidade na movimentação, resultando em um acabamento de qualidade indesejável, com estrias nas paredes verticais.

#### Exemplo de cálculo destes parâmetros:

- Média de 16 caracteres por linha (usinagem 2 ½ eixos).
- 11 bits por caracter.
- Portanto, 176 bits para cada linha de comando.
- Velocidade de avanço: 3.600 mm/min = 60 mm/seg.
- Comprimento médio entre das retas que compõe a trajetória da ferramenta: 0,3mm.
- Cálculo da velocidade de transmissão necessária, em função da velocidade de avanço e do comprimento dos segmentos de retas:

$$Vel. \text{ necessária} = \frac{Vel. \text{ de Avanço [mm/seg]} \times N. \text{ Dists. linha}}{Log. \text{ do rota [mm]}}$$

$$Vel. \text{ necessária} = \frac{60 \text{ mm/seg}}{0,5 \text{ mm}} \times 116 \text{ bits} = 32200 \text{ bits/seg}$$

Alguns **CNCs** modernos já são capazes de minimizar estes problemas, fazendo uso de um disco rígido incorporado ao **CNC** com grande capacidade de memória; Block Buffer, capaz de armazenar blocos de comandos processados; e interfaces Ethernet para transferência de programas com altíssimas taxas de transmissão; entretanto, muitas máquinas capazes de trabalhar com velocidades relativamente elevadas, ainda não estão equipadas com estas funções.

## 2 Utilização de NURBS no Processo CAM/CNC.

Atualmente está em desenvolvimento a utilização da representação matemática utilizando **NURBS** também para gerar o percurso da ferramenta, substituindo desta maneira as interpolações lineares e os comandos **G01**, para o caso de superfícies complexas. Este tipo de representação pode substituir um grande número de segmentos de retas com uma única sentença.

Para completar o ciclo **CAD/CAM/CNC** utilizando **NURBS**, necessita-se um sistema **CAM**, tanto quanto um comando numérico, capazes de gerar e interpretar dados em **NURBS**.

Atualmente, alguns sistemas CAM são capazes de gerar programas NC interpolados por NURBS e existe no mercado comandos numéricos capazes de interpretar estes programas.

Pode-se obter as seguintes vantagens:

- " redução de até 60% do tamanho dos arquivos;
- " redução do problema de Tempo de Processamento de Bloco, fator limitante da velocidade de avanço na usinagem de acordo com o **CNC**, uma vez que cada linha de comando representa um percurso relativamente longo da ferramenta;
- " melhor acabamento superficial;
- " Redução do tempo efetivo de usinagem da ordem de 3 a 4 vezes, permitindo uma melhor manipulação das acelerações e desacelerações em caminhos complexos, desta forma, o avanço real se aproxima do avanço programado.

A bibliografia sobre o assunto apresenta opiniões contraditórias ao uso de programas **NC** interpolados por **NURBS**. Entre os argumentos destacam-se a evolução dos comandos numéricos com a possibilidade de aumento substancial de memória, além da alta capacidade de processamento de bloco.

Alguns dos comandos numéricos atuais são capazes de interpretar dados interpolados por **NURBS**, mas deve-se destacar que cada um destes tem sua forma particular de receber as interpolações **NURBS**, variando a sintaxe, o grau de polinômio da equação, etc. Desta forma, o sistema **CAM** deve estar apto a pós-processar o programa **NC** para um específico **CNC**.

Existem no mercado comandos numéricos que geram interpolações **NURBS** a partir de programas gerados por interpolações lineares. O programa introduzido deve conter comandos **G01**, e o **CNC** faz automaticamente a conversão. Neste caso, introduz-se mais uma tolerância no processo

## Simulação de programas CNC

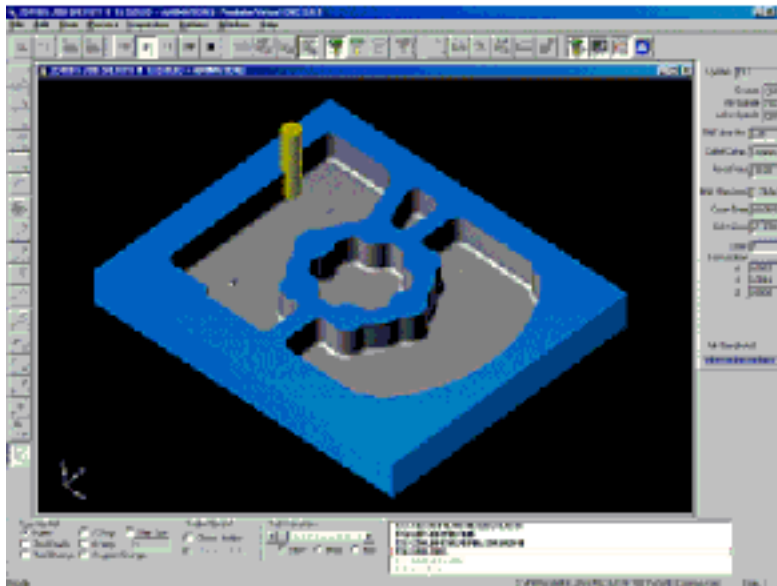
Por Anderson Yoshizato

Indústrias fabricantes de componentes usinados e fornecedores de moldes e matrizes que necessitam desenvolver programas CAM são os principais usuários das ferramentas de simulação.

Devido à elevada complexidade das peças a serem fabricadas, do incremento das velocidades de avanço e acelerações das máquinas CNC e das exigências na redução do ciclo de desenvolvimento do produto, faz-se necessária a verificação prévia dos programas gerados por meio de ferramentas computacionais, como meio de se evitar possíveis danos ao equipamento e/ou ao seu operador.

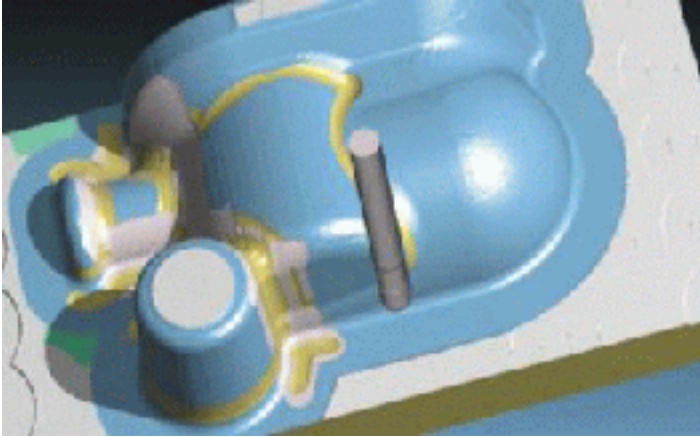
Há algum tempo, quando os recursos computacionais não eram tão acessíveis, a verificação e validação dos programas gerados eram analisados utilizando poliuretano ao invés da matéria-prima original, o qual era usinado diretamente sobre o equipamento. Tal metodologia implicava num gasto com material (matéria-prima de simulação), tempo não-produtivo de máquina e operador e tempo de análise do programador.

Com a disponibilidade de recursos computacionais e com o grande desenvolvimento de softwares gráficos, tornou-se possível otimizar a atividade de simulação reduzindo o tempo de simulação e análise, bem como, minimizando as chances de erros.



Existem basicamente dois tipos de simulação de programas CNC com ferramentas computacionais. Um primeiro tipo limita-se a checar a trajetória da ferramenta sobre a peça, possibilitando ao programador CNC verificar as dimensões de seu produto, checar contatos indevidos entre a ferramenta e a peça e ainda analisar as estratégias de usinagem adotadas. Um outro tipo de simulação permite ao programador visualizar mais detalhes à respeito da dinâmica do conjunto Máquina-Peça, possibilitando a verificação de possíveis colisões entre os componentes do conjunto de acordo com as trajetórias definidas pelo programa CNC.





Vericut

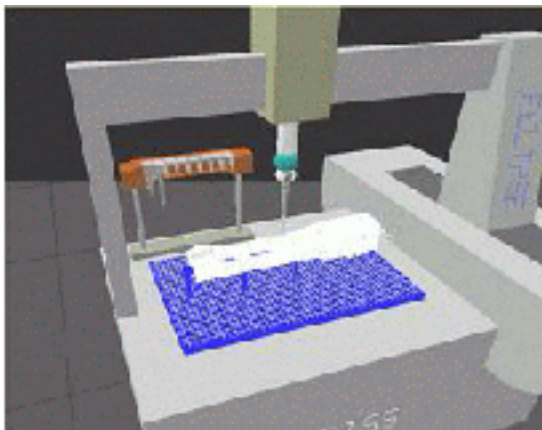
Há no mercado diversos produtos que realizam este tipo de trabalho, dentre os quais podem ser citados o Vericut (CGTech - [www.cgtech.com](http://www.cgtech.com)), o Virtual NC (Delmia Solutions - [www.delmia.com](http://www.delmia.com)), Predator Virtual CNC (Predator Software - [www.predator-software.com](http://www.predator-software.com)), etc.

As simulações que visam a verificação de trajetórias de ferramentas são indicadas para peças de baixa complexidade (peças de até 3 eixos) ou para verificar rapidamente alguma trajetória programada, mesmo que o programa não tenha sido pós-processado.

As simulações que visam verificar, além da trajetória da ferramenta, a dinâmica do conjunto Máquina-peça são importantes para validação de programas CN de geometrias mais complexas (mais que 3 eixos) e imprescindíveis na validação de programas para equipamentos High Speed.

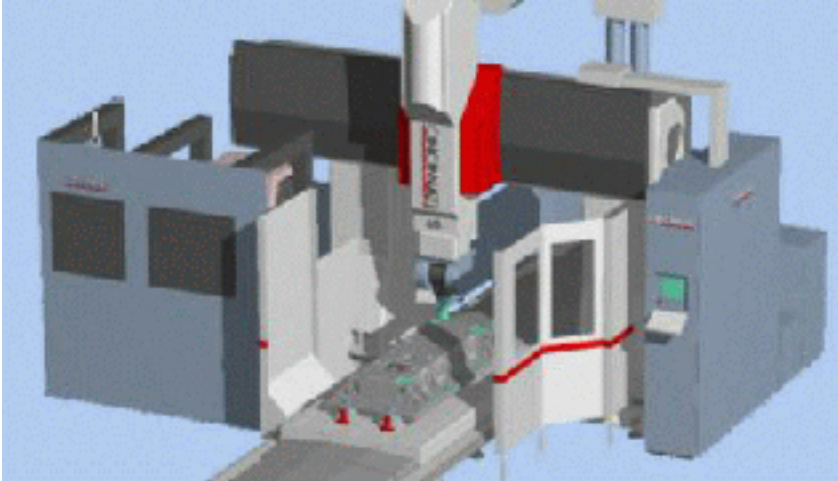
Na simulação de Máquinas CNC, as condições de fixação e posicionamento devem espelhar a realidade e todos os elementos que podem ter contato devem ser modelados detalhadamente.

O programa a ser checado deve ser o mesmo que é enviado à máquina; desta forma pode-se verificar se houve alguma falha durante a programação CAM ou mesmo durante o pós-processamento do programa.



Virtuan Numeric Control (VNC) by Delmia





Vericut- Machine Sim

## Introdução a High Speed Machining

Por Eng. Daniel F. M. Krabbe

**O que é Tecnologia High Speed Machining (H.S.M.) para o Alumínio?** Como já é de atual conhecimento de vários Engenheiros e Técnicos que atuam em setores ligados a usinagem em nosso País e também já fora definido por diversos autores, a definição de High Speed Machining ou usinagem em alta velocidade de corte pode ser descrita como a usinagem de materiais com gamas de velocidade de rotação e taxa de avanço bem acima das faixas normalmente utilizadas e é função dependente do material a ser usinado. Para o caso do alumínio como para alguns outros materiais não ferrosos, uma outra definição para High Speed Machining pode ser encontrada ou descrita como sendo a de se usinar tão próximo à frequência de ressonância da máquina. Um conceito para efetividade ou rendimento para uma determinada usinagem pode ser descrita como encontrar a perfeita combinação entre "rotação", avanço e profundidade de cortes tão próximas quando se comparadas à mesma usinagem um pouco abaixo a frequência de ressonância.

### Aplicações High Speed Machining na usinagem de Ligas de Alumínio.

A operação de desbaste de alumínio é possível conciliando a tecnologia de corte, o limite da operação de desbaste e a potência diferida no eixo de rotação (spindle) da máquina. A condição ótima para se usinar ligas de alumínio é com velocidade de corte ao redor de  $4000 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$  (na literatura encontramos para a velocidade de corte o range compreendido entre os valores de  $2000$  a  $5500 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$  e taxas de avanço compreendidas entre  $2000$  e  $19000 \text{ m} \times \text{min}^{-1}$  para o alumínio). Uma típica aplicação de HSM é a usinagem de pockets e paredes finas em geometrias semelhantes a "colméias". A usinagem HSM oferece alta qualidade superficial em combinação com alta taxa de remoção de material na operação de acabamento. A usinagem de peças com geometrias semelhantes a colméias só se é possível reduzindo-se a profundidade de corte e dividindo-se a operação em dois ou mais passos, sem desvantagens quando comparadas a usinagem convencional. Pela redução da profundidade de corte, os esforços de corte são reduzidos e uma melhor qualidade dimensional é relatada. Usinando-se em dois passes aumenta-se consideravelmente a exatidão dimensional em comparação a se usinar em um único passe. Dividindo-se a usinagem em mais do que dois passes, não se aumenta a exatidão dimensional significativamente. Na indústria de aviação, componentes complexos com 90% de taxa de remoção de material e pockets profundos são usinados. Já existe em nosso país, linhas de pesquisa na usinagem de paredes finas para 1mm de espessura e 70 mm de altura para a indústria de aviação.

### Eixo de rotação (SPINDLE) e fixação do porta ferramentas (TOOL HOLDER)

Um dos mais importantes componentes de uma máquina ferramenta é o "spindle". O resultado da usinagem em alta velocidade depende decisivamente da interface formada entre a ferramenta, tool holder e o sistema de acoplamento na máquina devendo ser desenvolvidos para trabalharem dentro de condições severas. O sistema de fixação deve garantir não só a troca rápida de ferramenta como também as funções de alta performance e garantir a exatidão dimensional após várias trocas. É de vital importância que atentemos para os seguintes fatos:

Balanceamento, batimento, concentricidade e alta tolerância de forma e posição, reduzindo assim a influência da força centrífuga causada pela distribuição não uniforme de pequenas massas e desvios radiais. Na figura 1.4 podemos observar o efeito do desbalanceamento causado entre o porta ferramenta (tool holder) e o sistema de fixação e giro do porta ferramenta (spindle) de uma máquina HSM onde o sistema de fixação expande mais que o porta ferramenta, conseqüentemente o porta ferramenta é axialmente deslocado pela força de aperto (clamping force) e adicionalmente as superfícies de contato são diminuídas. A transmissão de torque é então afetada e o centro da ferramenta não é mais garantido.

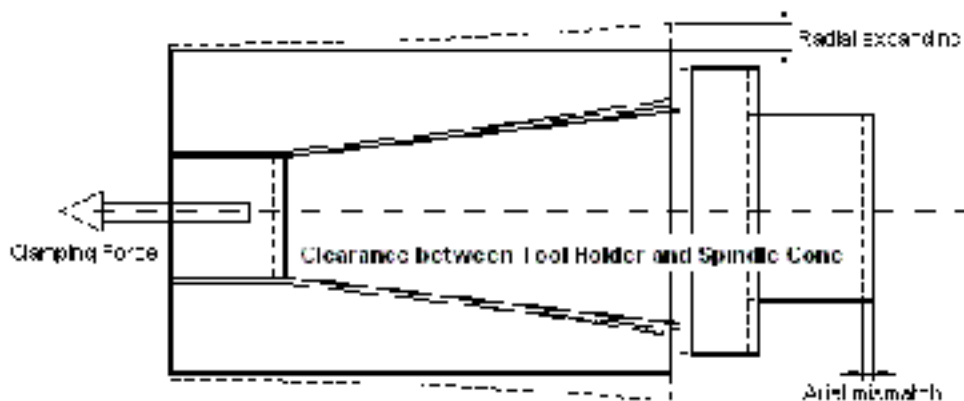


Figura 1.4A - Efeito do desbalanceamento entre o porta ferramenta e o sistema de fixação.

Como sistemas de fixação pode-se citar como os mais recomendados os mandris por fixação térmica (shrinker, figura 1.4B) e os por fixação hidráulica (figura 1.4C)



figura 1.4B - Mandril por fixação Térmica



figura1.4C Mandril por fixação hidráulica

Cada um apresenta vantagens e desvantagens durante um processo de usinagem, devendo ser destacadas como principais características:

- **Mandril por Fixação Térmica (shrinker)** - É o sistema de fixação onde se tem por objetivo teórico, ferramenta e "tool holder" unidos em um corpo só. Consiste basicamente em se aquecer previamente o cone de fixação do "tool holder" em um dispositivo apropriado, em condições térmicas pré estabelecidas, tendo-se com isto, a dilatação do furo de encaixe da ferramenta. A ferramenta é inserida neste furo (ferramenta em temperatura ambiente) e faz-se então o resfriamento do conjunto fixando-se assim a ferramenta. Para se retirar a ferramenta, aquece-se novamente o conjunto e por diferença de dilatações térmicas do "tool holder" e ferramenta, pode-se retirá-la.

**Pontos positivos:**

- \* Por não possuir partes móveis ou dispositivos assimétricos, é por concepção bem balanceado
- \* Permite taxas de avanço e rotações altas, devido ao baixo grau de desbalanceamento e sistema rígido de fixação

**Pontos negativos:**

- \* Requer um mandril para cada ferramenta, devido a fixação ser feita sem elemento intermediário (bucha)
- \* Não pode ser "utilizado" para fixar ferramentas de aço rápido (estas não recomendadas para HSM, mas devido ao fato de ainda não se ter no mercado uma grande gama de ferramentas de metal duro com perfis especiais quando comparadas ao HSS, existem ainda alguns casos onde podem ser utilizadas), devido as mesmas terem coeficiente de dilatação diferente e baixa tolerância dimensional ao comparada com a de metal duro.
- \* Necessita de um dispositivo de aquecimento para se dilatar termicamente o tool holder e assim, fixar a ferramenta.

- **Mandril por Fixação Hidráulica** - Este sistema de fixação consiste em se ter no "tool holder" na região de encaixe da ferramenta, uma câmara vedada preenchida por óleo. A fixação da ferramenta é realizada quando se rosqueia um parafuso alojado no corpo do tool holder, e este, ao ser rosqueado, pressiona o volume interno de óleo contra as paredes da câmara e esta, podendo-se dilatar somente na região da ferramenta (similar a uma pinça), dilata-se, fixando-se assim de forma equalizada, a ferramenta. Para se soltar a ferramenta, faz-se o processo inverso.

- **Pontos positivos:**

- \* Pode-se utilizar um elemento intermediário de fixação (bucha), evitando assim um mandril para cada ferramenta
- \* Possui grau de balanceamento razoável, devido ao maior número de elementos de fixação. Tem como principal limitante, rotações acima de 12000RPM.
- \* Fácil montagem da ferramenta, devido a fixação da ferramenta ser realizada somente por um parafuso de aperto

**Pontos negativos:**

- \* "Limite" de rotação acima de 12.000RPM
- \* Não deve se usinar com taxas limite de avanço para a ferramenta, devido a "não rigidez da fixação" entre ferramenta e mandril.

**Potência no Spindle (Ps)**

A potência no Spindle de uma máquina limita a quantidade de material a ser removido em operações de desbaste ( $\text{mm}^3 \times \text{min}^{-1}$ ) e é considerado item fundamental para escolha ou não de uma máquina. Os programadores de usinagem CNC, visando uma usinagem á máximo rendimento do conjunto máquina/ferramenta, devem estar sempre atentos a esses valores e devem conhecer a curva de potência/torque do spindle, verificando se o mesmo fornece a potência calculada para a rotação desejada. No fresamento, essa potência pode genericamente ser calculada através da seguinte expressão:

Onde  $K_c$  é a Força específica média, variando de 0.76 a 0.9 ( $\text{N} \times \text{mm}^{-2}$ ) para o alumínio  
No fresamento de materiais dúcteis, de todos os ângulos de corte, o que mais influencia a força específica de corte ( $K_s$ ) é o ângulo de saída ( $\phi$ ). Temos também uma pequena influência do ângulo de inclinação ( $\alpha$ ), porém, devido a própria variação causada pelo ângulo de saída, este pode ser desconsiderado para efeito de cálculo.

O valor de  $K_s$  aumenta a medida que o ângulo de saída ( $\phi$ ) é aumentado. KIENZLE sugere um aumento ou diminuição de 1 a 2 % no  $K_s$  para cada diminuição ou aumento de  $1^\circ$  do ângulo de saída ( $\phi$ ), respectivamente. Esta influência não está fortemente presente na usinagem de materiais frágeis, como o ferro fundido, pois quando usinados, têm uma deformação muito pequena antes da ruptura.

**Cobertura em ferramentas para usinagem do Alumínio.**

Um dos itens ainda em debate entre os engenheiros de aplicações de empresas aeronáuticas (basicamente usinagem de ligas alumínio-zinco) é sobre a necessidade ou não de ferramentas recobertas, principalmente as recobertas com camadas que possuem titânio (TiC, TiCN, TiN). Podemos citar abaixo os motivos deste não consenso:

Fatores contra a cobertura:

- \* Comprimento cilíndrico da aresta principal de corte e raio de canto da ferramenta ("cilindrical land width, cylindrical length, etc.). É de extrema importância para a usinagem do alumínio que se tenha uma aresta de corte afiada como também um "comprimento cilíndrico" ao longo da aresta principal de corte e um arredondamento no raio da ferramenta, reduzindo a vibração. Este comprimento/arredondamento possui dimensões extremamente "apertadas" e são padronizados segundo a norma N.A.S.986. A adição "simples e pura" destas coberturas iria alterar a geometria da ferramenta e respectivamente seu comportamento durante a usinagem.

- \* Classe do "Metal Duro" - teríamos por "teoria" a classe "P" para a usinagem do alumínio visto que esta, entre outros fatores, é indicada para materiais dúcteis e formadores de cavaco "em fita", entretanto faz-se a escolha da classe "K" devido ao fato da classe "P" conter o elemento carbeto de titânio em sua composição e este combinar quimicamente com o alumínio durante a usinagem.

- \* A vida de uma ferramenta de metal duro em "Velocidade de Corte" entre 700 e 1300  $\text{m} \times \text{min}^{-1}$  varia de 600min a 1300min, dependendo do "fabricante" da ferramenta, sendo que o critério de fim de vida está mais relacionado a vibrações e rugosidade superficial da peça do que propriamente as dimensões dos desgastes da aresta de corte.

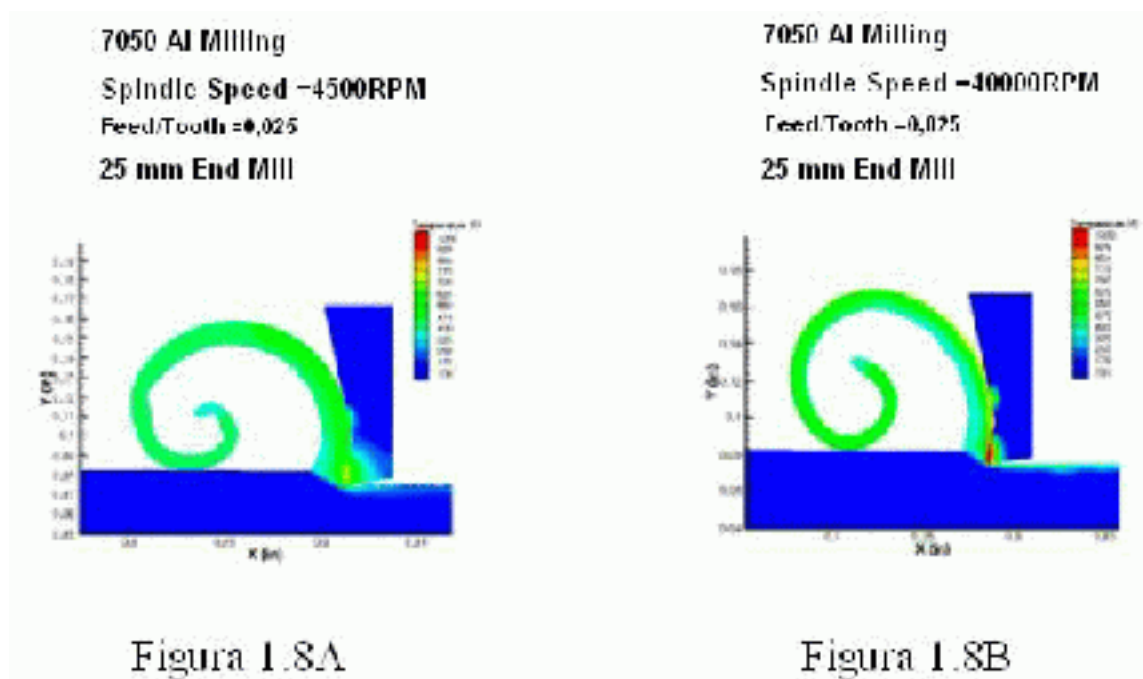
- \* Fluido de corte - tem-se exemplos onde a alteração do fluido de corte fez com que alguns fenômenos de oxidação da ferramenta em regiões próximas a aresta de corte e em Velocidades de Corte superiores a 1300  $\text{m} \times \text{min}^{-1}$  a altas taxas de remoção de material (objeto do nosso trabalho) não se repetissem ou não foram notados visualmente.

Fatores a favor:

- \* Fatores "tribológicos" entre a cobertura e material da peça como também a estrutura cristalina desta cobertura, faz com que esta se comporte de maneira mais estável na usinagem
- \* Coberturas de diamante PVD são atualmente possíveis porém deve-se fazer análises técnicas e econômicas para seu uso.
- \* Outros tipos de cobertura estão sendo desenvolvidas no mercado e podem ser testada.

### VIDA DA FERRAMENTA

Para se realizar com êxito uma usinagem rentável usando baixa profundidade de corte, tanto avanço quanto rotação devem ser ampliadas. Uma grande preocupação surge com relação a vida da ferramenta, entretanto, muitos estudos tem concluído que se pode usinar alumínio com taxas maiores, sem se sacrificar a vida da ferramenta. Uma explicação, talvez pode ser inferida ao compararmos as figuras 1.8A e 1.8B , onde as figuras representam um ensaio comparativo entre uma usinagem convencional (1.8A) e uma High Speed (1.8B), sendo mantidas como constantes a profundidade de corte e o avanço por dente. Esta figura mostra um acréscimo na temperatura na região próxima a aresta de corte da ferramenta, entretanto o valor máximo alcançado não é suficiente para alterar significativamente a vida da ferramenta.



As figuras 1.8A e 1.8B - Comparação de temperatura na ferramenta entre uma usinagem convencional e outra em HSM, utilizando uma fresa de topo de 25mm, avanço por dente (fz) de 0.025 inches/dente.

### Estratégia de corte.

Devido aos novos parâmetros de geometria que a usinagem HSM veio proporcionar à indústria aeronáutica, pode-se considerar como principais itens para a manufatura desses componentes:

- \* a habilidade do programador;
- \* a utilização de softwares de programação, simulação de usinagem e simulação de máquina, sendo este último utilizado principalmente para máquinas HSM de quatro eixos ou mais.
- \* parâmetros de usinagem adequados.

Os fabricantes de máquinas ferramentas assim como os fabricantes de ferramentas tem auxiliado sobre o tipo de estratégia e parâmetros de corte (muitos dos mesmos bem conservadores) que devem ser usados a princípio para a montagem da estratégia de usinagem, os quais devem ser citados:

- \* usar ferramentas as mais curtas possíveis. Uma relação ideal é de até três vezes o seu diâmetro;
- \* remover maior quantidade possível com uma fresa curta, método de usinagem em degraus para depois troca-lá por outra próxima de comprimento maior;
- \* nas cavidades desbastar e acabar por planos, interna e externamente sempre que possível;
- \* usinar com sentido de corte concordante;
- \* interpolação circular nos cantos, nas entradas e saídas da ferramenta, se possível;
- \* usar refrigeração interna nas ferramentas;
- \* usar relação 50/50% ( $A_e/A_p$ ) para a profundidade radial e axial. Para essa regra existem exceções e ao se determinar a profundidade de corte, deve-se analisar o comprimento da ferramenta que está em externo a fixação (overhang - figura 1.8)

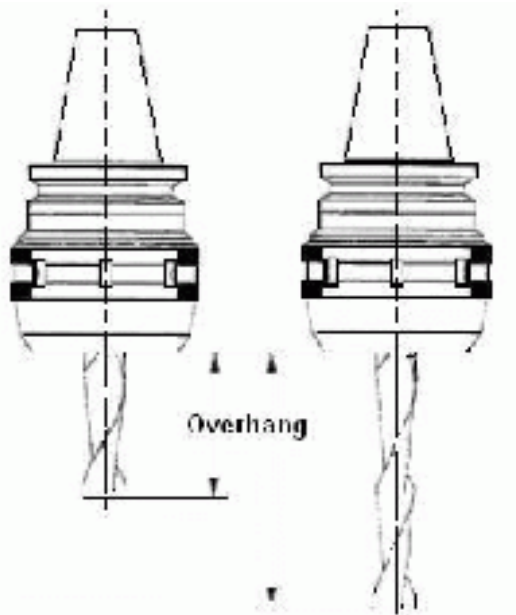


Figura 1.8: comprimento da ferramenta externo a fixação (overhang )

Uma boa recomendação da profundidade de corte, segue a seguinte regra:

Comprimento (overhang) Profundidade de Corte ( $a_p$ )

1~2 diâmetros 50 % do diâmetro

3 diâmetros 33 % do diâmetro

4 diâmetros 25 % do diâmetro

5 diâmetros 20 % do diâmetro

Para ferramentas cujo comprimento exceda 5 vezes o diâmetro, tem se como recomendação a utilização de parâmetros convencionais



## Tempo inverso (Inverse time)

Por Américo Luiz de Azevedo

O movimento de um ou mais eixos em máquinas CNC inclui pelo menos três modalidades de avanço.

Por exemplo:

- G93 indica que os valores de F (avanço) devem ser considerado em tempo inverso "Inverse Time".
- G94 indica que os valores de F (avanço) devem ser considerado em milímetros por minutos.
- G95 indica que os valores de F (avanço) devem ser considerado em avanço por dente.

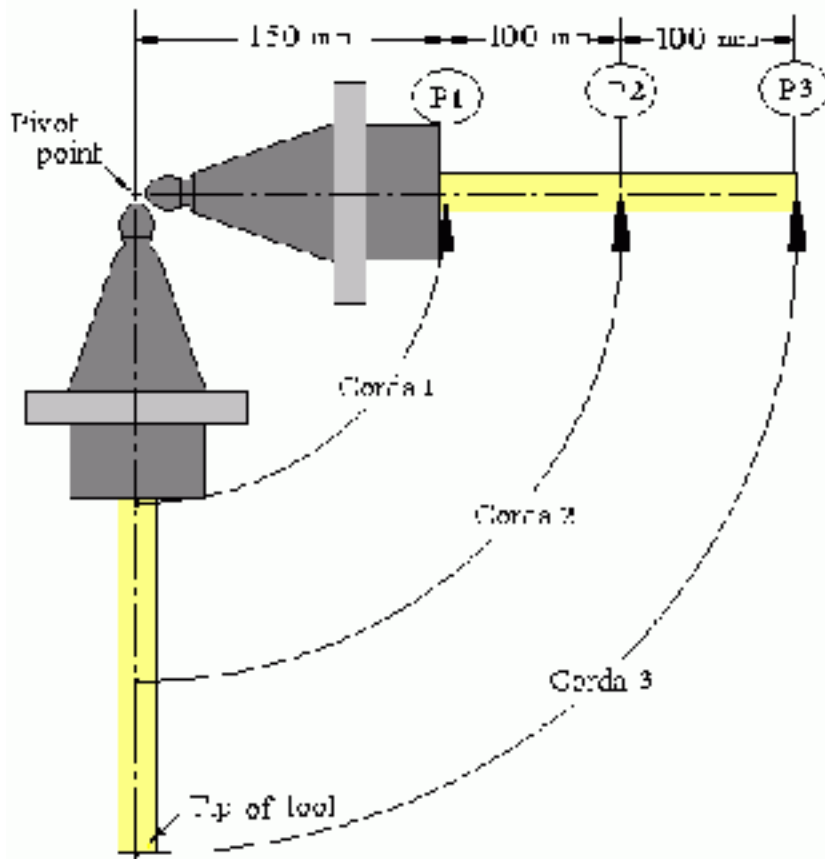
Quando um movimento programado requer movimentar múltiplos eixos lineares, os eixos movem-se simultaneamente ao longo de um vetor na direção do ponto inicial para o final deste movimento, a taxa de avanço para cada eixo é selecionada automaticamente pelo controle de tal maneira que o avanço informado no bloco se dê neste vetor.

### **Este tópico tratará especificamente sobre o avanço que atua com o código G93 (Inverse time)**

Tempo inverso é na realidade um modo de informar ao controle CNC qual parte da ferramenta deverá ter o avanço estipulado pelo programador, pois, quando o programador está desenvolvendo o programa CN no CAM ele estipula o avanço em "mm/min." ou "pol/min.", Porém, em geral o CAD/CAM não sabe em caso de usinagem que envolve eixos giratórios e lineares onde estará a ponta da ferramenta em relação ao centro de giro.

No exemplo abaixo poderemos perceber que em caso de movimento giratório cada ponto da ferramenta desenvolve uma velocidade





Perceba que se uma ferramenta como esta, executar um movimento do tipo giratório de 90 graus, e este movimento demorar 4 segundos, cada ponto dela terá uma velocidade, vejamos como se calcularia estas velocidades:

#### **Cálculo do valor da distancia percorrida de cada ponto da ferramenta.**

O perímetro de uma circunferência mede  $R$ , como o movimento dos pontos é apenas 90 graus teremos que a distancia percorrida de cada ponto é  $R/4$ ; assim teremos:

$$\text{Corda 1} = 3,14 \times 150 / 4 = 117,75 \text{ mm}$$

$$\text{Corda 2} = 3,14 \times 250 / 4 = 196,25 \text{ mm}$$

$$\text{Corda 3} = 3,14 \times 350 / 4 = 274,75 \text{ mm}$$

Cálculo da velocidade de cada ponto.

$$V(P1) = 117,75 / 4 \hat{=} V(P1) = 29,438 \text{ mm/s}$$

$$V(P2) = 196,25 / 4 \hat{=} V(P2) = 49,063 \text{ mm/s}$$

$$V(P3) = 274,75 / 4 \hat{=} V(P3) = 68,688 \text{ mm/s}$$

Isto significa que no modo de tempo inverso se FRN (Feed Rate Number) for igual a  $F1/4s \hat{=} F0,250$  a velocidade na ponta desta ferramenta será de aproximadamente 69mm/s

O código G93 indica ao controle que o método de avanço descrito em "F" a partir dele será entendido como interpolado no método do tempo inverso, ou seja, os valores que aparecerem após o F deverão ser entendido como o inverso do tempo para se executar o bloco na máquina em segundos.

Exemplo: Se um bloco for executado em 20 segundos o valor que aparecerá após o F será = 1/20, ou seja, "F0,05"

O G93 poderá estar ativo em quaisquer situações a seguir, tais como: Um movimento comandado pelo modo G01, um movimento rotativo (dos eixos A, B ou C) ou ainda a qualquer combinação destes movimentos ou um movimento em movimentação circular em G02 ou G03.

### **A seguir uma lista de regra sobre o uso do código G93.**

1) O G93 é cancelado:

a) Pelo programa:

- G94 , ativação do código de avanço por minutos.
- G95 , ativação do código de avanço por dente;
- M02, código de fim de programa;
- ":", pelo sinal de dois pontos que também indica fim ou início de um programa

b) Quando se desliga o controle. Ao se ligar novamente o código que estará ativo será o G94, pois este é o código Default para o modo de avanço.

c) Por um Reset no sistema.

2) Um novo F deverá ser programado sempre que o valor do tempo inverso for modificado não sendo obrigatório se este permanecer, ou seja, o valor de F deve ser considerado como modal.

Em geral os valores de FEEDRAT para op G93 deverão estar entre 0,001 e 9999.999 dependendo da marca e modelo do comando.

Os valores de F podem ser calculados com a seguinte formula:

$$F = \frac{V}{60 \cdot SL}$$

Onde:

- V= velocidade em Polegadas ou Milímetros;
- SL (Span Length) = Distancia do centro de giro a ponta da ferramenta em caso de pelo menos um movimento de eixos angular ou distancia percorrida pela ferramenta em caso de movimentos em 3 eixos lineares ou menos.

As chaves para a formula anterior:

- Poderia estar em encontrar a distancia entre ponto inicial e final da movimentação para um eixo linear.

$$SL=DX$$

Ou a distancia entre os pontos iniciais e finais poderia ser a distancia de movimentação entre a diagonal de um retângulo para dois eixos lineares

$$SL = \sqrt{DX^2 + DY^2}$$

Ou a distancia entre os pontos iniciais e finais poderia ser a distancia de movimentação entre a diagonal de um paralelepípedo para três eixos lineares.

$$SL = \sqrt{DX^2 + DY^2 + DZ^2}$$

Nota:

- Quando em modo G93 não se pode usar ciclos fixos do G81 ao G89.
- A letra "D" quer dizer delta (ou seja, a distancia entre os pontos iniciais e finais)

#### Cálculo do FRN (Feed Rate Number)

$$FRV = \frac{F}{60000} \Rightarrow FRN = \frac{\frac{F}{60000}}{\frac{1}{60000}} \Rightarrow FRV = \frac{F}{min} \cdot \frac{1}{60000} \Rightarrow FRN = \frac{1}{segundos}$$

Para calcular o FRN, determine a distancia a ser cumprida pela ferramenta no determinado bloco (SL) como descritos acima, considerando que o movimento será em Y (eixo linear) e B (eixo Angular).

$$SL = \sqrt{DY^2 + BSL^2}$$

Onde:

- DY= distancia percorrida no eixo Y;
- BSL (B Span Length) = Distancia percorrida pelo eixo B.

O cálculo de BSL é igual ao comprimento do arco definido pela rotação do ponto de contato da ponta de ferramenta até o centro do giro do arco; e pode ser definido pela seguinte formula.

$$BSL = R(0,01745B_1)$$

Onde:

- 0,01745 = constante para converter graus em radianos.
- R = Raio de corte (Centro de giro até ponta da ferramenta).
- B1 = Ângulo de rotação em centésimo de graus.

#### Veja abaixo um exemplo numérico:

- Distancia entre o centro de giro e a ponta da ferramenta = 100.000mm
- Avanço programado = 1000mm/min
- Posição (1) inicial: X100.000 Y 0.000 Z200.000 B 0.000
- Posição (2) final : X100.000 Y50.000 Z200.000 B20.000
- Distancia percorrida pela ponta da ferramenta:  
X=0mm ; Y=50mm; Z=0mm e B=20 graus.

Considerando as formulas, teremos:

$$\begin{aligned}
 BSL &= R(0,01745 \text{ P}) \\
 &= 210 \times (0,01745 \times 20) \\
 &= 210 \times 0,349 \\
 &= 67,80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

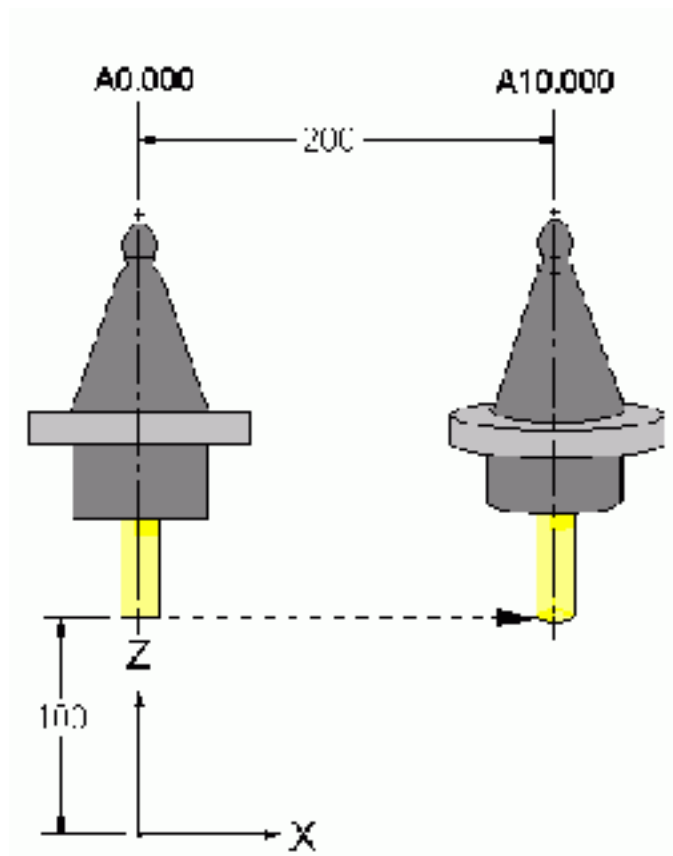
$$\begin{aligned}
 SL &= \sqrt{BSL^2 + RSL^2} \\
 &= \sqrt{67,8^2 + 65,8^2} \\
 &= 121,91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Usando o valor calculado de SL, que significa a distancia percorrida do ponto 1 até o ponto 2 com avanço de 100 mm/minutos pode se determinar o valor do Feed Rat Number do seguinte modo:

$$\begin{aligned}
 FRN &= \frac{V}{60SL} = \frac{100}{60 \times 121,91} \\
 FRN &= 0,01367 \rightarrow FRN = 1/73,14
 \end{aligned}$$

Para se saber o tempo de execução deste movimento:

- $FRN = 1/\text{tempo de execução [segundos]}$
- $\text{Tempo de execução [segundos]} = 1/FRN$
- $Te = 71,4 \text{ segundos}$



Exemplo gráfico da situação demonstrada acima.

**Quando um eixo rotativo movimenta-se em conjunto com dois ou mais eixos lineares, o cálculo torna-se muito complexo.**

Na maioria dos casos, é possível se definir um valor muito próximo a distancia percorrida verdadeira da ferramenta, usando-se a formula a seguir:

$$SL = \sqrt{DX^2 + DY^2 + DZ^2}$$

Está distancia poderá ser então usada na formula seguinte:

$$PRR = \frac{V}{60FT}$$

O eixo rotativo moverá a uma gama de avanço no qual resultará em um movimento rotativo uniforme através da distancia linear. Durante este evento se o movimento rotativo não puder ser completado no tempo estabelecido para o movimento linear por limitações de velocidades da máquina, isso acarretará numa redução do avanço linear e assim se permitirá mais tempo para que o movimento rotativo se complete.

Em havendo a combinação dos eixos A e B o avanço será o fator limitante em se tendo o linear ou rotativos movimento completado ao mesmo tempo.

O avanço usado deve ser dentro da gama de avanço da máquina, use a seguinte formula para o avanço rotativo.

Cálculo do RR (Rotary Rate):

$$RR = \frac{\Delta B}{ET}$$

Onde :

- B = Variação da rotação em Graus;
- ET = Tempo de execução (s)

$$RR = \frac{27}{71,4} \Rightarrow RR = 0,38 \text{ graus/s}$$

É necessário verificar se o RR está dentro do range de velocidades para o eixo B, com isto vimos que para os cálculos mais complexos o processador fará os cálculos aproximados e verificará se os valores dos avanços para os eixos rotativos estão dentro da gama de avanço possíveis para tal eixo na máquina.

Caso o valor calculado não esteja é necessário calcular um novo avanço dentro dos limites.

Na tabela abaixo uma demonstração de como converter minutos e segundos em centésimos de graus.

Minutos ou segundos	Equivalência em graus	
	Minutos	Segundos
50	0,833333	0,00389
40	0,666667	0,00311
30	0,500000	0,00233
20	0,333333	0,00156
10	0,166667	0,00078
5	0,083333	0,00039
4	0,066667	0,00031
3	0,050000	0,00023
2	0,033333	0,00016
1	0,016667	0,00008

O menor valor aceito em centésimo de graus é 0,001

Exemplo de conversão Graus/Minutos /Segundos em centésimo de graus:  
 Converter 80 17' 23" em centésimos de graus.

$$\begin{array}{rcl}
 8^{\circ} & & = 1 P^{\circ} 00'' \\
 17' = & 110'' = & 0,166667 \\
 & +25'' = & 0,003333 \\
 & +2'' = & 0,000333 \\
 \hline
 17' = & & 0,168333 = +0,168333 \\
 \\ 
 23'' = & +20'' = & 0,00556 \\
 & +3'' = & 0,00083 \\
 23'' = & & 0,00639 = +0,00639 \\
 & & = 0,174722 = +0,174722 \\
 \hline
 8^{\circ} 17' 23'' = & & 8,174722
 \end{array}$$

## **Curtas e Rápidas sobre CNC**

**01** - A diferença básica entre Máquina CN e Máquina CNC é que as máquinas CN não são providas de memória, ou seja, os controles apenas lêem os comandos e executam as tarefas não permitindo alterações nos programas na hora da produção, em quanto que as máquinas CNC possuem memórias e permitem essas alterações aumentando muito as possibilidades das máquinas, atualmente é muito raro se encontrar uma máquina CN.

**02** - No final de 1800, Charles Babage projetou o primeiro computador digital sofisticado, foi desenvolvido, porém nunca foi concluído.

**03** - Nos primórdios de 1900 Hermam Hollerith desenvolveu um sistema de armazenamento de dados para cartões perfurados para o departamento de recenseamento dos EUA.

**04** - Durante a segunda guerra mundial, John Von Neumann projetou o computador de programas armazenados digitalmente o qual se tornou uma peça essencial para o comercio e a industria complexa.

**05** - Em 1912, Scheyer solicitou a patente da máquina de cortar algodão aos E.U.A. o qual tinha como objetivo "prover os meios para ou controlar movimento em qualquer direção ou espaço em um ou vários planos para movimentos angulares por meio de uma gravação preparada previamente em uma folha perfurada de papel ou outro material".

**06** - Baseado na experiência de uma pequena empresa fabricante hélices e rotores de helicópteros "Parsons Corporation", que em 1947 havia experimentado colocar uma forma rudimentar de controle por números em uma máquina de usinagem convencional, ligando esta máquina a um computador que era alimentado por informações via cartões perfurados. A Força Aérea Americana ao reconhecer um possível grande avanço na fabricação de aviões e material bélico, contratou a Parsons e patrocinou estudos e desenvolvimento do controle numérico, e assim planejaram e executaram as adaptações de controle numérico para uma máquina ferramenta convencional da Cincinnati (fabricante na época de máquinas ferramenta convencionais e atualmente um dos maiores fabricantes de Máquinas CNC), e deste modo criaram o protótipo de uma máquina CN que foi demonstrado em 1953 no 'MIT' instituto de tecnologia de Massachusetts.

**07** - Os mais ativos desenvolvedores de controle numérico nos E.U.A. estão hoje usando informações gravadas em diskets ou em bancos de dados que são transmitidos até as máquinas através de protocolos especiais como o FTP (File Transfer Protocol, o mesmo usado pela internet) ou em caso de redes específicas através dos DNC (Direct Numerical Control).

**08** - A EIA Standards definiu um conjunto de códigos de caracteres usados na perfuração de fitas de uma polegada de largura, para que os usuários de ferramentas de numericamente controlada possam se unificar no equipamento de preparação de fita.

**09** - Atualmente a ISO (International Organization for Standardization ), entidade de padronização de maior aceitação mundial, regulariza o maior e mais aceito conjunto de normas para se usar na tecnologia CN.



**10** - A revolução industrial pode ser dita que se iniciou com James Watt projetando a máquina a vapor. Assim ele também criou a necessidade pela indústria de máquinas ferramentas

**11** - Em 1807, J.M.Jaquard inventou um cartão de controle melhorado para máquinas de tricotar e permitiu a máquina de tecer uma alta produtividade e baixo custo por unidade, o qual ainda é usado em produções modernas.

**12** - René Descartes general, matemático e filósofo francês desenvolveu o sistema cartesiano para uso em experimentos de guerra tais como posição das tropas e balística.

**13** - Ponto é entidade geométrica mais simples de todas, um ponto é definido no espaço por três coordenadas (X,Y,Z) do sistema cartesiano.

**14** - O modo mais simples de se definir uma reta é "A ligação de dois pontos distintos no espaço".

**15** - A muito tempo o homem vem trabalhando com ferramentas de corte e isto é tão importante que disto começou-se a definir os nomes das varias fases do desenvolvimento humano como por exemplo, idade da pedra lascada, da pedra polida, idade do bronze, etc.

**16** - Na década de 30 (1930) o engenheiro Inglês chamado Taylor acrescentou grande evolução a ferramenta de corte de ligas de aço, desenvolveu o aço liga para ferramentas de corte que ficou conhecido como "ferramenta de aço rápido" este nome era devido ao aumento da velocidade de corte dada a introdução desta liga às ferramentas de corte, isso foi tão importante que mesmo com o surgimento das ferramentas de metal duro ou pastilhas cerâmicas, ferramentas de aço rápido ainda são usadas com muita frequência.

**17** - O termo HSM (Hight Speed Machine) é muito usado para definir as máquinas ferramentas de alta velocidade de corte.

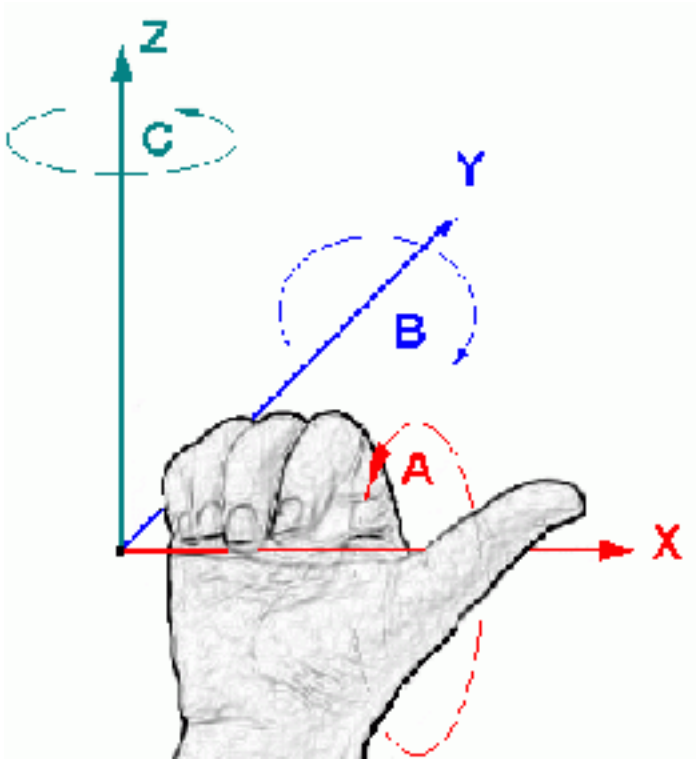
**18** - O empenamento provocado em peças usinadas são diretamente proporcional ao nível energético residual do processo de laminação ou mesmo fundição da matéria prima.

**19** - Os códigos de máquinas CNC mais utilizados no mundo foram padronizados inicialmente pela "ISO 1056:1975" e posteriormente atualizada pela "ISO 6983-1:1982" ou seja, pela ( International Organization for Standardization) e de forma muito semelhante pela ANSI "NAS995-1996"(American National Standards Institute) e também pela EIA (Eletronics Industry Association "no caso industria americana").

**20** - Definem-se como EIXOS CNC todos movimentos direcionais sejam eles lineares ou angulares que podem ser programados contemporaneamente e ao mesmo tempo atingem o ponto final programado.

**21** - O eixo rotativo A gira em torno do eixo X, assim como B em torno do Y e C em torno do Z.

**22** - Você pode usar a regra da mão direita para conhecer o sentido de giro dos eixos rotativos (A,B,C) em torno dos eixos lineares (X,Y,Z).



**23** - Pela norma ISO o G00 comanda a máquina com um posicionamento rápido e G01 diz a máquina que o movimento no bloco é uma interpolação linear.

**24** - A norma ISO registra apenas os códigos G de 0 a 99, deixando alguns deles para serem decididos pelos fabricantes de máquinas e controles e os superiores a 99 também.

**25** - O sinal "%" é usado por muitos controles para determinar o início e fim dos programas CN.

**26** - A primeira versão do APT ocorreu na década de 50.

**27** - Sem dúvida a linguagem de computador mais usada para obtenção de programas CNs foi o APT, ou melhor ainda é o APT, pois a base escolhida pela maioria dos desenvolvedores de sistemas CAMs para fornecimento de dados processados aos pós-processadores é o APT.

**28** - Em geral um pacote CAD possui três componentes básicos: Projeto ou Design, Análise e Visualização.

**29** - A engenharia simultânea é outro poderoso conceito que só é possível com o advento do CAD/CAM e foi introduzida nos anos 90.

**30** - Através de suas pesquisas de desenvolvimento de computadores gráficos interativos o Dr. Ivan Sutherland em 1962 esboçou os termos iniciais para o desenvolvimento do primeiro CAD.

**31** - O primeiro maior software comercial de CAD/CAM disponível foi o CADAM desenvolvido pela Lockheed, em 1965, pertencente a Bell Telephone - um sistema de display gráfico foi desenvolvido.

**32** - Geração de fitas CN começaram a ser geradas pelo CAM, sistemas de verificação, e sistemas de traçagem de circuitos integrados se tornaram disponíveis na década de 70.

**33** - O início da utilização de um CAD/CAM em plataforma PC se deu na década de 80.

**34** - Os Softwares do CAD são escritos basicamente em duas linguagens FORTRAN ou C, atualmente a linguagem mais usada é a linguagem C.

**35** - No Brasil e no mundo são poucas as profissões que se ampliam com tanta velocidade e são cada vez mais solicitadas, como as de programadores CN-CAM, surgem muitas escolas e com certa facilidade os estudantes da área conseguem empregos.

**36** - Quem desenvolveu os conceitos e os primeiros algoritmos do ente geométrico conhecido como B-spline foi o francês Pierre Bézier em 1970, que levou o nome às famosas curvas de Bézier.

**Fonte:** [www.mundocnc.com.br](http://www.mundocnc.com.br)