

Tolerância Geométrica - Pneumática - RTD e Termopares

www.mecatronicaatual.com.br

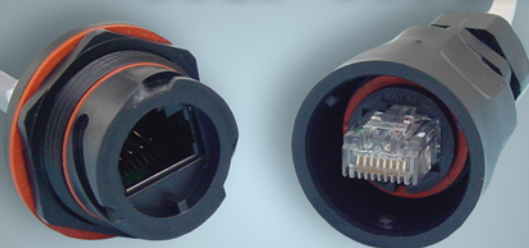
# MECATRÔNICA



Ano 2 - nº8 - Fevereiro-Março/2003 - Brasil: R\$ 9,60 - Europa: € 4,30

## Conectividade na Indústria

Confiabilidade  
das conexões  
em ambiente  
industrial



## Soldagem Industrial

Conheça seus  
principais parâmetros e fundamentos



## Inversores de Frequência Vetoriais

Controle de velocidade e torque de motores trifásicos



Compatibilidade e Interferência Eletromagnética

# Problemas e SOLUÇÕES

## Eventos espúrios em uma subestação de energia

Osmar Brune

**E**m novembro de 2002, fui chamado por uma concessionária de energia elétrica para investigar um problema em uma subestação. A empresa que represento havia fornecido para essa concessionária uma UTR (unidade terminal remota), que é um equipamento muito similar a um CLP (controlador lógico programável).

Uma das funções que essa UTR executa é amostrar entradas digitais com um período de 1 ms (1 milésimo de segundo). Ela é sincronizada com o horário oficial do planeta, através de um sistema de GPS (*global positioning system*). Ao contrário do que muitos pensam, o GPS não apenas fornece informações de posição, mas também de tempo preciso, com precisão melhor do que 1 microssegundo, como se fosse um relógio atômico. Quando uma entrada digital varia seu estado, de 0 para 1, ou de 1 para 0, isso é considerado um evento. Cria-se um relatório de eventos onde se indica a entrada digital que variou, e a data e hora em que isso ocorreu, com precisão de 1 ms. Desta maneira é possível saber, por exemplo, que um disjuntor da subestação foi desarmado às 13:20:50.236 (13 horas, 20 minutos, 50 segundos e 236 ms) de 05/11/2002. Isso é muito importante para que se façam análises de falhas, pois todos os eventos dessa subestação e de outras no sistema interligado de energia do país possuem relatório de eventos.

O problema é que o relatório de eventos estava mostrando eventos inexistentes, e com uma duração extremamente rápida (normalmente um pulso de duração de 1 ms). Ou seja, o cliente afirmava que uma entrada digital ficava sempre em nível 0, mas no relatório de eventos apareciam, por exemplo, 2 eventos: um indicando que a entrada subiu de 0 para 1, e outro indicando que ela desceu de 1 para 0, apenas 1 ms depois de ter subido. Havia suspeita de que a UTR estava “gerando eventos fantasmas”, e minha missão era esclarecer tal hipótese.

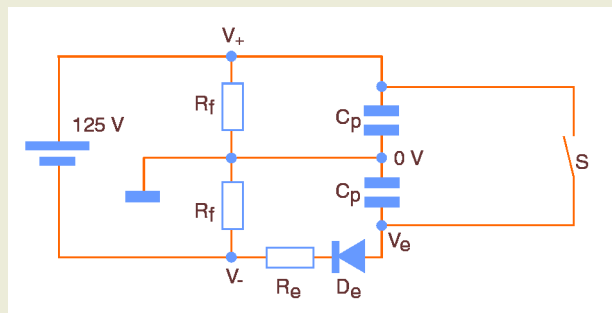


Figura 1 – Modelo do Circuito.

A **figura 1** mostra um modelo do circuito da instalação e de uma entrada digital.

As subestações normalmente possuem uma fonte de alimentação confiável de 125 Vcc, proveniente de um banco de baterias. Na subestação interliga-se a malha de aterramento aos dois terminais dessa fonte (V+ e V-), através de dois resistores de mesmo valor ( $R_f$ ). Desta maneira, se convencionarmos que a tensão de terra é 0 V, V+ normalmente valerá +62,5 V, e V- valerá -62,5 V. O objetivo desses dois resistores iguais é detectar “fugas à terra”. Existem dispositivos de proteção, denominados relés de fuga a terra, que monitoram V+ e V- em relação à terra. Se V+ ficar abaixo de determinado valor (62,5 V – tolerância) acima de um tempo mínimo, um alarme de “falha de positivo ao terra” será gerado. Se V- ficar acima de determinado valor (-62,5 V + tolerância) acima de um tempo mínimo, um alarme de “falha de negativo ao terra” será gerado.

Observe que, para ler a entrada digital, um contato no campo (S) é fechado. Ele recebe uma tensão positiva (V+) de um de seus lados, e o outro lado está ligado na entrada digital, modelada neste caso como a associação em série entre o diodo  $D_e$  e o resistor  $R_e$  (na ordem de 16 k $\Omega$ ). A tensão  $V_e$  representa a tensão na entrada digital (com o contato aberto,  $V_e = -V$  ou nível 0, e com o contato fechado,  $V_e = +V$  ou

nível 1). O percurso entre a entrada digital e o contato S é da ordem de 20 metros, portanto, deve-se considerar a existência de **capacitâncias parasíticas** ( $C_p$ ), entre estes fios e o potencial de terra (0 V).

Obtive a informação de operadores da subestação de que haviam diversas “falhas de positivo ao terra” na subestação, e que aparentemente esses eventos espúrios aconteciam no momento de tais falhas. Fui à subestação munido de um osciloscópio de 2 canais. Coloquei a referência do osciloscópio no terra (0 V), o canal 1 na entrada digital ( $V_e$ ) e o canal 2 na tensão positiva ( $V_+$ ). Programei o “trigger” do osciloscópio para a descida de  $V_+$  abaixo de 50 V.

Logo observei na tela do osciloscópio o que ilustro na **figura 2**. O sinal  $V_-$  não foi capturado no osciloscópio, mesmo assim, mostrei seu comportamento teórico na figura para melhor compreensão.

Caso as capacitâncias parasíticas ( $C_p$ ) fossem nulas, a curva  $V_e$  acompanharia  $V_-$ . Deve-se observar que a referência de tensão da entrada digital é  $V_-$ , e não 0 V. Se a diferença entre  $V_e$  e  $V_-$  se torna maior do que 30 V, o fabricante da UTR garante nível que a entrada digital será interpretada como nível 0. No entanto, a **figura 2** mostra que esta diferença pode superar 30 V, e foi isso que aconteceu.

Nesse caso, há pelo menos três soluções que podem ser abordadas, mas o ideal é que todas sejam adotadas:

1) O cliente deve pesquisar a origem da falha do positivo ao terra, e corrigir esse problema.

2) Na UTR, pode-se configurar, por software, um filtro passa baixa, para que pulsos de rápida duração (1 ms) sejam desconsiderados como eventos. Normalmente, os eventos tem duração bem maior do que isso.

3) Junto da UTR, inserir um conversor isolador de 125 Vdc para 125 Vdc, utilizando a saída deste conversor para ligar aos contatos de campo, ligados às entradas digitais

## CONCLUSÕES

- Use instrumentos adequados, sempre que possível (neste caso, um osciloscópio com *trigger*).

- Ouça bem as pistas que lhe fornecem (operadores, neste caso, deram uma dica quente).

- Não esqueça das capacitâncias, indutâncias e resistências parasíticas do circuito, ao fazer uma análise do fenômeno.

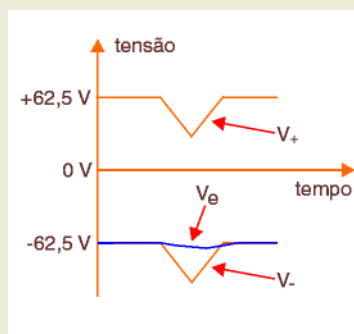


Figura 2 – Tela do osciloscópio.

## Falhas aleatórias em placa controladora de CLP

Juliano Matias

Certa vez fui a um cliente que reclamou de um defeito em uma placa controladora da empresa. O defeito era que ela, aleatoriamente, dava falha parando o CLP.

Esse tipo de problema normalmente se dá por três fatores:

- Interferência eletromagnética;
- Falha na tensão de alimentação;
- Defeito no CLP.

Ao chegar no cliente, o primeiro item que verifiquei foi o aterramento, o qual estava em perfeitas condições; verifiquei também todas as blindagens que entram no painel elétrico, também estavam OK.

Medi então a tensão da entrada da fonte de alimentação que alimenta o CLP, esta estava com 218 V, o que é absolutamente normal. Já não tinha mais o que fazer a não ser trocar a placa do CLP.

Mas, como última tentativa antes de trocar o CLP, resolvi deixar um osciloscópio ligado direto na entrada da fonte de alimentação.

Nas características da fonte observei que ela permanecia com 24 V em sua saída se a entrada estivesse no mínimo com 190 V.

Então, programei o osciloscópio para memorizar quando a tensão da linha ficasse abaixo de 190 V.

Às 2 horas da manhã, esse cliente ligou dizendo que o CLP parou. Retornei ao local e quando olhei para o osciloscópio havia uma forma de onda que tinha como seu pico de menor tensão: 173 V. Com isso, pude constatar que o problema era na tensão de alimentação, e não no CLP ou na própria fonte.

O cliente, com isso, refez a instalação elétrica da alimentação daquele painel e o problema não voltou mais a acontecer. E ele ainda me informou que, na maioria das vezes, a causa da queda de tensão era uma máquina de solda elétrica que era ligada para realizar manutenções mecânicas na empresa (e como ela consome uma corrente absurda e a instalação não tinha sido projetada corretamente), ocasionava uma queda de tensão em toda a rede que era ligada após essa máquina.

# Conectividade na Indústria

Pedro A. Medoe

## CONECTIVIDADE TRADICIONAL

**A** conectividade dentro das indústrias certamente não tem oferecido a mesma confiabilidade dos ambientes comerciais ou residenciais. Instaladores ou projetistas de redes quando implantam suas soluções em locais agressivos aos elementos passivos, não têm tido muita opção em assegurar que as conexões sejam eficazes durante o período de garantia da certificação. Como assegurar o desempenho da rede em lugares com exposição à poeira, variações de temperatura e umidade, interferência eletromagnética ou vibrações por prolongados períodos de tempo? Conectores e tomadas comuns dentro de ambientes severos podem ter seus contatos corroídos, danificados, bloqueados por fragmentos diversos e, eventualmente, falhar.

### UMIDADE

A corrosão dos contatos provocada pela umidade pode tornar as tomadas comuns inutilizáveis. A **figura 1** apresenta uma tomada utilizada em área com constante exposição à umidade, onde os contatos estão desprotegidos, resultando em

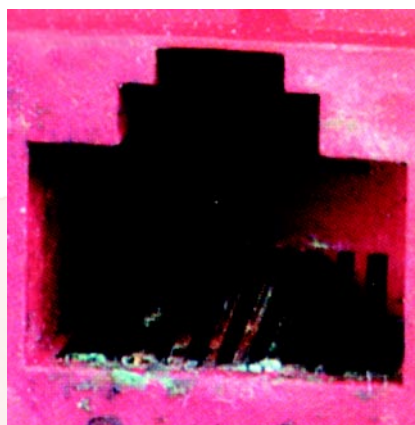


Figura 1 – Contatos corroídos.



Figura 2 – Desgaste dos contatos.

agressões que certamente provocam falhas na transmissão de dados. Tomadas e conectores tradicionais em nenhuma hipótese podem ficar sob ação de jatos de líquidos, e muito

menos submergidos temporariamente.

### VIBRAÇÃO

Os conectores convencionais quando expostos à vibração constante, desgastam suas superfícies de contato e rachaduras podem ser provocadas, veja **figura 2**, causando defeitos intermitentes de transmissão. Com o desgaste e rachadura provocados, a película protetora dos contatos é removida, facilitando assim a corrosão dos terminais.

### TEMPERATURA

Os conectores convencionais são fabricados para tolerar uma faixa de temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , faixa típica da maioria dos escritórios e ambientes industriais "leves". No entanto, é comum a temperatura ultrapassar estes limites em ambientes severos, por um período de tempo estendido, causando falhas de transmissão e, assim, diminuindo a confiabilidade do sistema.

### MATERIAIS CORROSIVOS

Em determinadas indústrias é comum os conectores ficarem ex-

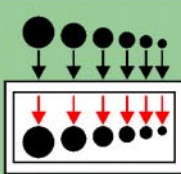

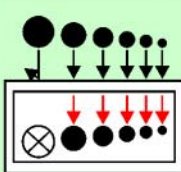

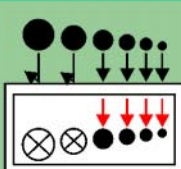

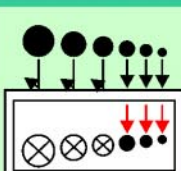

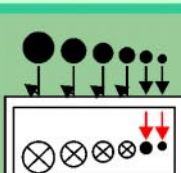

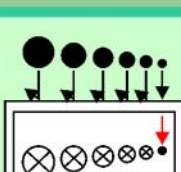

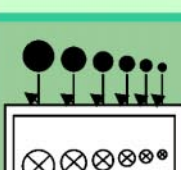



ÍNDICE DA FIGURA		ÍNDICE IP				ÍNDICE DA FIGURA	
GRAU DE PROTEÇÃO		GRAU DE PROTEÇÃO		GRAU DE PROTEÇÃO		GRAU DE PROTEÇÃO	
0	Sem proteção		Sem proteção contra contato acidental, sem proteção contra corpos estranhos	Sem proteção contra água		Sem Proteção	0
1	Proteção contra corpos estranhos largos		Proteção de área larga contra contato manual e proteção contra grandes corpos sólidos entre 0 e 50 mm	Proteção contra gotejamento de água na vertical		À prova de gotas	1
2	Proteção contra corpos estranhos médios		Proteção contra contato de dedos, proteção contra pequenos corpos sólidos entre 0 e 12 mm	Proteção contra gotejamento de água num ângulo maior do que 15 graus		À prova de gotas	2
3	Proteção contra corpos estranhos pequenos		Proteção contra ferramentas, fios metálicos ou objetos similares de 2,5 mm. proteção contra pequenos corpos estranhos de 0 a 2,5 mm	Proteção contra gotejamento de água num ângulo maior do que 60 graus		À prova de spray	3
4	Proteção contra corpos estranhos no formato de grãos		Proteção contra corpos estranhos de 0 a 1,0 mm	Proteção contra espalhamento de água em todas as direções		À prova de spray	4
5	Proteção contra deposição de poeira		Proteção total contra contato, proteção contra dano interno provocado por deposição de poeira	Proteção contra espalhamento de água em todas as direções		À prova de jateamento com mangueira	5
6	Proteção contra ingresso de poeira		Proteção total contra contato, proteção contra penetração de poeira	Proteção contra jatos de mangueira em todas as direções		À prova de jateamento com mangueira	6
				Proteção contra imersão temporária		À prova de imersão temporária	7
				Proteção contra pressão de água		À prova d' água	8

Tabela 1 - Graus de proteção IP.



Figura 3 – Tomada - vista do cabo conectorizado.



Figura 4 – Tomada - conjunto montado.



Figura 5 – Tomada - com codificação de cores.

postos a gases, produtos químicos ou óleo. Esses produtos podem corroer a proteção dos contatos e a própria blindagem do cabo.

### EMI

A Interferência Eletromagnética é comum em ambientes de produção, principalmente próximos às máquinas operatrizes de alta potência e à infra-estrutura que conduz a rede de energia elétrica. Quando o meio de transmissão dos dados não for protegido adequadamente, essa interferência acaba comprometendo a integridade dos sinais transmitidos. Para solucionar este problema os cabos fabricados possuem um invólucro de metal (blindagem), assim como os conectores, com a intenção de reduzir a interferência.

### INICIATIVAS PARA A PADRONIZAÇÃO

Reconhecendo a necessidade de se padronizar o cabeamento industrial, a TIA (Associação das Indústrias de Telecomunicações) e a IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) iniciaram um acordo com Comitês para desenvolver um padrão de fabricação para os materiais utilizados em redes estruturadas industriais. Pelo lado da TIA, foi criado no final de 1.999 o grupo TR-42.9 com o objetivo de desenvolver e manter padrões da infra-estrutura de telecomunicações em prédios industriais.

Progressos significantes relacionados com a seleção de uma interface de conector industrial, estão sendo feitos.

Com o propósito de especificar essa interface, o grupo TIA referiu-se a um trabalho anterior da IEC, o qual define alguns parâmetros ambientais para a normatização dos invólucros que esses conectores terão. Esses parâmetros são baseados na IP (*International Protection*), onde um sistema de taxas de código IP utiliza dois dígitos para caracterizar o nível de proteção do invólucro. O primeiro dígito refere-se à resistência da selagem contra materiais sólidos e o segundo dígito é resistência contra líquidos e materiais contaminantes.

Para certificar a performance dos conectores na plataforma Ethernet em ambientes severos, a TR-42.9 muito provavelmente irá recomendar conexões com uma taxa 67 de IP, significando que quando selada, uma conexão é protegida contra o ingresso de poeira e de imersão temporária em água, veja a **tabela 1** com os graus de proteção IP. Além disso, o padrão industrial irá direcionar a exposição com os elementos mostrados anteriormente: umidade, vibração, temperatura, materiais corrosivos e EMI.

### ADEQUAÇÕES

Muitas fábricas pelo mundo estão em processo de implantação da ISO 9000, adequando suas pro-

duções para a redução de custos, tornando seus produtos mais competitivos. A chave para implementar com sucesso todos os requisitos da globalização é acessar os dados com precisão em tempo real. A grande maioria das máquinas industriais não tem a capacidade de coletar e enviar dados, coerentemente, para a rede da empresa. No entanto, soluções em automação com plataforma Ethernet, já estão sendo implementadas nas novas máquinas colocadas no mercado. Há uma estimativa para 2.004, afirmando que cerca de 20% dos novos equipamentos de produção terão esse tipo de plataforma. Com essa nova geração de maquinário atingindo o mercado, a parte fabril da indústria se tornará uma extensão coerente da rede dessa organização, ou seja, máquinas operatrizes serão consideradas WAs (*Work Areas*).

Setores onde a aplicação de conectores robustos seria uma necessidade podem ser exemplificados: químico, alimentação, automotivo e mineração. Para estes setores, gases e líquidos corrosivos, dispositivos de alta EMI como equipamentos robotizados, vibração, alta temperatura e umidade são comuns. Um conector robusto será a interface essencial entre a planta da fábrica e da área administrativa, mantendo os dados atualizados em tempo real, conseguindo com isso os elementos

principais para uma competitividade melhor.

## SOLUÇÃO INDUSTRIAL

A Siemon ([www.siemon.com/brasil](http://www.siemon.com/brasil)) desenvolveu um conector que reúne todas as recomendações da TIA e IEC para aplicações em ambientes severos, alcançando uma taxa de IP 67. O estilo de acoplamento é o baioneta, onde o plugue é inserido na tomada e o conjunto protegido por um invólucro, resistente à umidade, vibração, poeira e imersão temporária em líquidos. As tomadas e plugues são disponíveis para a conectorização em cabos UTP e ScTP.

## TOMADA

O conjunto pode ser montado com dois modelos de tomadas, que suportam as seguintes larguras de banda: 160 MHz em Cat. 5e quando utilizada com cabos UTP, **figura 3** e 250 MHz em Cat. 6 quando utilizada com cabos ScTP. Inserida num invólucro feito de plástico com alta resistência à ações químicas, **figura 4**, garante sua performance mesmo em condições agressivas, permitindo a conectorização nos padrões T568A e T568B, **figura 5**.

## PLUGUE

Trata-se de um plugue RJ-45 que pode ser terminado em campo, permitindo que os comprimentos dos cabos sejam adequados. No mesmo estilo da tomada, o acoplamento é feito através do modelo baioneta, e também atendendo às performances de Cat. 5e, **figura 6**, ou Cat. 6, dependendo do tipo aplicado, sem blindagem ou com blindagem.

## ESPELHOS

Fabricados em aço inoxidável oferecem proteção contra umidade e poeira. As versões disponíveis são para uma tomada (4x2), duas tomadas (4x2) e quatro tomadas (4x4).



Figura 6 - Plugue Cat. 5e.

## PATCH CORDS

Montados e testados em fábrica, há opções de cordões com plugues industriais em ambas as extremidades ou cordões com um plugue industrial numa das extremidades e um plugue modular comum na outra, disponíveis em versões UTP e ScTP (cabo não-blindado e cabo blindado).

## TEMPERATURA DE OPERAÇÃO

A faixa de temperatura operacional para os conectores é de -25 °C até 85 °C, expandindo o limite total da temperatura operacional em mais de 50%, se comparado com a dos conectores tradicionais.

## PROTEÇÃO CONTRA EMI

Em ambientes com EMI alta, a versão ScTP deve ser utilizada, garantindo a integridade dos sinais transmitidos. Tanto a tomada como o plugue possuem blindagem contra EMI.

## MONTAGEM

A seguir, mostraremos as etapas de montagem do plugue industrial utilizando cabo UTP:

**1** - As peças componentes do plugue industrial são: invólucro, porca de compressão e plug RJ 45, **figura 7**.

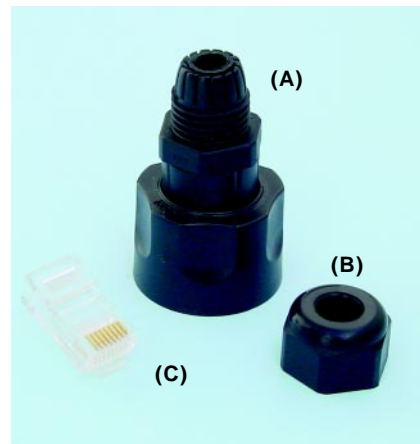


Figura 7 - Invólucro (A), porca de compressão (B) e plug RJ 45 (C).

**2** - Insira através do cabo a porca de compressão e o invólucro do plugue, **figura 8**.

**3** - Remova com a ferramenta de decapar aproximadamente 38 mm de capa do cabo, **figuras 9 e 10**.

**4** - Com uma tesoura, corte os fios de aramida, **figura 11**.

**5** - Alinhe os condutores lado a lado, de acordo com o padrão utilizado (T568A ou T568B) e corte o excesso de fios deixando-os com um comprimento aproximado de 12 mm, **figura 12**.

**6** - Insira os condutores no plugue mantendo-os alinhados (de acordo com o padrão adotado) até que encostem no final dos canais do plugue, **figura 13**.

**7** - Faça a crimpagem do plugue aos condutores, com a ferramenta de crimar, **figura 14**.

**8** - Desloque o invólucro até o plugue, encaixe a trava do mesmo na cavidade apropriada do invólucro e empurre-o gentilmente através do mesmo, **figura 15**.

**9** - Desloque a porca de compressão até o invólucro e aperte-a ligeiramente, **figura 16**.

- Texto traduzido e adaptado da revista **Cabling for the Future** Vol. IX, nº 1 - The Siemon Company  
- Título original: **"Industrial Connectors - The New Interface That Withstands Harsh Environmental Conditions"**



Figura 8 – Inserir a porca de compressão e o invólucro no cabo.

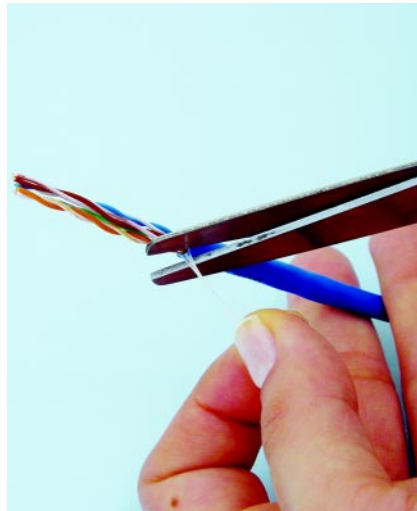


Figura 11 – Corte dos fios de aramida.



Figura 14 – Crimpagem.

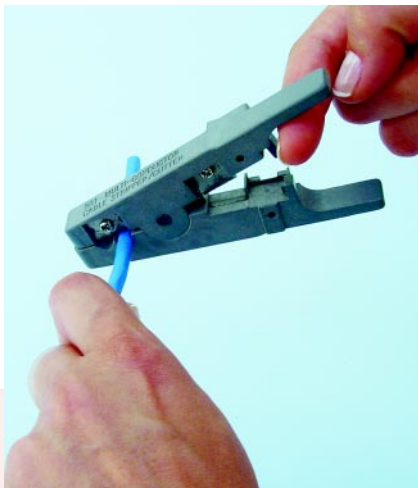


Figura 9 – Decapagem do cabo.

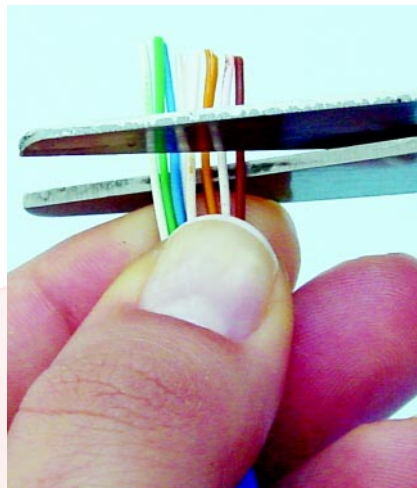


Figura 12 – Alinhamento e corte dos condutores.



Figura 15 – Colocação do plugue no invólucro.

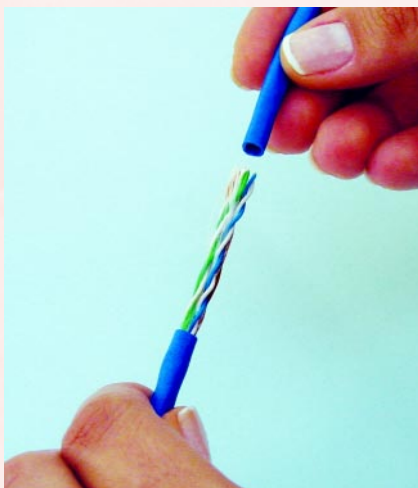


Figura 10 – Continuação da decapagem do cabo.

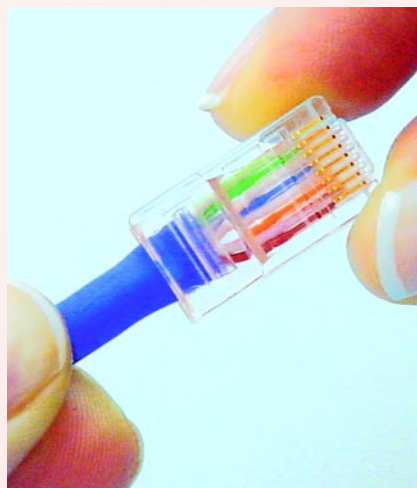


Figura 13 – Inserir dos condutores no plugue.



Figura 16 – Porca de compressão.

# Tolerância geométrica

Adriano Ruiz Secco

**A** pesar do alto nível de desenvolvimento tecnológico da nossa indústria, sabemos que é impossível obter superfícies perfeitamente exatas. As peças, em geral, não funcionam isoladamente. Elas trabalham associadas a outras peças, formando conjuntos mecânicos que desempenham funções determinadas. Em um motor, por exemplo, é indispensável que as peças se articulem convenientemente, conforme é especificado no projeto. Muitas vezes, as peças que constituem este motor provêm de diferentes fornecedores e para trabalhar juntas devem apresentar características tais que não comprometam a funcionalidade e a qualidade do conjunto.

Do mesmo modo, em uma manutenção corretiva ou preventiva, se for necessário substituir uma peça deste motor, é necessário que a peça substituta seja semelhante à peça substituída, isto é, elas devem ser **intercambiáveis**.

Entretanto, todos os processos de fabricação estão sujeitos a imperfeições que afetam as características da peça. Desse modo, é impossível obter peças com características idênticas às ideais, projetadas no desenho.

Isso ocorre porque vários fatores interferem nos processos de fabricação: instrumentos de medição fora de calibração, folgas e desalinhamento geométrico das máquinas-ferramenta, deformações do material, falhas do operador, etc.

Mas, a prática tem demonstrado que certas variações nas características das peças, dentro de cer-

tos limites, são aceitáveis porque não chegam a afetar sua funcionalidade. Essas variações ou **desvios aceitáveis** nas características das peças constituem o que chamamos de **tolerância**.

A determinação das tolerâncias dimensionais e geométricas e sua indicação nos desenhos técnicos são funções do projetista.

Quanto mais familiarizado o projetista estiver com os processos de fabricação e com os métodos de usinagem, melhores condições ele terá de especificar tolerâncias que atendam às exigências de exatidão dimensional, de forma, posição e funcionalidade, que possam ser avaliadas por métodos simplificados de verificação, como desempenos, paquímetros, micrômetros e relógios comparadores.

Ao profissional que executa as peças, cabe a tarefa de interpretar as indicações de tolerância apontadas nos desenhos e de cuidar para que o produto final não ultrapasse as indicações de tolerâncias previstas no projeto.

Peças produzidas dentro das tolerâncias especificadas podem não ser

idênticas entre si, mas funcionam perfeitamente quando montadas em conjunto. Porém, se estiverem fora das tolerâncias especificadas, deverão ser retrabalhadas ou refugadas, o que representa desperdício e prejuízo.

## TIPOS DE TOLERÂNCIA

Existem dois tipos de tolerância: a **dimensional** e a **geométrica**.

A **tolerância dimensional**, que não será aprofundado neste artigo, refere-se aos desvios aceitáveis, para mais ou para menos, nas **medidas** das peças. Nos desenhos técnicos este tipo de tolerância vem indicado ao lado da dimensão nominal da cota tolerada, por meio de dois afastamentos: o superior e o inferior, como mostra o desenho da **figura 1**.

As tolerâncias dimensionais podem ser indicadas, também, por meio de uma observação no desenho, que inclui a citação da norma (NBR ISO 2768 : 2001), a qual classifica os afastamentos simétricos em função da dimensão nominal. Ao lado do número da norma deve aparecer, após um

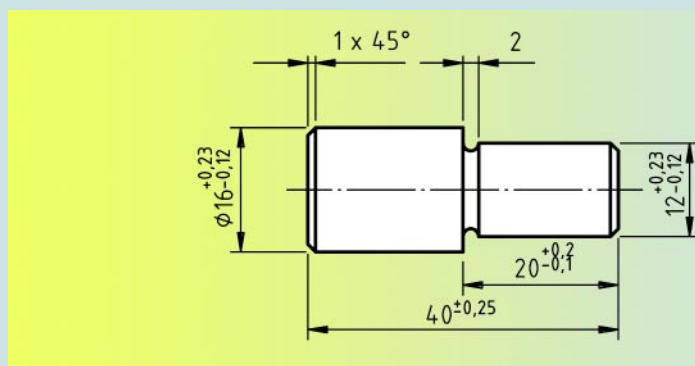


Figura 1 - Desenho técnico com afastamentos indicados.

hífen, uma letra que identifica a classe de tolerância escolhida (f = fino; m = médio; g = grosso e mg = muito grosso). Exemplo: NBR ISO 2768 - m.

Quando é adotado o sistema de tolerância e ajustes de acordo com a NBR 6158:1995, baseado nas normas ISO 286-1 e ISO 286-2, os valores dos afastamentos são expressos indiretamente, por meio de letras e números como ilustra o desenho da **figura 2**.

Para interpretar as tolerâncias dimensionais representadas no sistema de tolerâncias e ajustes, é necessário consultar tabelas apropriadas de ajustes recomendados, que apresentam a conversão das letras e números para valores de afastamentos indicados em micrometros ( $\mu\text{m}$ ).

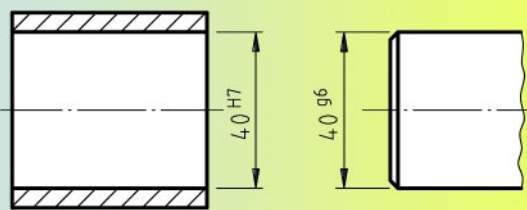


Figura 2 - Indicação de afastamentos baseados na norma NBR 6158:1995.

Mas, a execução da peça dentro da tolerância dimensional não garante, por si só, um funcionamento adequado. Muitas vezes, não é suficiente que as dimensões efetivas da peça estejam de acordo com a tolerância dimensional.

Observe como acontece isso na prática.

O desenho da peça abaixo (**figura 3**) indica que um eixo deve ter 30 mm de diâmetro com o afastamento superior de 0,2 décimos e inferior de 0,1 décimo de milímetro.

Após a usinagem deste eixo, se ele apresentar em uma extremidade o diâmetro de 30,2 mm e na outra extremidade o diâmetro de 29,9 mm, ele estará do ponto de vista dimensional correto, mas não se prestará aos requisitos de

funcionalidade de um eixo. Isso quer dizer que um desenho cotado somente com a tolerância dimensional não garante que essa peça funcione adequadamente quando

montada. É necessário, também, que a peça apresente as **formas** previstas, para poder ser montada e funcionar adequadamente.

O problema é que, do mesmo modo que é praticamente impossível obter uma peça real com as dimensões nominais exatas, também é muito difícil conseguir uma peça real com formas rigorosamente idênticas às da peça projetada.

Por outro lado, desvios de formas dentro de certos limites não chegam a prejudicar o bom funcionamento das peças que constituem os conjuntos mecânicos.

Além das medidas e das formas, outro fator deve ser considerado quando dois ou mais elementos de uma peça estão associados: trata-se da **posição relativa** desses elementos entre si.

A **tolerância geométrica**, compreende as variações aceitáveis das **formas** e das **posições** dos elementos na execução da peça. Por isso é conhecida também como tolerância de forma e posição.

As indicações de tolerâncias geométricas devem ser apontadas nos desenhos técnicos sempre que for necessário, para assegurar requisitos funcionais de intercambiabilidade e de manufatura.

É importante ressaltar que, nas áreas da Mecânica e Mecatrônica, as tolerâncias geométricas não substituem as tolerâncias dimensionais. Ambas se completam e, em conjunto, garantem a intercambiabilidade da peça.

Todo produto é concebido para atender a uma função, com o menor número possível de erros. A aplicação das tolerâncias dimensionais e geométricas permitirá atender à função desejada com menor índice de rejeição. É de suma importância atingir os requisitos de funcionalidade e exatidão, de forma e de posição dos elementos produzidos, para assegurar a durabilidade, a confiabilidade e o bom desempenho do produto.

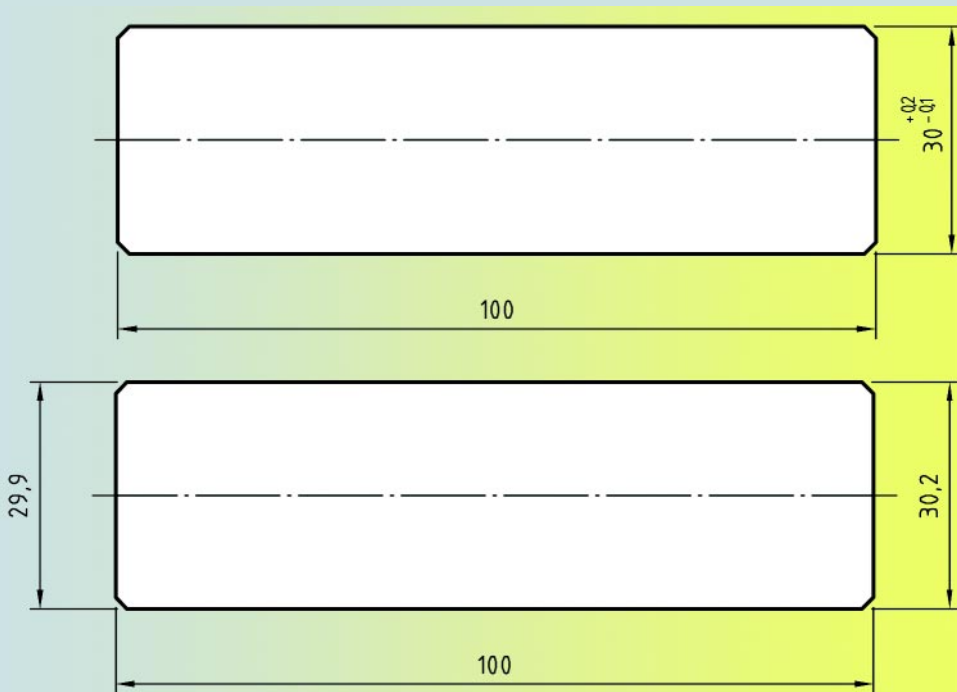


Figura 3 - Exemplo de um eixo com indicadores de afastamentos tolerados.

## A TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA NAS NORMAS BRASILEIRAS E INTERNACIONAIS

No Brasil, a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - NBR 6409:1997, baseada na norma ISO 1101:1983, regulamenta as definições geométricas apropriadas e os princípios gerais para indicação das tolerâncias de forma e de posição.

A norma que orienta sobre a execução dos símbolos para tolerância geométrica, suas proporções e dimensões é a ISO 7083:1983, que ainda não foi traduzida e adaptada pela ABNT.

A preocupação com a verificação das características geométricas das peças não é um assunto novo. A diferença é que até há pouco tempo, a verificação dessas características era feita empiricamente, por meios subjetivos. Por exemplo, para avaliar a planeza da superfície de uma peça, recorria-se a uma régua com fio contra a qual era encostada a superfície analisada da peça. O conjunto era colocado contra a luz. A passagem de luz indicava falta de planeza.

Embora esse método continue sendo utilizado até hoje, em alguns casos essa avaliação qualitativa já não é suficiente para garantir os requisitos de exatidão e funcionalidade das peças. As tolerâncias geométricas são especificadas **quantitativamente** nos desenhos técnicos e devem ser verificadas, após a produção da peça, segundo princípios de medição rigorosamente estabelecidos.

Na falta de uma norma brasileira que oriente sobre os princípios de verificação, e tendo em vista a necessidade de produzir dentro de padrões internacionais de qualidade, impostos pelo processo de globalização da economia, é recomendável tomar como referência os procedimentos para verificação das características geométricas propostos pelo **Relatório Técnico ISO / TR 5460:1985**, que apresenta as diretrizes para princípios e métodos de verificação de tolerâncias geométricas.

Imaginando uma superfície geométrica cortada por um plano perpendicular, você obterá um perfil geométrico (**figura 4**).

O conhecimento das normas e recomendações técnicas é obrigatório para quem atua na área de projetos ou de produção mecânica. Entretanto, por se tratar de assuntos bastante complexos, sua interpretação costuma apresentar dificuldades para quem está se iniciando no seu estudo.

O propósito deste artigo é auxiliar os principiantes no entendimento dos conceitos, princípios e procedimentos estabelecidos nas normas que tratam de tolerância geométrica.

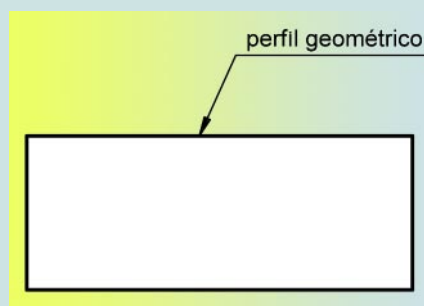


Figura 4 - Perfil prescrito no desenho.

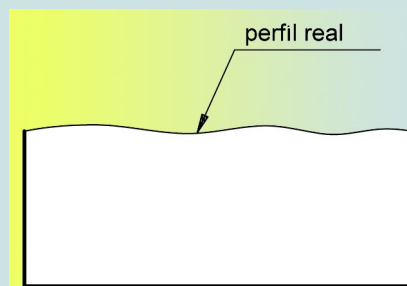


Figura 5 - Perfil obtido na usinagem.

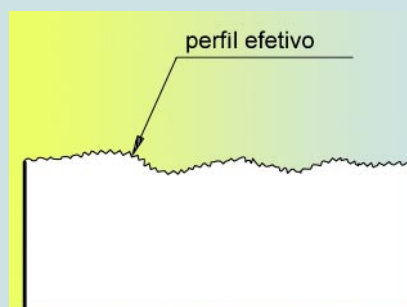


Figura 6 - Perfil verificado dimensionalmente.

Para interpretar a norma corretamente, é necessário conhecer alguns conceitos básicos, que serão apresentados a seguir.

### Conceitos básicos para interpretação das normas

Todo corpo é separado do meio que o envolve por uma superfície. Esta superfície, que limita o corpo, é chamada de **superfície real**.

A superfície real do corpo não é idêntica à **superfície geométrica**, que corresponde à superfície ideal, representada no desenho. Para fins práticos, considera-se que a superfície geométrica é isenta de erros de forma, posição e de acabamento.

Ao término de um processo de fabricação qualquer, o corpo apresenta uma **superfície efetiva**. Esta corresponde à superfície avaliada por meio de técnicas de medição e se aproxima da superfície real.

O **perfil real** é o que resulta da interseção de uma superfície real por um plano perpendicular (**figura 5**).

Já o perfil obtido por meio de avaliação ou de medição, que corresponde a uma imagem aproximada do perfil real, é o chamado **perfil efetivo** (**figura 6**).

As diferenças entre o perfil efetivo e o perfil geométrico, que são os erros apresentados pela superfície em exame, classificam-se em dois grupos:

- **Erros microgeométricos:** são formados por sulcos ou marcas deixados nas superfícies efetivas pelo processo de usinagem (ferramenta, rebolo, partículas abrasivas, ação química, etc.) ou por deficiências nos movimentos da máquina, deformação no tratamento térmico, tensões residuais de forjamento ou fundição, etc. Podem ser detectados por meio de instrumentos, como rugosímetros e perfiloscópios. Os equipamentos eletrônicos mais modernos, com resolução digital, possibilitam obter facilmente a análise gráfica dos estados dessas superfícies. Esses erros são também definidos como **rugosidade** da superfície.

- **Erros macrogeométricos:** são também conhecidos como erros de

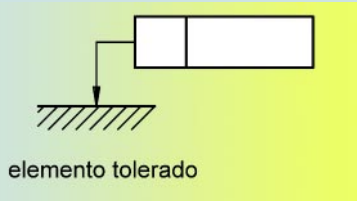


Figura 7 - Tolerância relacionada à forma.

forma e/ou de posição. Podem ser detectados por instrumentos convencionais como relógios comparadores, micrômetros, esquadros, desempenos, etc. Conforme a necessidade, esses erros podem ser detectados por equipamentos eletrônicos.

De um modo geral, o estabelecimento das tolerâncias geométricas visa à verificação dos erros macrogeométricos.

A norma que dispõe sobre as tolerâncias geométricas apresenta uma classificação abrangente que será analisada a seguir.

## CLASSIFICAÇÃO DAS TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS

A norma NBR 6409:1997 baseada na norma ISO 1101:1983 prevê indicações de tolerâncias geométricas para **elementos isolados** e para **elementos associados**.

Os elementos tolerados, tanto isolados como associados, podem ser linhas, superfícies ou pontos.

A tolerância refere-se a um elemento isolado quando ela se aplica diretamente a este elemento, independentemente dos demais elementos da peça, como mostra a **figura 7**, a seguir.

Quando a tolerância refere-se a elementos associados, um desses elementos será o tolerado e o outro será tomado como elemento de referência. Para efeito de verificação, o elemento de referência, embora seja um elemento real da peça, é sempre considerado como ideal, isto é, isento de erros. Veja a **figura 8**.

Alguns tipos de tolerância só se aplicam a elementos isolados. Outros só se aplicam a elementos associados. E há certas características que se aplicam tanto a elemen-

tos isolados como a elementos associados.

De acordo com as normas técnicas sobre tolerância geométrica, as características toleradas podem ser relacionadas a: **forma, posição, orientação e batimento**.

A **tolerância de forma** é a variação permitida em relação a uma forma perfeita definida no projeto. Esta variação pode ser de:

- retitude
- planeza
- circularidade
- cilindridade
- perfil de linha qualquer
- perfil de superfície qualquer.

A **tolerância de orientação** refere-se ao desvio angular aceitável de um elemento da peça em relação à sua inclinação ideal, prescrita no desenho. Esse desvio pode ser de:

- paralelismo
- perpendicularidade
- inclinação.

A **tolerância de posição** estabelece o desvio admissível de localização de um elemento da peça, em relação à sua localização teórica, prescrita no projeto. Pode ser de:

- concentricidade
- coaxialidade
- simetria
- posição.

A **tolerância de batimento** refere-se a desvios compostos de forma e posição, em relação ao eixo de simetria da peça, quando esta é submetida a rotação. Pode ser :

- circular
- total.

Quanto à direção pode ser **axial, radial, especificada** ou **qualquer**.

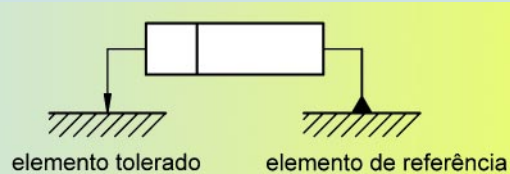


Figura 8 - Tolerância relacionada à posição.

## SÍMBOLOS INDICATIVOS DAS TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS

Cada tipo de tolerância geométrica é identificado por um símbolo apropriado. Esses símbolos, que devem ser desenhados conforme prescreve a norma ISO 7083:1983, são usados nos desenhos técnicos para indicar as tolerâncias especificadas.

A **tabela 1** apresenta uma visão de conjunto das tolerâncias geométricas e seus respectivos símbolos.

Cada uma dessas tolerâncias será explicada detalhadamente nos próximos artigos. Por ora, é importante que você saiba como são feitas as indicações dessas tolerâncias nos desenhos técnicos.

### Indicação das tolerâncias geométricas nos desenhos técnicos

Nos desenhos técnicos, a característica tolerada deve estar indicada em um quadro retangular, dividido em duas ou mais partes. Nessas divisões são inscritos, da esquerda para a direita, na seguinte ordem:

- Símbolo da característica a ser tolerada;
- Valor da tolerância para dimensões lineares. Se a zona de tolerância tiver a forma circular ou cilíndrica, este valor deve ser precedido do símbolo de diâmetro ( $\varnothing$ );
- Letra ou letras, quando for o caso, para identificar os elementos tomados como referência.

As proporções dos caracteres são padronizadas pela NBR 8402:1994 e as dimensões do quadro pela ISO

Características toleradas			Símbolos
Elementos isolados	Forma	retitude	—
		planeza	▭
		circularidade	○
Elementos isolados ou associados		cilindricidade	⌀
		perfil de linha qualquer	⌒
		perfil de superfície qualquer	⌒
Elementos associados	Orientação	paralelismo	//
		perpendicularidade	⊥
		inclinação	∠
	Posição	posição	⊕
		concentricidade	◎
		coaxialidade	⌀
		simetria	≡
	Batimento	circular	↗
		total	↗↗

Tabela 1 - Tolerâncias geométricas e símbolos.

Características	Dimensões recomendadas						
Altura do quadro	5	7	10	14	20	28	40
Altura do caractere	2,5	3,5	5	7	10	14	20
Altura da linha	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

Tabela 2 - Dimensões conforme característica do quadro/caractere.

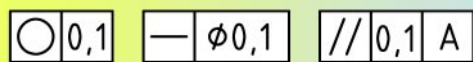


Figura 9 - Exemplos de quadros de tolerância.

7083:1983. A **tabela 2** apresenta as dimensões recomendadas, em milímetros, de acordo com as características do quadro e do caractere.

Os exemplos mostrados na **figura 9** ilustram diferentes possibilidades de indicação nos quadros de tolerância.

No desenho da esquerda, o símbolo indica que se trata de tolerância de circularidade. O valor 0,1 indica que a tolerância é de um décimo de milímetro, no máximo. Neste caso, trata-se de tolerância de um elemento isolado.

No desenho do meio, o valor da tolerância também é de um décimo de milímetro, mas o símbolo indica que se trata de tolerância de retitude. A novidade é o sinal de diâmetro antes do valor da tolerância, que in-

dica que campo de tolerância neste caso tem a forma cilíndrica.

No desenho da direita, o símbolo mostra que está sendo indicada uma tolerância de paralelismo. Este tipo de tolerância só se aplica a elementos associados. Portanto, é necessário identificar o elemento de referência, neste exemplo representado pela letra A.

No exemplo anterior, apenas um elemento foi tomado como referência. Mas, há casos em que é necessário indicar mais de um elemento de referência. Quando isso ocorre, algumas regras devem ser seguidas. Os exemplos ilustrados na **figura 10** mostram as formas possíveis de indicação de mais de um elemento de referência.

No desenho da esquerda, as letras A, C e B servem para indicar quantos e quais são os elementos tomados como referência.

Quando as letras que representam os elementos de referência aparecem em compartimentos separados, a sequência de apresentação, da esquerda para a direita, indica a ordem de prioridade. Neste exemplo, o elemento de referência A tem prioridade sobre o C e o B; e o elemento C tem prioridade sobre o B.

Na figura do meio, as letras A e B aparecem no mesmo compartimento. Isso indica que os dois elementos de referência têm a mesma importância.

Se a tolerância se aplicar a vários elementos repetitivos, isso deve ser indicado sobre o quadro de tolerância, na forma de uma nota. O número de elementos aos quais a tolerância se refere deve ser seguido por um sinal de multiplicação ou pode-se escrever diretamente a quantidade de elementos a serem tolerados, como mostram as **figuras 11 e 12**.

Se for necessário especificar alguma **restrição quanto à forma** do elemento tolerado, essa restrição deve ser escrita próxima ao quadro de tolerância, ligada ou não ao quadro por uma linha. Observe a **figura 13**.

Nos exemplos apresentados, a inscrição “não convexo” significa que a superfície efetiva, além de

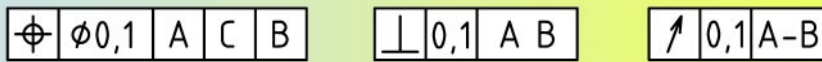


Figura 10 - Indicações possíveis de mais de um elemento de referência.

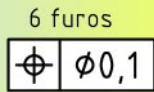


Figura 11 - Indicação da quantidade de elementos tolerados.

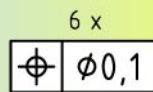


Figura 12 - Indicação da quantidade de elementos tolerados.

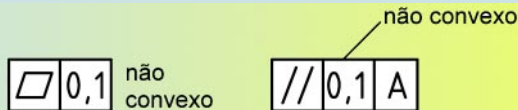


Figura 13 - Indicação de restrição quanto à forma.

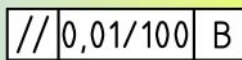


Figura 14 - Indicação de restrição quanto à extensão.

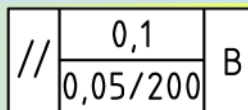


Figura 15 - Indicação de tolerância mais apertada.

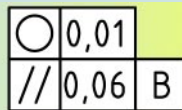


Figura 16 - Indicações de mais tolerâncias (2 quadros).

estar dentro dos limites especificados, não pode apresentar perfil convexo.

Se a **restrição for relacionada à extensão** em que a característica tolerada deve ser verificada, o comprimento da parte a ser verificada deve ser especificado no quadro de tolerância, após o valor da tolerância e separado dele por uma barra inclinada, como mostra a **figura 14**, acima.

No exemplo, o valor ao lado da tolerância de 0,01mm significa que o paralelismo do elemento tolerado em relação ao elemento de referência B, deverá ser verificado numa extensão de 100 mm livremente escolhidos ou indicados no desenho da peça.

Pode ser necessário, em alguns casos, indicar uma tolerância mais apertada para uma parte do elemento tolerado. Nesses casos, a indicação restrita a uma parte limitada da peça deve vir indicada no quadro de tolerância, num compartimento abai-

xo da tolerância principal, como na **figura 15**.

Nesse exemplo, deve ser observada a tolerância de paralelismo em relação ao elemento de referência B, de no máximo 0,1 mm, que é a tolerância principal. Ao longo da extensão tolerada, uma parte com o comprimento de 200 mm admite uma tolerância de paralelismo **menor**, de no máximo 0,05 mm, em relação ao mesmo elemento de referência B.

Caso um mesmo elemento tenha de ser tolerado em relação a mais de uma característica, as especificações de tolerâncias devem ser feitas em dois quadros, um sobre o outro, como mostra a **figura 16**.

No exemplo apresentado, o mesmo elemento está sendo tolerado simultaneamente quanto à circularidade e quanto ao paralelismo em relação ao elemento de referência B.

Algumas vezes, uma indicação de uma tolerância engloba outra e, portanto, não é necessário indicar as duas. Basta especificar a mais abrangente. Por exemplo, a condição de retitude está contida na especificação de paralelismo. Porém, o contrário não é verdadeiro: a tolerância de retitude não limita erros de paralelismo.

Dois outros símbolos podem aparecer no quadro de tolerância, ao lado do valor numérico. São eles: o símbolo indicativo da condição de máximo material (M) e o símbolo indicativo de campo de tolerância projetado (P), que tanto pode aparecer após o valor da tolerância como após a letra de referência, ou ainda depois dos dois. A aplicação deste símbolo é padronizada pela norma ISO 2692:1988. Veja na **figura 17**.

O símbolo (P) é aplicado em alguns casos em que as tolerâncias de orientação e de posição não devem ser indicadas em relação ao próprio elemento tolerado, mas sim em relação a uma projeção externa dele. A aplicação deste símbolo é padronizada pela ISO 10578:1992. Atente para a **figura 18**.

Há várias maneiras de fazer as indicações de tolerâncias geométricas nos desenhos técnicos. No próximo artigo, serão examinados os modos de representar o quadro de tolerância em relação aos elementos tolerados. Depois, serão analisadas as formas aceitáveis de indicação dos elementos de referên-

## Bibliografia

- SENAI-SP. **Tolerância geométrica**. Brasília, SENAI/DN, 200. 122p. ISBN 85-87090-77-1

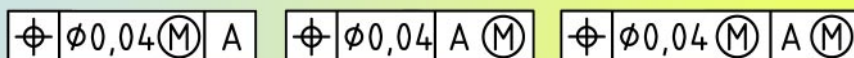


Figura 17 - Indicações de máximo material (M) e tolerância projetada (P).

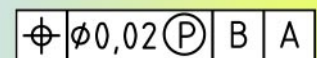


Figura 18 - Indicação (P) em relação à projeção externa do elemento tolerado.

# Atuadores Pneumáticos

José Ricardo da Silva

**U**ma das funções da Mecatrônica é apresentar soluções de automação para processos industriais. Tanto nos processos de manufatura como nos processos contínuos, os movimentos estão presentes nas operações de fixação, alimentação, abertura e fechamento de válvulas, etc. Esses movimentos são executados por elementos de trabalho chamados de Atuadores. Recebem este nome porque são eles que atuam no processo, substituindo os acionamentos manuais em sistemas automáticos.

A automação industrial é resultante da integração de três tecnologias básicas: Sensores, Controladores e Atuadores. Dentro deste contexto, temos os atuadores pneumáticos, amplamente utilizados nas plantas industriais. Neste aspecto, a tecnologia pneumática é fundamental para a Mecatrônica.

A tecnologia de atuadores considera toda a técnica necessária ao seu funcionamento e controle. Os atuadores pneumáticos, funcionam com energia pneumática (Ar Comprimido) e executam movimentos lineares, rotativos e semi-rotativos ou angulares (um tipo de atuador para cada tipo de movimento). Três são as variáveis básicas controladas: sentido de movimento, velocidade e força. Para controlar estas variáveis em atuadores pneumáticos são utilizadas válvulas pneumáticas. Válvulas Direcionais para controlar o sentido de movimento, Válvulas de Fluxo para controlar a velocidade e Válvulas de Pressão para controlar a força.

O mecatrônico é um profissional que precisa estar atualizado. Não basta conhecer a tecnologia, como funciona, como se aplica, como contro-

la. É necessário conhecer também as novidades oferecidas pelo mercado a fim de cumprir sua função de otimizador e potencializador dos recursos da planta de automação que está sob sua responsabilidade, de forma permanente, fazendo as alterações sempre que se caracterizar um ganho de produtividade ou simplificar os procedimentos de manutenção, reduzindo os tempos de intervenção e conseqüentemente hora de máquina parada.

Por isso, o tema Pneumática será desenvolvido a partir de atuadores, passando nos próximos números pelo controle das variáveis por meio das válvulas até metodologias de construção de circuitos pneumáticos.

Os atuadores pneumáticos operam com ar comprimido entre 6 e 8 bar de pressão, isto porque esta é a faixa mais econômica para trabalho. São elementos duráveis. Atuadores lineares, também chamados de cilindros pneumáticos quando sua forma geométrica é cilíndrica, operam normalmente até 3000 km sem lubrificação, caso dos atuadores construídos para trabalhar nesta condição, e 6000 km com lubrificação, podendo aceitar ou não o reparo. A condição (com ou sem lubrificação) é estabelecida pela aplicação, em processos de indústrias químicas, alimentícias e farmacêuticas por exemplo devem ser sem lubrificação para evitar contaminação. (O critério Quilometragem se refere a distância percorrida pelo elemento de vedação, variando o número de ciclos de acordo com o curso do atuador).

## TIPOS DE ATUADORES PNEUMÁTICOS

**Simples ação (figura 1):** executa trabalho em um único sentido de



Figura 1 - Atuador pneumático de simples ação (foto, cortesia da FESTO).

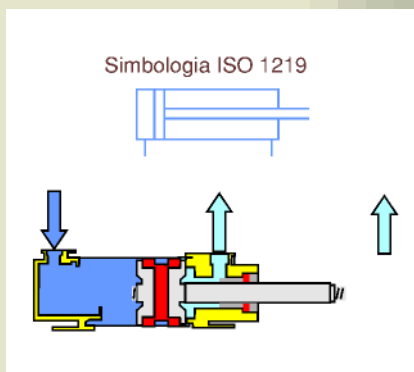


Figura 2 - Atuador pneumático de dupla ação.

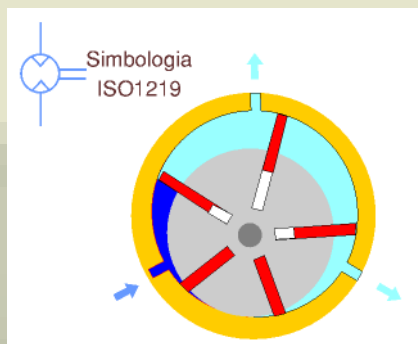


Figura 3 - Atuador rotativo.

movimento, voltando à posição de repouso por mola ou por força externa. A posição de repouso normal é com a haste recolhida, porém, podemos ter também com a haste na posição avançada.

**Dupla ação (figura 2):** executa trabalho nos dois sentidos de movimento, sendo acionado por ar comprimido em ambos os lados alternadamente.

**Atuador Rotativo ( Motor Pneumático – figura 3):** os motores pneumáticos fornecem movimento giratório contínuo, e são aplicados principalmente em ferramentas manuais como furadeiras, aparafusadeiras, canetas de dentista utilizadas para desbastar o dente antes de uma obturação, politrizes, etc. As vantagens básicas em relação a ferramenta elétrica são : peso reduzido, proteção contra sobrecarga, que permite ficar acionada mesmo travada sem o risco de danos, e não aquece pois o próprio ar de trabalho já faz a refrigeração contínua entre outras.

**Atuador semi-rotativo (figura 4):** aplicado em movimentos angulares.

A partir dos atuadores básicos, os fabricantes oferecem variações, que são soluções prontas. É importante que o usuário pesquise e encontre a opção que melhor atenda a sua necessidade.

Vejam os alguns exemplos:

**Cilindro com haste passante:** guia para manter alinhamento da haste.



Figura 4 - Atuador semi-rotativo (foto, cortesia da FESTO).

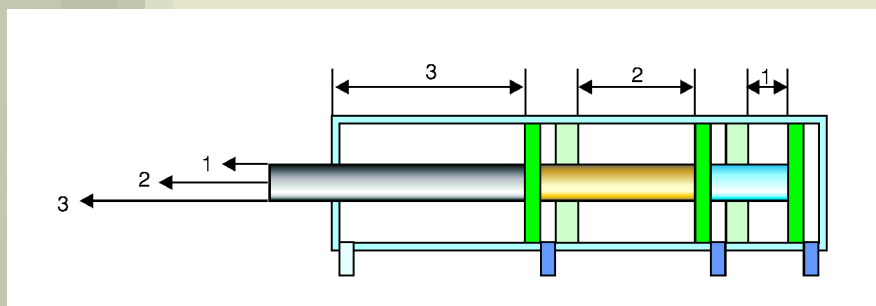


Figura 5 - Cilindro de múltiplas posições.

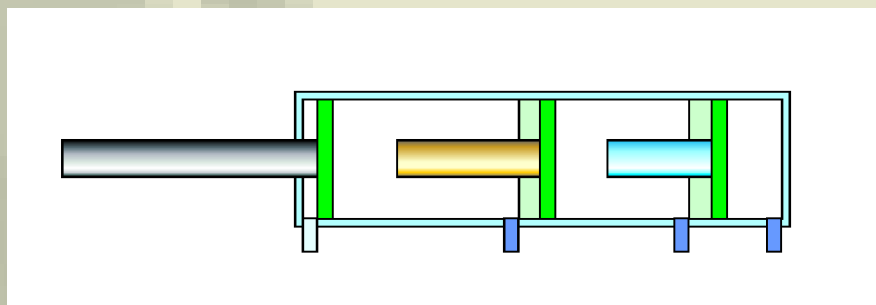


Figura 6 - Estrutura de três êmbolos .

**Cilindro de haste passante**  
**Vazada:** permite envase de líquidos, fluxo de ar ou vácuo ou até mesmo fios para ligar algum dispositivo elétrico preso na extremidade da haste, observando cuidados de segurança, garantindo a isolamento elétrica necessária.

**Opção com êmbolo magnético:** sensorização, possibilita a captação da posição do atuador por meio de sensores magnéticos ou indutivos.

**Cilindro de múltiplas posições (figura 5):** este atuador consegue 4 posições garantidas mecanicamente, possui 3 entradas de

pressão independentes ( ) para avanço e uma entrada para retorno ( ).

São três êmbolos com haste independentes onde as hastes dos atuadores menores encostam e empurram os êmbolos dos atuadores da frente, e o atuador maior sempre reposiciona o conjunto, conforme mostra a figura 6.

**Atuadores Geminados (figura 7):** conseguem também múltiplas posições, permitindo ao usuário obter várias posições garantidas mecanicamente. Existem modelos prontos, e acessórios que permitem ao cliente montar o seu próprio cilindro

geminado. No modelo anterior, as posições são obtidas progressivamente, enquanto que no cilindro geminado, além do corpo central se movimentar, pode ocorrer que para alcançar alguma posição seja necessário voltar antes de avançar, ou passar da posição e recuar.

Existem ainda **atuadores especiais** para aplicação em solda pon-

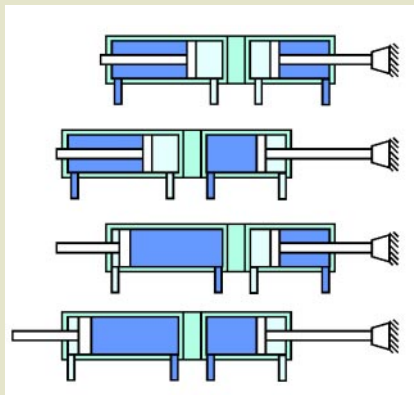


Figura 7 - Atuador geminado.

to, por exemplo, onde o curso durante o ponteamto é pequeno e pode ser necessária uma abertura maior da pinça para acessar pontos internos de uma estrutura com dobras e nervuras. Neste caso, o êmbolo do atuador maior é um cilindro de simples ação, podendo ser também de dupla ação. Observe a **figura 8**.

**Muscle (figura 9):** é um atuador de simples ação, aplicado em situações que exigem tração e retorno por força externa, é uma “mangueira” com características próprias para reduzir em até 20% o seu comprimento quando pressurizada. Ao inflar, o *muscle* aumenta o diâmetro e reduz o comprimento. A grande vantagem, é que comparado a um atuador convencional de mesmo diâmetro externo, consegue exercer uma força dez vezes maior. Por não ter partes móveis, não precisa de lubrificação, pode traba-

lhar em ambientes com contaminantes que prejudicariam uma haste.

Para substituir atuadores de dupla ação utiliza-se dois *muscles*. A cada vez que um lado é pressurizado a peça vermelha é deslocada para um lado, conforme ilustra a **figura 10**.

**Atuadores sem haste (rodless - figura 11):** reduzem o espaço ocupado e permitem cursos até 6 m, são utilizados para tarefas de transferências e manipulação.

A **figura 11** mostra um cilindro sem haste com acoplamento magnético, que consiste de um tubo com um êmbolo magnético dentro e fora uma bucha também magnética. O campo magnético obriga a bucha a acompanhar o movimento do êmbolo. Importante: ocorre o desacoplamento magnético sempre que o limite de força é ultrapassado.

Para restabelecer o acoplamento, basta acionar o êmbolo na sentido da bucha e remover a causa do desacoplamento. Esta característica pode ser importante em aplicações que, no caso de impacto, devem liberar o sistema.

Quando a possibilidade de desacoplamento é indesejável por questões de segurança ou qualquer outro motivo, utiliza-se um cilindro sem haste com um torpedo impulsionado por uma cinta de aço.

**Cilindro sem haste com acoplamento mecânico (figura 12):** o

Atuador de curso maior (principal) recuado e atuador de curso menor (interno, êmbolo em verde, também recuado.)

Atuador de curso maior (principal) avançado e atuador de curso menor recuado

Os dois atuadores avançados

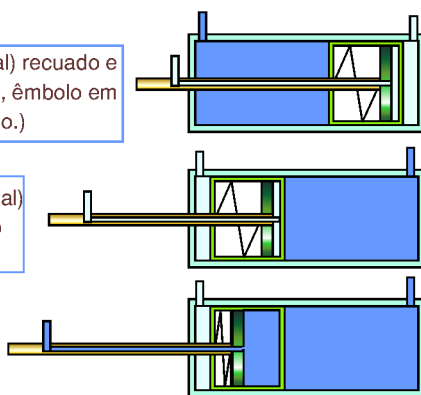


Figura 8 - Atuadores especiais.

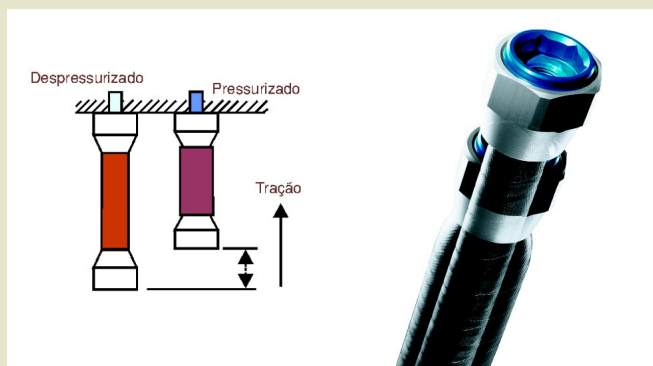


Figura 9 - Muscle (foto, cortesia da FESTO).

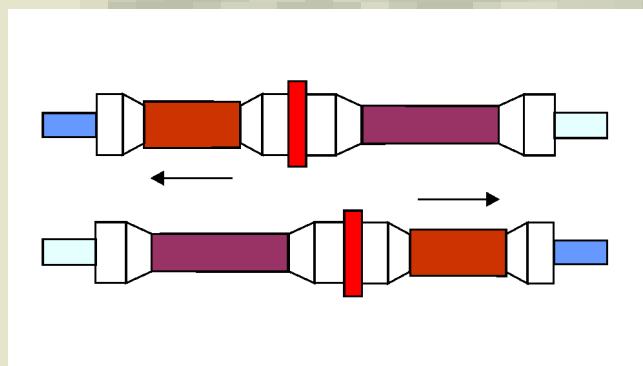


Figura 10 - Substituindo atuadores de dupla ação.

torpedo é empurrado por uma fita de aço, que sofre a ação de um êmbolo conforme desenho esquemático abaixo.

**Cilindro Tandem (figura 13)**, consiste de um atuador com mais de um êmbolo ligados a uma única haste, com o objetivo de utilizar um cilindro com diâmetro reduzido, porém, com mais força, obtida por meio da somatória de áreas em que a pres-

são irá atuar. Normalmente utilizado em pequenos cursos.

O cálculo de força de um atuador linear pneumático obedece ao princípio de Blaise Pascal.

A fórmula básica de força considera a pressão de trabalho e a área de atuação da mesma. Para executar um trabalho com eficiência e eficácia, a força do atuador deve ser de 10% a 15% maior do que a carga a ser movimentada.

O mecatrônico, na tarefa de apresentar soluções de automação, pode necessitar de atuadores especiais, que fogem da linha de produtos de lista. Neste momento, o conhecimento de Mecânica é importante, pois muitas vezes encontramos profissionais tentando resolver na programação da máquina, problemas que são mecânicos e, portanto, a solução é instável apresentando variações durante o processo por não ser a mais adequada. Para o mecatrônico todas as tecnologias integradas no processo são importantes, porque a disfunção de qualquer uma delas, prejudica o sistema, por isso ele deve ser um multiespecialista.

Podemos ter por exemplo um cilindro de dupla ação com mola, para retorno imediato caso haja a depressurização da linha de ar comprimido, ou bloqueadores de haste, que são dispositivos instalados no atuador e travam a haste mecanicamente sempre que a linha é depressurizada. Hoje, a criatividade está em constante exercício, e os fabricantes desenvolvem a todo instante novas soluções para a automação, como a linha Clean, com *designer* sem ranhuras, nervuras, ou geometrias que possam acumular sujeira e favorecer a contaminação em processo das áreas alimentícia, farmacêutica, química, enfim, utilizada em aplicações isentas de contaminação e com facilidades para lavar e limpar o sistema. Por isso, fique atento, o assunto é vasto. No próximo número veremos como controlar as três variáveis básicas dos atuadores pneumáticos. ▮

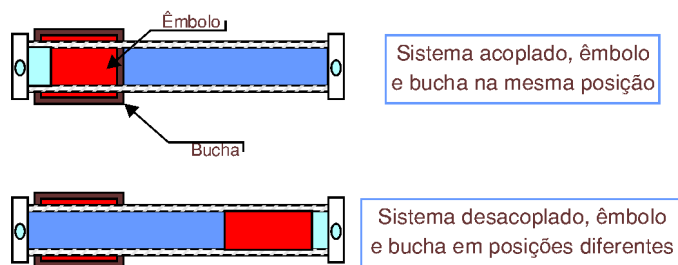


Figura 11 - Atuador sem haste.

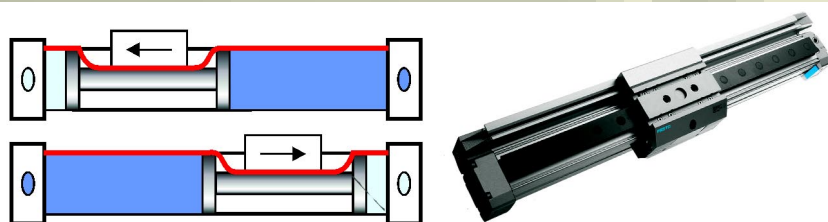


Figura 12 - Cilindro sem haste com acoplamento mecânico (foto, cortesia da FESTO).

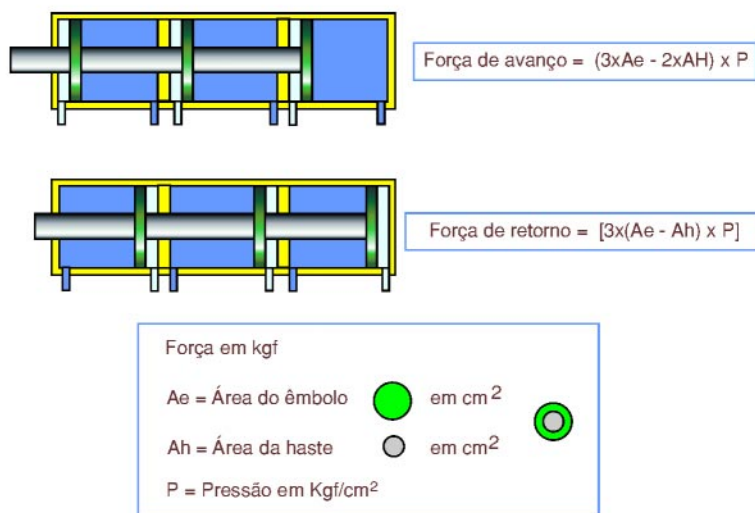


Figura 13 - Cilindro Tandem.

## Bibliografia

- **Apostila** de Automação pneumática do SENAI, software Fuidsim-P da Festo Didatic,

- **Catálogos** da Festo Automação Ltda, Parker Hannifin Ind. e Com. Ltda e Dover Controls Pneumáticos.

# EMC

## e EMI: Compatibilidade e interferência eletromagnética

Osmar Brune

Projetistas e técnicos eletrônicos podem ser classificados em dois grupos: os que já tiveram problemas com EMI, e os que ainda terão. EMI significa “electromagnetic interference”, ou interferência eletromagnética. EMC significa “electromagnetic compatibility”, ou compatibilidade eletromagnética.

**A EMI é um problema, e a EMC é a solução para esse problema.**

Este artigo inaugura uma série que abordará estes dois temas. Muitos técnicos consideram EMI e EMC como “artes negras”, que desafiam a lógica e a ciência. Mas, na verdade, assim como outros problemas técnicos, existem regras e estratégias para enfrentar o problema, além de normas que devem ser obedecidas para obter a EMC.

Nesta primeira matéria, fazemos uma introdução para estes dois assuntos, analisando os principais tipos de EMI, sem entrar em maiores detalhes. Diversos termos serão definidos, e muitas vezes será complicado traduzir todos para o português, portanto alguns serão utilizados em inglês. Discutiremos também porque normas são utilizadas para definir se determinado produto atinge a EMC para determinada aplicação.

Cada um dos próximos artigos abordará, de forma mais detalhada, tipos específicos de EMI, e as técnicas para resolver esses problemas, atingindo a associada EMC. Também serão mencionadas nestes artigos as normas que regulam esses tipos específicos de EMI/EMC.

### A POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA

**N**osso planeta está enfrentando outro problema ambiental crescente: a poluição eletromagnética.

O poluente é a EMI, que pode aparecer sob diversas formas. Esta poluição pode causar danos aos equipamentos eletroeletrônicos, que podem variar desde pequenas perturbações de funcionamento (exemplo: “penduramento” de um computador doméstico, interferência numa TV ou rádio), até a destruição de equipamentos (exemplo: queima de componentes). Ainda pior, pode causar sérios acidentes com vítimas humanas e/ou danos materiais (exemplo: a queda de um avião por falha de controles eletrônicos, acidente em uma indústria, etc).

Para evitar tais danos, há duas abordagens diferentes:

- reduzir as emissões eletromagnéticas, ou reduzir a poluição.
- aumentar a imunidade dos equipamentos eletrônicos, ou tolerar melhor a poluição.

Nem todas as emissões podem ser controladas ou reduzidas, pois algumas são fenômenos naturais (exemplo: raios, ou descargas atmosféricas). No entanto, quando uma emissão é feita por outro equipamen-

	<b>Equipamentos comerciais e domésticos</b>	<b>Equipamentos militares</b>	<b>Equipamentos médicos</b>
<b>Ambiente EMI</b>	Pouco agressivo	Todos os tipos, desde pouco agressivo até extremamente agressivo	Desde pouco agressivo até agressivo
<b>Atributos econômicos</b>	Alto volume, sensível ao custo	Baixo volume, pouco sensível ao custo	Baixo ou médio volume, pouco sensível ao custo
<b>Custo de uma falha</b>	Tipicamente baixo	Pode ser altíssimo	Moderado a alto
<b>Interesses fundamentais</b>	Interferência em TVs, rádio e microcomputadores, operação satisfatória para o consumidor	Sucesso da missão, não pode interferir em sistemas vitais, e deve operar bem em diversas condições experimentais e não usuais	Operação confiável e segura
<b>Foco das normas</b>	Emissão e imunidade	Emissão e imunidade	Primeiramente imunidade, depois emissões
<b>Impacto no projeto</b>	Moderado a difícil	Difícil	Difícil
<b>Comentários</b>	As normas são obrigatórias	As normas são obrigatórias, mas os níveis de emissão/imunidade podem ser negociados caso a caso.	Na Europa existem normas obrigatórias, onde limites para fuga de corrente impactam duramente na complexidade do projeto

Tabela 1 – Características de EMI/EMC para aplicações específicas.

to eletroeletrônico, pode-se e deve-se tentar reduzi-la.

O problema da poluição eletromagnética é crescente, pois o número de equipamentos eletrônicos se incrementa rapidamente, a velocidade destes equipamentos cresce, e suas dimensões decrescem. Em consequência, há mais fontes de ruído eletromagnético, com níveis maiores de emissão, e com níveis menores de imunidade. Algo deve ser feito para que as coisas não fiquem piores.

## NORMAS

Para combater a poluição eletromagnética, surgiram normas, cujo objetivo é forçar as empresas a criar produtos com menores níveis de emissão e maiores níveis de imunidade. Para que um produto atinja a EMC, ele deve se adequar

a normas locais ou internacionais, que podem ser obrigatórias ou voluntárias. Na Europa (CE = Comunidade Européia), tanto as normas de emissão como as de imunidade são obrigatórias. Nos Estados Unidos, as normas de emissão são obrigatórias, e as de imunidade são voluntárias, pois entende-se que produtos com baixa imunidade serão automaticamente rejeitados pelo mercado. Mesmo nos Estados Unidos, em alguns setores as normas são obrigatórias também para imunidade (setor militar, por exemplo).

Havendo ou não a obrigatoriedade, uma empresa e seus projetistas devem se preocupar em criar produtos que sejam compatíveis tanto com os níveis de imunidade como de emissão, para o tipo de aplicação a que se destinam. Do

contrário, esses produtos poderão ser rejeitados pelo mercado. Tenho observado, pessoalmente, que grandes clientes têm se preocupado cada vez mais em especificar as normas com as quais os produtos que compram devem ser compatíveis. Entre tais clientes pode-se citar empresas de energia, petróleo, siderurgia, mecânica e outras (estou falando mais especificamente da área de automação industrial, na qual trabalho).

Uma norma específica define precisamente o nível máximo de emissão e/ou o nível mínimo de imunidade que um produto eletrônico deve satisfazer, para determinado tipo de EMI, e para determinado tipo de aplicação. Ela também define os testes que devem ser executados para assegurar que um produto é compatível. No entanto, a norma geralmente não define como

	<i>Equipamentos veiculares</i>	<i>Equipamentos industriais</i>	<i>Equipamentos de telecomunicação</i>
<b>Ambiente EMI</b>	Extremamente agressivo	Agressivo	Desde pouco agressivo até agressivo
<b>Atributos econômicos</b>	Alto volume, extremamente sensível ao custo	Médio volume, não muito sensível ao custo	Médio volume, não muito sensível ao custo
<b>Custo de uma falha</b>	Moderado a alto	Moderado a alto	Moderado
<b>Interesses fundamentais</b>	Operação confiável e segura, interferência em rádios AM/FM embarcados	Operação confiável e segura	Operação confiável e segura
<b>Foco das normas</b>	Imunidade e emissões	Imunidade primeiramente, emissões depois	Emissões e imunidade
<b>Impacto no projeto</b>	Extremamente difícil	moderado a difícil	Moderado a difícil
<b>Comentários</b>	As normas são contratuais	As normas geralmente são voluntárias no Estados Unidos e obrigatórias na Europa	Normas mais rigorosas quando o equipamento não é instalado em um prédio dedicado

Tabela 2 – Características de EMI/EMC para aplicações específicas.

atingir a compatibilidade, isto é um problema para os projetistas desses produtos.

Existem normas diferentes para cada tipo de EMI, e também para tipos de aplicações desses produtos. Portanto, para determinado produto, inicialmente deve-se determinar sua aplicação. Depois disso, deve-se adequar o produto a todas as normas vinculadas a este tipo de aplicação.

As aplicações se dividem, normalmente, em seis grandes áreas. As **tabelas 1 e 2** mostram tais aplicações e suas características.

## ALGUMAS DEFINIÇÕES DE TERMOS

Os termos definidos nesta seção aparecerão freqüentemente neste e nos próximos artigos.

### EMI (*eletromagnetic interference*)

- é um problema que pode ser definido de maneira simples: um equipamento eletrônico não funciona como deveria porque energia elétrica indesejável, no lugar errado e no momento errado, produz efeitos indesejáveis.

**EMC** (*electromagnetic compatibility*) - é a solução para EMI. De maneira simples, um equipamento eletrônico funciona como deveria no seu ambiente eletromagnético especificado, e além disso não causa problemas a equipamentos vizinhos.

**RFI** (*radio frequency interference*) - é um termo mais antigo para EMI, quando os maiores problemas de interferência eram causados por transmissores de rádio. Mais tarde apareceu **TVI** (*television interference*), e finalmente o termo mais genérico, EMI.

**SI** (*signal integrity*) - é um termo relacionado com EMC, cuja ênfase

é manter sinais limpos num “mundo mais restrito”, como no interior de placas de circuito impresso. No entanto, as técnicas são similares às aquelas utilizadas para EMC/EMI. Enquanto SI trata com sinais no nível de mA e mV, EMC/EMI trata de sinais da ordem de mA ou mV do ponto de vista de emissões, e da ordem de kV e kA do ponto de vista de imunidade.

**PQ** (*power quality*) - é outro termo que vem sendo utilizado no âmbito de sistemas. Usualmente refere-se a problemas no suprimento de energia, tais como surtos, sobretensões, subtensões, transientes, faltas de energia e outros.

**Emissões** referem-se à energia originada do nosso equipamento, que pode ser **irradiada** ou **conduzida**.

## Tempo

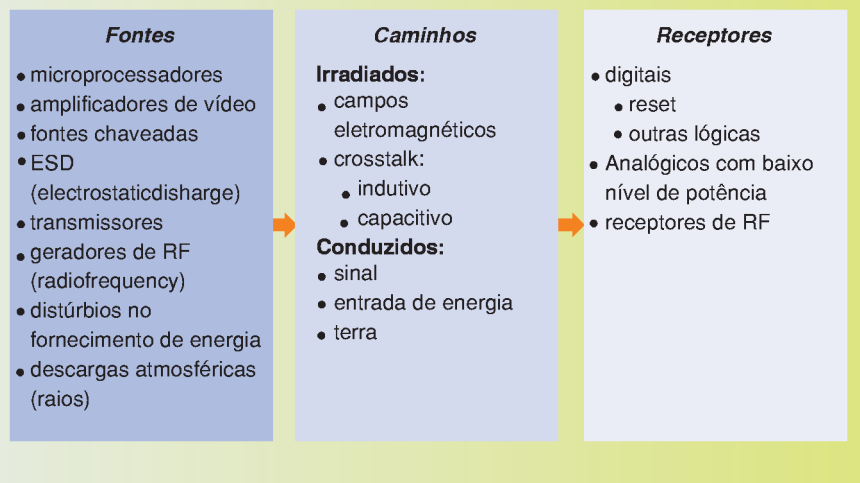


Figura 1 – Modelo Fonte-Caminho-Receptor.

Este parâmetro tem duas dimensões: curta duração e longa duração.

Em problemas de longa duração, tente estabelecer uma relação causa-efeito. As luzes enfraquecem quando o motor é ligado? (suspeita de distúrbios no fornecimento de energia). Problemas acontecem quando alguém toca no equipamento? (suspeita de ESD).

Para problemas de curta duração, observe tempos de subida, que podem ser convertidos para frequências equivalentes. Geralmente se trabalha no domínio da frequência para análise de problemas de EMI. Uma boa regra é utilizar a seguinte fórmula para determinar a frequência equivalente para sinais digitais e transientes:

$$\text{frequência} = 1/(\pi \cdot \text{tempo\_de\_subida})$$

## Impedância

Deve-se determinar a impedância de saída da fonte e de entrada do receptor. Quanto mais parecidas forem, maior a chance de haver um problema de EMI, pois maximiza-se a transferência de potência.

Isto também pode ser associado com acoplamento irradiado, onde altas impedâncias são associadas com campos elétricos, e baixas impedâncias com campos magnéticos.

Deve-se observar que as impedâncias podem variar muito rapidamente em um circuito em função da frequência. Por exemplo, num mesmo circuito LC ressonante, pode-se ter impedâncias variando de muito altas a muito baixas, em função da frequência.

## Dimensões

Finalmente, deve-se observar as dimensões físicas, em particular comprimentos de cabos e tamanho de aberturas e ranhuras no chassis de equipamentos, visto que todos estes elementos funcionam como antenas.

**Suscetibilidade** refere-se à energia no meio ambiente que pode afetar nosso equipamento. **Imunidade** é um termo alternativo para suscetibilidade, que também pode ser irradiada ou conduzida.

Isso resulta em quatro categorias de EMI:

- **RE:** *radiated emissions*
- **CE:** *conducted emissions*
- **RS:** *radiated susceptibility*
- **CS:** *conducted susceptibility*.

## DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS EMI

Para diagnosticar um problema de EMI, o modelo **fonte-caminho-receptor** pode ser bastante útil. São necessários três componentes, ao mesmo tempo, para existir um problema de EMI:

- uma **fonte** de energia
- um **receptor** que possa ser perturbado por esta energia
- um **caminho** para acoplar esta energia indesejável entre a fonte e o receptor.

A **figura 1** mostra exemplos típicos destes 3 componentes.

Observa-se que existem diversas combinações possíveis entre estes três componentes, mas nem todas resultam em um problema de EMI.

A segunda fase do diagnóstico é a coleta de informações. Diversos parâmetros podem afetar o diagnóstico, por exemplo:

- qual a sensibilidade do circuito?
- qual a frequência do ruído?
- quão longos são os cabos?

Deve-se tentar obter informações sobre no mínimo cinco parâmetros essenciais:

- 1) Frequência
- 2) Amplitude
- 3) Tempo
- 4) Impedância
- 5) Dimensões

## Frequência

Este é um parâmetro chave. Se você tem um problema de EMI, você normalmente pode saber a frequência exata do ruído, ou às vezes pode necessitar estimá-la. Normalmente, quanto maior a frequência, maior a chance do caminho de acoplamento ser irradiado, e quanto menor a frequência, maior a chance do caminho de acoplamento ser conduzido.

## Amplitude

Tanto a fonte como o receptor devem ser avaliados quanto a este aspecto. A combinação mais desfavorável ocorre quando uma fonte potente está próxima de um receptor muito sensível.

Deve-se procurar por dimensões que sejam frações significativas do comprimento de onda. Uma boa regra é detectar comprimentos superiores a 1/20 do comprimento de onda. O comprimento de onda pode ser obtido dividindo-se a velocidade da luz pela frequência.

Um fator agravante, neste caso, pode ser a ressonância. Se os comprimentos forem múltiplos de  $\frac{1}{4}$  de comprimento de onda, os cabos podem atuar como antenas ressonantes, muito eficientes tanto para irradiar como para absorver energia na forma de RF (radiofrequência). E isto não ocorre apenas com cabos, também pode aparecer em placas de circuito impresso, ranhuras e aberturas de chassis.

## OS PRINCIPAIS TIPOS DE EMI

### ESD

“Eletrostatic Discharge” é um sério problema para sistemas eletrônicos. O fenômeno divide-se em duas fases. Na primeira fase, chamada de **pré-descarga**, ocorre um acúmulo lento de energia, que dura da ordem de dezenas de segundos. Na segunda fase, chamada de **pós-descarga**, acontece uma rápida descarga da energia na forma de corrente, com duração da ordem de nanossegundos ou mesmo picossegundos.

A pré-descarga é feita através da transferência de elétrons de um objeto para outro, tipicamente através de atrito. Aparece uma tensão estática proporcional à carga e inversamente proporcional à capacitância do objeto, e esta vai crescendo (até ser suficientemente grande para formar um arco através do ar) até outro objeto, que é o arco de pós-descarga ESD (numa tempestade, o resultado é um raio).

Não é necessária uma descarga direta num sistema para lhe causar problemas. Uma descarga indireta provoca um intenso campo magnético, que pode perturbar sistemas a poucos metros de distância. Tipicamente a descarga indireta provoca perturbações, enquanto a descarga

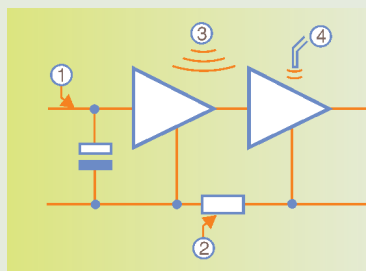


Figura 2 – Falhas provocadas por ESD.

direta pode provocar não apenas perturbações, mas também danos. Este danos podem ser imediatos (destruição de componentes) ou latentes (degradação de componentes, que falharão mais tarde).

Uma pós-descarga de ESD é muito rápida, tipicamente com tempos de subida na ordem de 1 a 3 nanossegundos (frequência equivalente de 100 a 300 MHz), e correntes de pico da ordem de dezenas de ampères. Em alguns casos, pulsos de ESD tem sido observados na faixa de 100 picossegundos, entrando na faixa dos GHz (pequenos comprimentos de onda, facilidade de encontrar “antenas” receptoras até mesmo em pequenas placas de circuito impresso). Desta forma, ESD é um problema que merecerá cada vez mais atenção, principalmente em equipamentos que trabalham em altas frequências.

A **figura 2** ilustra 4 tipos de falhas provocadas por ESD:

1. Incidência direta em entrada do circuito
2. Oscilações no terra do circuito
3. Campo eletromagnético
4. Campo elétrico na pré-descarga.

No caso 1, corrente de ESD incide diretamente numa entrada do circuito. Um dos efeitos mais prováveis é a destruição do componente.

No caso 2, corrente de ESD flui no terra do circuito. Normalmente assume-se que a impedância do terra seja muito baixa, mas com tempo de subida de 1 nanossegundo (frequência equivalente acima de 300 MHz), esta impedância não é tão baixa devido às indutâncias

parasíticas. Isto provocará oscilações no terra do circuito. O efeito normal é uma perturbação do circuito, mas em certos casos também poderá haver danos em componentes devido a estas oscilações (exemplo: fenômeno de “latch-up” em circuitos CMOS).

No caso 3, uma descarga de corrente até a alguns poucos metros do circuito provoca um campo magnético, e este por sua vez induz ruído no circuito. O efeito geralmente é perturbação do circuito, devido à baixa energia acoplada.

No caso 4, as altas tensões estáticas na fase de pré-descarga produzem um campo elétrico, que pode perturbar circuitos analógicos muito sensíveis. Raramente este fenômeno perturba circuitos digitais.

### Distúrbios no fornecimento de energia

Este problema está se agravando, não porque a qualidade da energia fornecida esteja piorando, mas principalmente porque os equipamentos eletrônicos modernos estão se tornando mais vulneráveis a distúrbios nas linhas de energia. Esta situação tem aparecido, principalmente, pela falta de boas definições de requisitos de imunidade, mas ela está mudando devido ao aparecimento de normas e regulações.

Tais requisitos variam desde simples, como tensões mínima e máxima, até mais sofisticados, como EFT (*electrically fast transients*) e transientes devidos a descargas atmosféricas.

EFT simula arcos e outros ruídos de alta velocidade que podem confundir sistemas microprocessados. Estes ruídos de alta velocidade geralmente são tolerados por equipamentos antigos e lentos, mas podem afetar equipamentos rápidos.

Testes simulando transientes devidos a descargas atmosféricas podem ser destrutivos, mas situações reais podem acontecer quando um raio atinge uma linha de energia.

Pode-se tolerar a destruição de componentes, desde que isto não resulte em algo mais perigoso (como em fogo).

Alguns testes mais recentes simulam a injeção de RF em linhas de energia.

Circuitos analógicos e digitais respondem de forma diferente a tais distúrbios. Circuitos digitais são facilmente perturbados por pulsos rápidos (*spikes*), e circuitos analógicos podem ser perturbados por sub tensões, surtos e energia RF. Ambos também podem ser afetados por sub tensões de longa duração, que podem comprometer o suprimento de energia.

Do ponto de vista de emissões, um novo campo de interesse são as harmônicas causadas por cargas não lineares, tais como fontes chaveadas e outras cargas eletrônicas, que tipicamente consomem mais potência no pico do ciclo de tensão alternada, ao invés de em todo o ciclo senoidal. Estas harmônicas contribuem para *estressar* o sistema de distribuição de energia, aumentando as perdas. Por este motivo, novas normas estão surgindo para regular harmônicas em linhas de energia.

A **figura 3** apresenta diversos tipos de distúrbios em linhas de energia.

## RFI

“Radio Frequency Interference” é o problema causado em um sistema por um transmissor próximo. A fonte é um transmissor de rádio, o caminho é a radiação eletromagnética, e o receptor é o sistema perturbado pela energia na forma de RF.

Trata-se de um problema sério, devido principalmente à proliferação de transmissores de rádio, incluindo desde sistemas de alta potência (TV, radar, telemetria) até sistemas de baixa potência (rádios portáteis e telefones celulares). Ele é particularmente grave em equipamentos analógicos com alta sensibilidade.

O problema não é causado sempre por altas potências e grandes

antenas. Na realidade, a maior parte dos problemas observados são causados por rádios portáteis operados próximos dos sistemas perturbados. O parâmetro importante é a intensidade do campo elétrico, que é função da potência e da distância da antena. Típicos níveis que causam problemas são campos elétricos na faixa de 1 V/m até 10 V/m. Como regra, um rádio de 1 W produz um campo de 5 V/m a um metro de distância.

## Incompatibilidade interna

Alguns sistemas perturbam a si mesmos. Isto inclui sistemas com tecnologias mistas, tais como analógica/digital, motor/relé/digital. No primeiro caso, circuitos digitais tendem a perturbar os analógicos. No segundo caso, o motor e relés tendem a perturbar os circuitos digitais. Há um terceiro caso, circuitos digitais de alta velocidade, onde os circuitos causam perturbações entre si (ver definição anterior de *Signal Integrity*).

Muitas vezes os projetistas estão cientes deste tipo de problema,

mas não o consideram como um problema de EMI. Entretanto, muitas das técnicas de projeto para EMC podem ser aplicadas com sucesso também nestes casos. As leis da Física não consideram onde você decidiu desenhar as fronteiras do seu sistema.

## CONCLUSÕES

Este artigo inaugural sobre EMC/EMI teve como objetivo mostrar um panorama geral dos problemas causados por EMI. Deve servir também para alertar sobre a poluição eletromagnética, e os esforços (em especial normas) para combatê-la. Nos próximos artigos, cobriremos tópicos específicos, de maneira mais detalhada, abordando não apenas o problema de EMI em si, como também as técnicas normalmente utilizadas para resolvê-los, isto é, para buscar a EMC.

## Bibliografia

- Daryl Gerke e Bill Kimmel - **EDN: The Designer's Guide to Electromagnetic Compatibility** - Kimmel Gerke Associates Ltd.

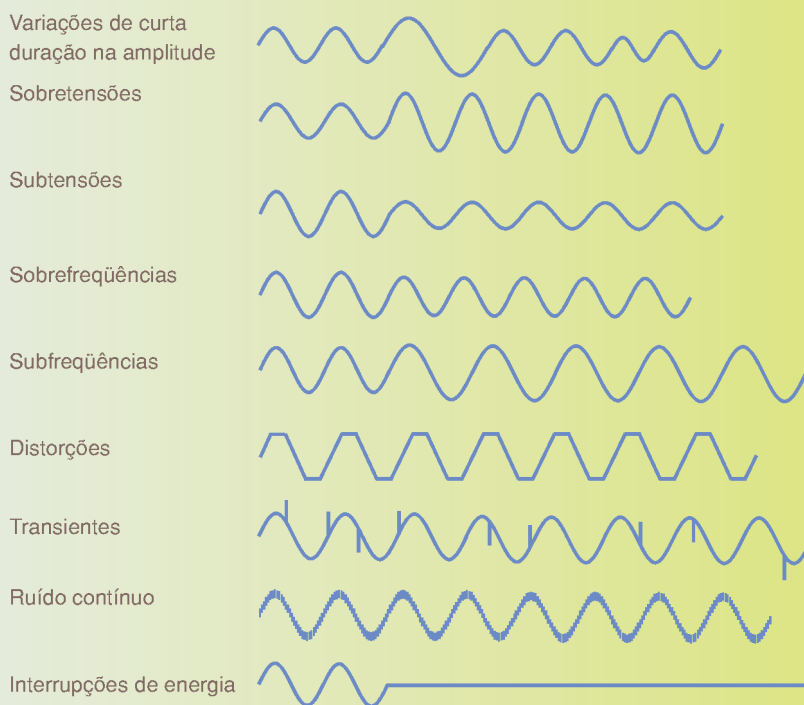


Figura 3 - Tipos de distúrbios no fornecimento de energia.

# Soldagem Industrial

## 1ª Parte

Marco Antônio Soares

### INTRODUÇÃO

**I**niciamos nesta edição uma série de artigos sobre soldagem para acrescentar conhecimento técnico aos leitores a respeito de área tão importante na indústria e, embora importante, tão desconhecida em seus fundamentos e parâmetros principais. É evidente que estes artigos que se seguirão não têm a pretensão ou até a possibilidade de esgotar o assunto, mas com certeza serão de grande valia para aqueles que desejam conhecer um pouco mais sobre o princípio de funcionamento deste processo de fabricação tão empregado em montadoras de automóveis e também na fabricação de vasos de pressão, turbinas, e outros produtos da caldeiraria pesada.

Há na produção uma dificuldade de que nasce na comercialização e concorrência de um produto: a questão do custo final do produto (peça); obviamente não iremos entrar aqui em gestão de negócios (que é uma das formas de você diminuir custos), mas iremos focalizar o aspecto 'o que pode baratear o meu produto final?' sabendo que existem práticas na indústria que podem acarretar custos extraordinários, apenas porque ninguém nunca ousou perguntar: Esta quantidade de gás é realmente necessária?; Esses chanfros na peça são realmente necessários?; Este tratamento térmico está ajudando ou atrapalhando na obtenção da qualidade do produto final?.

Quando estudarmos os fundamentos ou os princípios envolvidos, teremos condições de avaliar com

clareza se realmente a prática tem razão. É claro que, com isso, não estou desprezando o conhecimento obtido em anos de labuta nesta área por excelentes profissionais, mas, partindo deste conhecimento prático e com o teórico (fundamentos) aqui apresentados, poderemos reduzir alguns custos em nossos processos de fabricação.

### BREVE HISTÓRICO DA SOLDAGEM

As mais antigas notícias que se tem sobre a soldagem estão em uma peça do Museu do Louvre em Paris, um pingente de ouro com indicações de solda, feito na Pérsia (4.000 AC). Temos também a soldagem por forjamento da "Espada de Damasco" (1.300 AC) e a utilização de uma

espécie de maçarico soprado pela boca, usado para fundir e soldar bronze, técnica legada a gregos e romanos.

A arqueologia tem revelado obras metálicas soldadas, de difícil aplicação operacional, tendo em vista as poucas disponibilidades técnicas daqueles tempos: é o caso dos pilares de ferro da cidade de Delhi, na Índia. Ali existe um pilar de sete metros de altura e mais de cinco toneladas, fabricado por forjamento, soldado da seguinte maneira: os blocos eram aquecidos ao rubro, colocava-se areia entre eles e martelava-se até a formação da solda. Citaremos a seguir algumas datas com os eventos mais importantes:

**1801** - Sir Humphrey Davy cria um arco elétrico entre os terminais de um circuito.



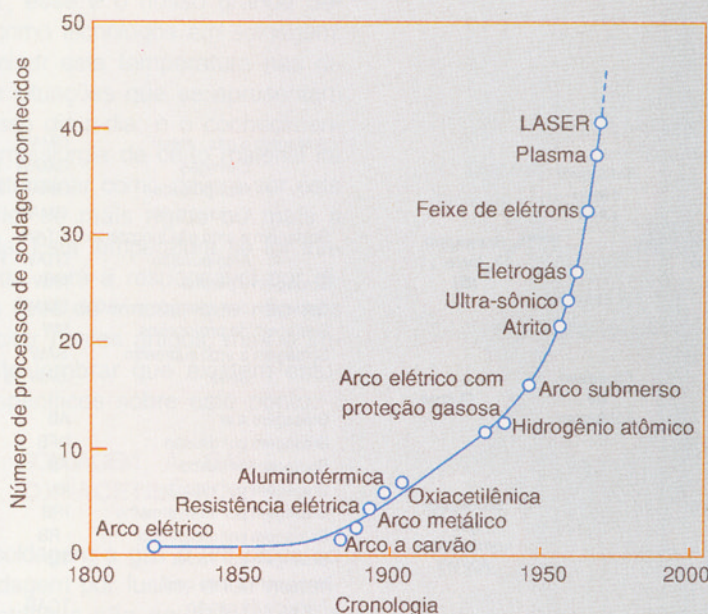


Figura 1 – Evolução dos processos de soldagem ao longo do tempo.

**1836** - Edmund Davy descobre o gás **Acetileno** e, mais tarde, Wohler descobriu a forma de obtenção desse mesmo gás, a mistura de água e carbureto de Cálcio.

**1847** - Hare funde 1 kg de platina com um maçarico oxi-hídrico (oxigênio + hidrogênio).

**1877** - Thonson sistematiza e estuda a soldagem por resistência.

**1885** - Bernardos usa o eletrodo de carvão para fusão localizada do aço, realizando também a primeira soldagem a ponto por resistência com o eletrodo de carvão.

**1895** - Le Chatelier estuda a chama oxiacetilênica e prevê suas aplicações industriais.

Na **figura 1** temos uma linha do tempo citando os processos de soldagem mais conhecidos.

## O QUE É SOLDAGEM

Existem muitas definições sobre este assunto, mas iremos utilizar a definição oficial por ser operacional (que é o que buscamos) não discorrendo muito do ponto de vista teórico. A definição da *American Welding Society* – AWS nos diz:

“Processo de união de materiais usado para obter coalescência localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição.” Veja os processos de soldagem na **figura 2**.

Vamos entender aonde se situa a soldagem no processo de fabricação: É feito o projeto (desenho, métodos e processos, etc.), então os desenhos ‘descem’ para a fábrica, vamos trabalhar a matéria-prima (corte, torno, fresa, forja, etc...), vamos montar os conjuntos de nosso projeto (solda, parafusamento, encaixe, colagem, etc...), aqui no caso da solda temos uma necessidade, na maioria das vezes, de fazer um tratamento térmico (para conduzir metalurgicamente a peça até onde desejamos, ou seja, às características mecânicas necessárias e que foram determinadas no projeto), bem, depois vamos para o *Controle de Qualidade* (no caso da solda e da colagem) fazer os testes destrutivos (c/ corpo de prova, segundo ISO 9000) e/ou ainda os testes não-destrutivos (raio-X, ultrassom, líquido penetrante, etc...) detectando discontinuidades e falhas internas, que poderão ocasionar um ponto inicial de corrosão.

O assunto “solda” toca em diversas áreas e para aprimorar processos e desenvolver outros, três delas devem estar em contato constante: *projeto de equipamentos soldados* (observando-se sempre a viabilidade e acessibilidade da junta em questão, fato este nem sempre observado pelo pessoal de projetos, e que sempre traz imensas dificuldades na fabricação ocasionando aumento do custo da peça), *desenvolvimento e aperfeiçoamento dos equipamentos de soldagem* (é enganoso pensar que com qualquer máquina conseguimos fazer um trabalho de qualidade, e manter uma peça com qualidade assegurada requer um custo associado), *bem como dos materiais* (o conhecimento e atualização das informações sobre a matéria-prima com a qual se trabalha pode ser um diferencial importante para definir ou manter a qualidade final da peça).

## METALURGIA DA SOLDAGEM

Neste ponto, antes de falarmos dos processos de solda propriamente ditos, gostaria de apenas citar este tópico que é extremamente importante, sendo determinante na escolha de certo material.

Para cada material temos uma reação metalúrgica associada (por isso em cada processo de solda teremos algo a respeito deste assunto), mas podemos aqui mostrar principalmente o que ‘normalmente’ se deseja em uma solda bem feita. Vamos recorrer à definição de soldagem da AWS: “Processo de união de materiais, usado para obter coalescência localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição.”

Vamos dividi-la em: “**Processo de união de materiais ...**” os materiais aqui citados podem ser tanto similares como dissimilares, pois bem, a união é o que se deseja, e que a solda dure o maior tempo possível também, e para tanto é necessário que o crescimento dos grãos de um dos materiais seja igual (no caso dos

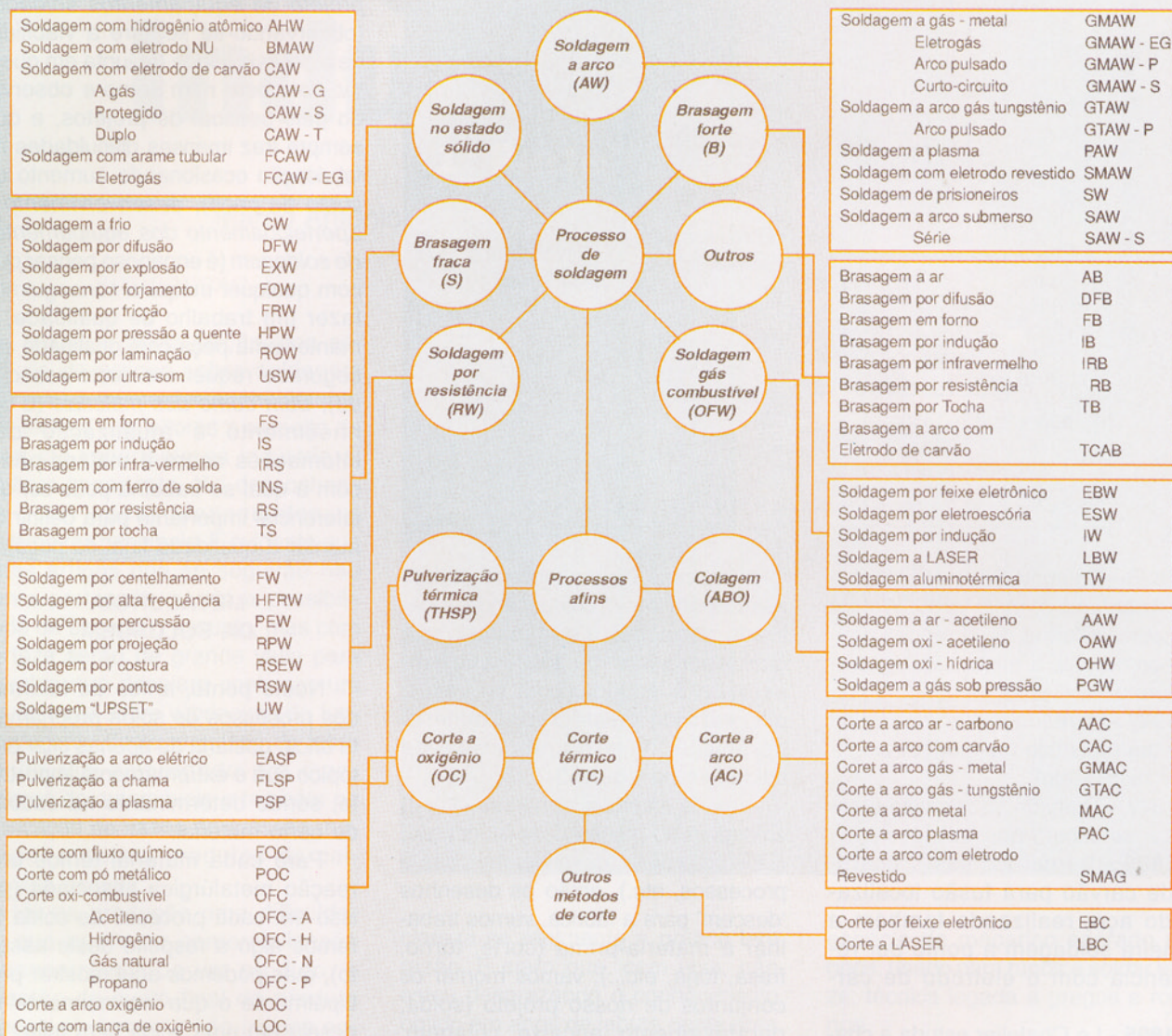


Figura 2 – Esquema onde vemos diversos processos de soldagem.

materiais similares), ou seja pelo menos compatível (materiais dissimilares). Para isto os tratamentos térmicos se revestem de importância, porque por eles temos o controle bem aproximado do que está acontecendo com o material.

“ ... usado para obter coalescência localizada de metais e não-metais, ...” aqui neste ponto vemos que a ‘união localizada’ é um

dos controles sugeridos e passa pelo já exposto acima, só que aqui pensamos na reação no cordão de solda, esquecendo do restante da peça, e também falamos de metais e não-metais onde poderíamos citar o moderno processo de solda de revestimento chamado de ‘metalização’.

“ ... produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, ...” o aquecimento é uma das ferra-

mentas utilizadas na soldagem, podemos tê-la associada a pressão ou sozinha, e na maioria das vezes com um tempo pré-determinado. Esta definição não contempla um outro tipo de soldagem: a ‘colagem’, que em alguns casos é aplicada em temperatura ambiente, e só se desfaz causando um grande prejuízo à peça colada. Mas o fundamental aqui é percebermos o termo ‘temperatura ade-

quada', esse é o nosso grande desafio como tecnólogos em soldagem: determinar esta temperatura nas diversas situações que se apresentam no nosso dia-a-dia; e o conhecimento da metalurgia de certo material irá nos determinar como deverá ser este controle, se mais rígido ou mais à vontade. Esta temperatura se for inadequada, será a responsável por diversos tipos de trincas, que não nos cabe citar nestes artigos, mas é importante lembrar que existem estudos específicos sobre este ponto.

## SOLDAGEM A GÁS (OXI-ACETILÊNICA)

A soldagem a gás é um processo de soldagem por fusão, onde materiais metálicos são aquecidos até o ponto de fusão e unidos (figura 3).

### a) Descrição do processo de soldagem

O maçarico é ligado por uma mangueira a dois cilindros, um de Oxigênio (comburente) e outro (de acordo com o gás escolhido como combustível) o Acetileno; os gases ao entrarem no maçarico são misturados de acordo com a proporção desejada, e fazem a fusão do material a ser soldado, essa fusão pode ser sem adição ou com a adição de uma vareta com material similar ao que está sendo trabalhado, onde podemos usar um decapeante para facilitar a fusão da vareta e do material soldado.

### b) Vantagens do processo

A vantagem mais notória que podemos observar é o controle no tipo de chama utilizado (citaremos mais a frente); a intensidade da chama também pode ser controlada; não há necessidade de rigorosa preparação da junta soldada; baixo custo do equipamento; e baixo custo operacional.

### c) Desvantagens do processo

É um processo de fácil assimilação, isto é, a prática não é muito complicada, porém para se conseguir realizar uma solda com qualidade demora bastante tempo (de

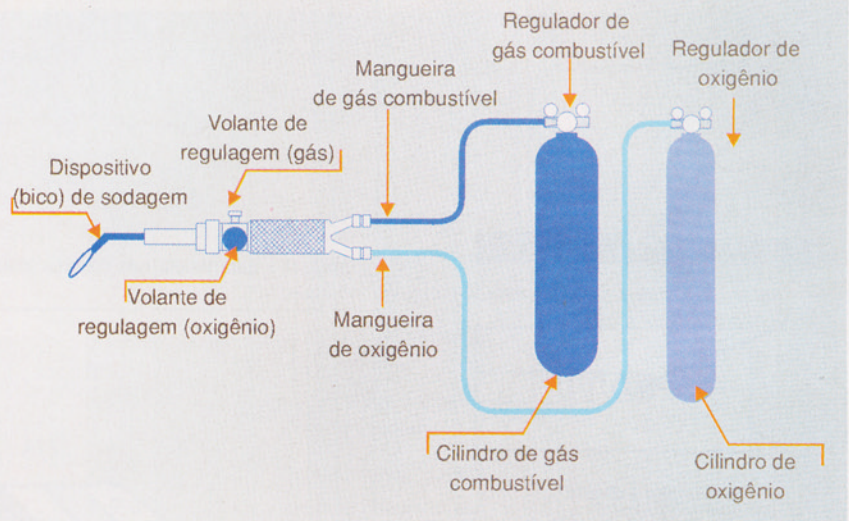


Figura 3 – O processo de soldagem a gás.



Figura 4 – Zona termicamente afetada.

acordo com informações de um profissional da área, cerca de 2 anos), devido à necessidade de bom controle manual; este processo de soldagem provoca mudanças metalúrgicas muito sérias no material soldado, devido ao **aporte térmico** (quantidade de calor gerado em função do tempo de exposição) conforme mostra a **figura 4** acima, em uma comparação com outros processos; é um processo extremamente lento e pode-se dizer que é artesanal, isto é, de baixíssima produtividade; os riscos associados a este processo são inúmeros.

### d) Procedimentos de soldagem

Há duas maneiras diferentes de soldar, à esquerda e à direita conforme mostra a **figura 5** a seguir.

A primeira (a mais usada) é a chamada *soldagem à esquerda*, onde o maçarico segue a vareta. Neste método, que geralmente é aplicado em alumínio, cobre e ferro fundido e em aços até 3 mm de espessura, a vareta mergulha ritmicamente na poça de fusão e não se movimenta além disso.

Acima de 3 mm de espessura, aplica-se a *soldagem à direita*, onde o maçarico avança sem outros movimentos. A vareta segue o maçarico prescrevendo pequenos movimentos circulares. Este procedimento apresenta diversas vantagens: o soldador vê melhor o seu trabalho e pode acompanhar bem a poça de fusão (o que é fundamental para obter uma boa penetração/raiz), o cordão de solda fica mais estreito e o consumo de gases é reduzido. Acompanhe a **figura 6**.

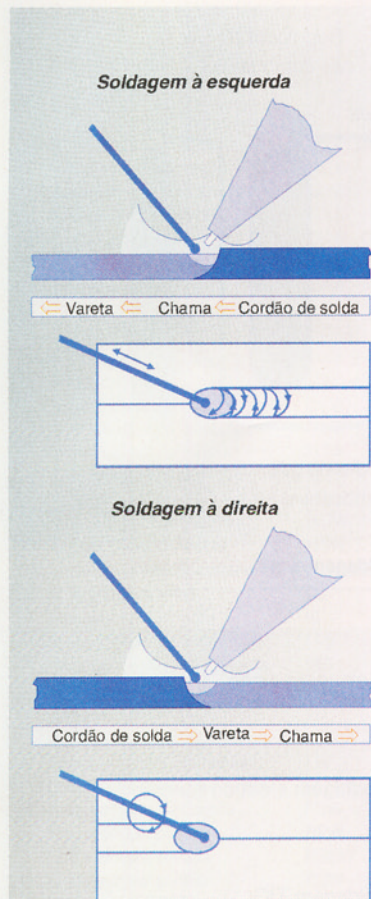


Figura 5 – Comparação de soldagem à direita e à esquerda.

#### e) Por que usar o Acetileno?

A **tabela 1** nos dá uma idéia das temperaturas finais dos gases que podem ser utilizados.

O Acetileno é o escolhido em relação aos demais por diversos motivos técnicos e econômicos:

- Temperatura final atingida maior do que com outros gases (conforme tabela)
- A relação de valores (Temp. X Custo do gás): se compararmos efetivamente o valor de aquisição e o quanto é gasto para fazer um mesmo serviço, chegaremos à conclusão de que a escolha é válida.
- A diferença econômica é tamanha que não se leva em conta que este gás é o mais perigoso de ser manipulado.
- Proporciona maior controle na obtenção da chama desejada

Propriedades	Oxiacetilênica	Oxigás	Oxidrica
Temperatura máxima	3100 °C	2800 °C	2500 °C
Gases usados	acetileno / oxigênio	gás de rua / oxigênio	hidrogênio / oxigênio

Tabela 1 - Esta tabela nos dá uma idéia das temperaturas finais dos gases que podem ser utilizados.

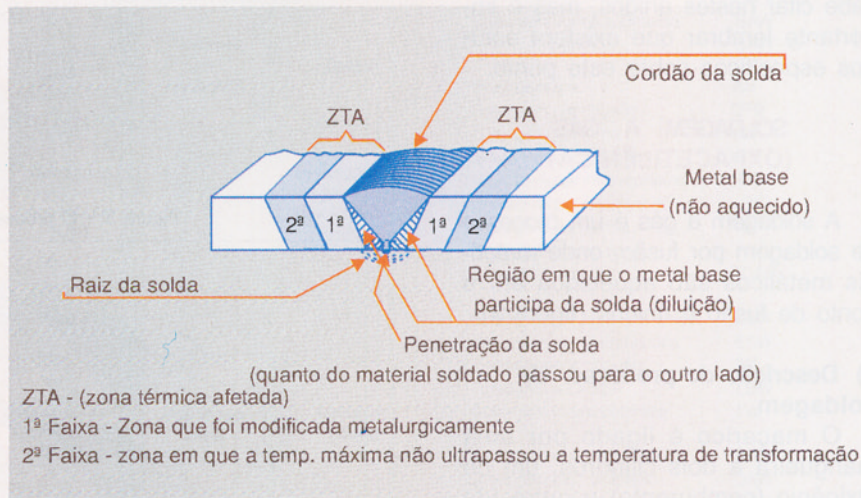


Figura 6 – Nomenclaturas de soldagem.

- As reações da combustão dos dois gases geram CO e H<sub>2</sub> que são extremamente redutores (anti-oxidantes).

#### f) Segurança na soldagem

Neste processo a segurança deve começar na manipulação dos gases: o cilindro de Acetileno não deve ser batido sob pena de haver precipitação do gás no interior do cilindro, o que provocaria uma explosão, havendo normas a serem observadas para a utilização e confinamento dos cilindros; para o outro cilindro (de Oxigênio) não há tanto problema, a questão mesmo é quando se tem de alguma forma contato do oxigênio com graxa ou óleo (às vezes até na roupa do operário), o gás poderá entrar em combustão simplesmente pelo contato com eles; ambas as mangueiras devem ter válvulas anti-retrocesso de chamas; óculos escuros nº 6-8; luvas de raspa; avental de raspa; perneiras de raspa; botas de seguran-

ça; e alguns outros EPI's se a solda for em posição especial. Em alguns trabalhos que desenvolvi em funilarias percebi a falta de respeito que muitas vezes o funcionário tem com este processo de soldagem, porque os efeitos não são perceptíveis no momento, mas o dano à visão é ao longo dos anos, irreparável.

#### g) Sua utilização

A utilização deste processo hoje em dia é muito restrita à área de corte de chapas (caldeiraria), ou ainda para fazer pré-aquecimento ou fazer um tratamento térmico. Existem, entretanto, algumas empresas que fazem uso deste processo devido às características de seu trabalho, e a soldagem por brasagem é um exemplo de utilização, é uma soldagem bastante delicada e exige mãos habilidosas para fazer uma boa solda (empresas que trabalham na confecção de equipamentos para refrigeração são um exemplo de utilização na indústria).

Regulagem de chama	Tipo de chama	Formato da chama	Características	Aplicação
$1,0 < a < 1,1$	neutra	7.a	<ul style="list-style-type: none"> <li>- penacho longo</li> <li>- dardo branco, brilhante e arredondado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- soldagem de aços (ou regulagem neutra levemente redutora).</li> <li>- cobre e suas ligas (exceto latão).</li> <li>- níquel e suas ligas.</li> </ul>
$a < 1,0$	redutora	7.b	<ul style="list-style-type: none"> <li>- penacho esverdeado.</li> <li>- véu branco circundando o dardo.</li> <li>- dardo branco, brilhante e arredondado.</li> <li>- chama menos quente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- revestimento duro, ferro fundido, alumínio e chumbo</li> </ul>
$a > 1,1$	oxidante	7.c	<ul style="list-style-type: none"> <li>- penacho azulado ou avermelhado, mais curto e turbulento.</li> <li>- dardo branco, brilhante, pequeno e pontiagudo.</li> <li>- chama mais quente.</li> <li>- ruído característico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aços galvanizados (regulagem neutra levemente oxidante).</li> <li>- latão</li> <li>- bronze</li> </ul>

Tabela 2 - Características da chama.

Ainda poderíamos citar em indústrias o setor de manutenção que, em muitas ocasiões, se vê obrigado a usar este processo, devido à contaminação do material a ser soldado (o maçarico não requer muitos cuidados em relação à limpeza de superfície para a soldagem); outra utilização rotineira hoje em dia (aliás, há muito tempo) é em funilarias para fazer o reparo em automóveis, todavia, até mesmo nestas últimas existem determinadas seguradoras de automóveis que não credenciam mais oficinas que soldem com maçarico, o mesmo tem sido substituído pelo processo MIG com máquinas inovadoras, que iremos conhecer mais adiante.

Outro caso importante na indústria é o caso da solda da Ferramenta de carboneto de WIDIA (é uma pastilha de pó de carbono e tungstênio, submetidos a uma compressão e calor determinado, processo que leva o nome de *sinterização*). A melhor forma de soldar esta peça é com o maçarico oxiacetilênico usando-se uma chama neutra, com solda prata

(vareta) e com o fluxo em pasta especial.

#### h) Observação técnica

Nas vantagens nós citamos o controle da chama, mas como se dá este controle? Na verdade, este controle é feito na mistura de gases que o operador seleciona nos volantes de regulagem, e esta proporção determinada nos habilita a soldar determinados materiais que serão conhecidos na **tabela 2**, bem como o formato da chama e suas características. Acompanhe a **figura 7**.

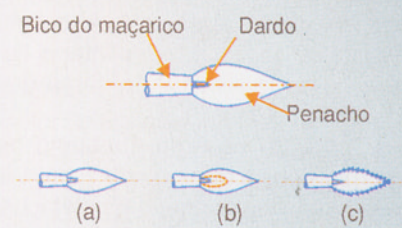


Figura 7 - Partes e formatos de chama.

**Na próxima edição, abordaremos a solda elétrica.** ●

#### Bibliografia

##### - Apostila da Escola SENAI "Suiço-Brasileira"

- Marques, Paulo Villani **Tecnologia da Soldagem** / Coordenação de Paulo Villani Marques. Belo Horizonte: ESAB, 1991. / pág. 18, 24 e 25.

- Wainer, Emílio... et al **Soldagem Processos e Metalurgia** / Coordenação de Emílio Wainer, Sérgio Duarte Brandi, Fá-

bio Decourt Homem de Mello. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992. / pág. 1, 3, 181 e 182.

- Gareis, Bernard **A soldagem, simples como ela é** / Bernardo Gareis. Recife: SACTES, 1994. / pág. 99, 104, 110.

- Palma, José Augusto / Raúl Timerman **Ciencia y tecnica de la soldadura** Argentina: CONARCO, 1983. / pág. 22.

# Controle de velocidade e torque de motores trifásicos

Alaor Mousa Saccomano

## O QUE É IMPORTANTE SOBRE O CONTROLE VETORIAL: INFORMAÇÕES BÁSICAS

**A** base do funcionamento das máquinas industriais está no controle de movimento das mesmas. Este controle tem por objetivo o domínio da variação de velocidade e também do torque no sistema. Isto se torna claro, pois é desejável não somente a variação de velocidade de uma máquina, mas também que esta tenha a possibilidade durante todo o tempo de sua variação, de manter a habilidade de movimentar a carga que lhe é imposta.

Cerca de 65% do consumo de energia elétrica no ambiente fabril nos EUA são feitos por motores elétricos. No Brasil, este número passa dos 50%. Portanto, é grande o consumo e é mais do que interessante que este seja otimizado, isto é, utilizado da melhor maneira possível. Além disso, a maior parte desta energia é usada em diversos sistemas que variam velocidade e torque.

O responsável direto pela eficaz utilização desta energia é um Conversor Eletromecânico de Energia. Ele atuará de modo a converter a energia elétrica na entrada em velocidade e torque em sua saída, isto é, energia cinética ou mecânica. O principal disto tudo é que haja alta eficiência na conversão, além de eficaz resposta dinâmica sem perda de estabilidade. Em outras palavras, deseja-se que o sistema de acionamento elétrico: (motor + elemento controlador + efetuator) tenha

baixas perdas, variação rápida de velocidade e torque, e nunca perca o controle de velocidade ou haja sobrecorrentes no sistema. (figura 1).

Muito se tem dito sobre o controle de velocidade e torque. Inicialmente, podemos explorar as possibilidades eletromecânicas do sistema. Assim, deve-se definir que tipo de motor elétrico atuará no movimento da máquina.

O primeiro motor para controle de velocidade e torque, sem dúvida, é o de Corrente Contínua, mais espe-

cificamente de excitação independente, o famoso motor DC Shunt.

Este tipo de motor possui a grande habilidade de poder controlar torque e velocidade de modo praticamente independente, dentro de uma longa faixa. Assim, a máquina de corrente contínua (MCC), especificamente neste caso o motor DC Shunt, consiste de uma armadura alimentada via escovas sobre um comutador e um campo de excitação que estabelece um fluxo magnético ( $\Phi$ ) enlaçando a mesma. O diagrama da figura 2, nos mostra que

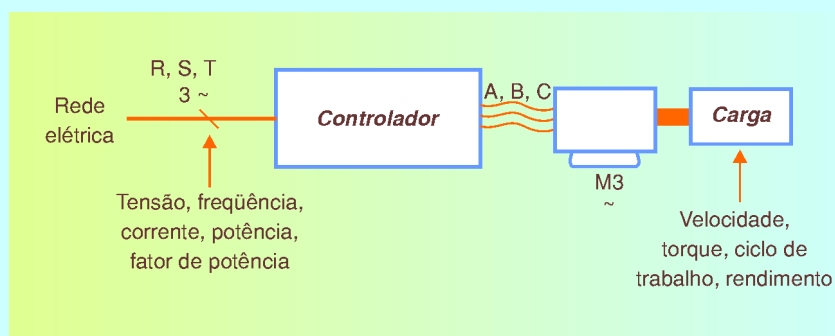


Figura 1 - Sistema de conversão de energia.

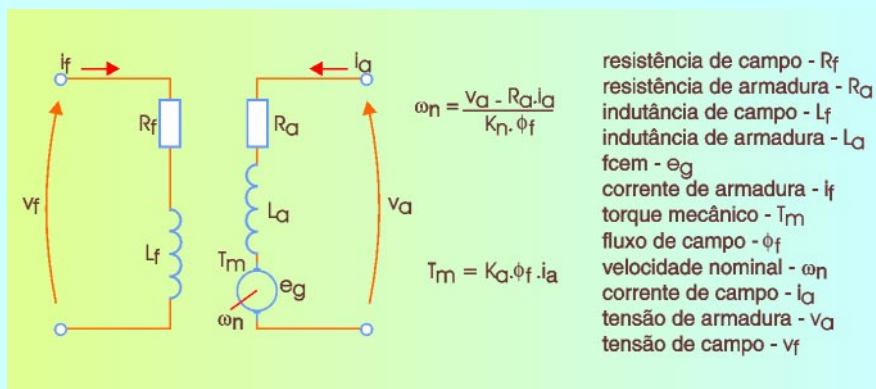


Figura 2 - Alimentação de armadura e campo com fontes diferentes.

podemos alimentar armadura e campo com fontes diferentes. Do equacionamento da máquina temos que o Torque é diretamente proporcional ao fluxo do campo – sempre quando se aumenta o fluxo também se aumenta o torque. Logicamente que o fluxo é diretamente proporcional à corrente de campo. Já a velocidade do rotor – e conseqüentemente do eixo – é diretamente proporcional à tensão da armadura. Na prática, quando se alimenta um motor DC Shunt, estabelecendo corrente no campo e também fluindo corrente na armadura, há o surgimento de uma força contra-eletromotriz (fem). Se há torque resistente no eixo do motor, surgirá também um torque motor para equilibrar o sistema. A independência do sistema está em que a corrente de campo  $i_f$  é totalmente independente da corrente de armadura  $i_a$ . Qualquer variação em uma não leva necessariamente a variação na outra. Temos um sistema totalmente desacoplado. Em termos elétricos podemos dizer que o motor DC atua sobre dois enrolamentos distintos, e que cada um responde independentemente quanto aos regimes de variação de torque e velocidade. Na fi-

gura 3 (esquema de eixo direto e quadratura), temos este fato apresentado sobre os eixos **direto** (ou do campo) e de **quadratura** (isto é, está a 90 graus do eixo direto; sua denominação mais técnica seria: eixo da onda de força magnetomotriz – fmm – da armadura).

A variação de velocidade se dá normalmente pela atuação da corrente de armadura, pois também é possível variar a velocidade pelo campo, mas como este tem “muito ferro”, ou seja, alta indutância que provoca lentas variações de corrente, a resposta dinâmica do sistema – variação de velocidade – se torna difícil e lenta.

A dificuldade de se trabalhar com motor DC está no fato da sua própria construção: o comutador e escovas não permitem altas velocidades, pois forças centrípetas podem destruí-lo. Também geram muita manutenção e é alto o risco de incêndio devido ao faiscamento. Apesar de tudo isto, ainda é grande a utilização destas máquinas, principalmente em sistemas tradicionais como bobinadeiras de papel e máquinas de impressão de alta velocidade. Nestas, além de específico

controle de velocidade, manter-se o torque constante é fundamental para não se perder o produto fabricado.

O maior problema está na aplicação destas máquinas em zonas classificadas.

O alto custo dos motores DC levou a evolução natural para a utilização de um motor mais robusto, de baixa

manutenção, custo relativamente baixo, alta eficiência na utilização da energia elétrica e sem faiscamento aberto: o motor de corrente alternada de indução, mais especificamente para aplicação industrial, o motor assíncrono trifásico.

Em termos de máquina de indução, já está muito explorado o assunto de controle de velocidade, principalmente no modo escalar e aplicando-se um inversor de frequência atuando em V/f e injetando tensão no sistema via um modulador de largura de pulso (PWM), como na figura 4.

Na realidade, podemos resumidamente entender que o controle de velocidade e torque de uma máquina de corrente alternada assíncrona pode se dar especificamente em alguns modos:

- Controle de tensão do estator
- Controle de tensão do rotor
- Controle de frequência
- Controle de corrente do estator
- Controle de tensão e frequência do estator
- Controle de tensão, frequência e corrente do estator.

Relembrando o funcionamento do motor de indução trifásico, temos que no estator – parte fixa da máquina – estão os enrolamentos principais ou estatóricos. No caso de motores trifásicos, serão três conjuntos de bobinas colocadas nas ranhuras do motor de modo a estarem defasadas posicionalmente. Quando as correntes trifásicas – defasadas 120 graus elétricos e equilibradas – isto é, tendo os mesmos valores, atravessam os enrolamentos, estes criam um campo magnético. Este campo varia em cada conjunto de bobina, assim como varia a corrente senoidal que os atravessa. Na prática, temos uma resultante de corrente, ou melhor, um campo resultante que varia no tempo e atravessa os condutores e entreferro do motor. Pode-se aproximar esta idéia de um campo que gira no estator. Tudo isto acontece devido à variação senoidal das correntes nas bobinas do estator. O campo girante do estator atravessará o entreferro entre o estator e o rotor. O



Figura 3 - Esquema de eixo direto e quadratura.

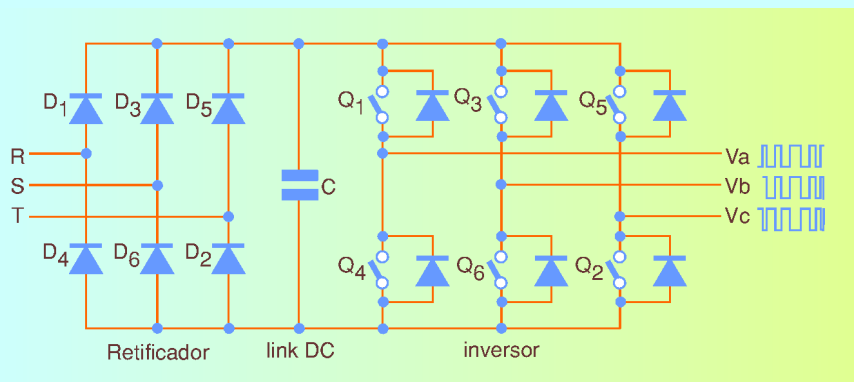


Figura 4 - Inversor de frequência.

rotor é composto de bobinas curto-circuitadas. Assim, quando um campo variável atravessa as espiras do rotor, surge uma tensão induzida neste. Como está fechado em curto-circuito, mas possui certa resistência e indutância, haverá circulação de corrente pelos condutores do rotor. Dessa forma, surge um campo nos condutores do rotor. Este campo se relacionará com o campo do estator. Disto surge torque magnético, e mecânico, e conseqüente movimento do rotor. Na realidade, o rotor “persegui- rá” o movimento do campo girante do estator. A velocidade do campo girante do estator é dado por:

$$w_s = (120 \cdot f) / p, \text{ onde:}$$

$w_s$  = velocidade síncrona do campo girante

$f$  = frequência da rede de alimentação

$p$  = número de pólos.

Na prática, temos motores de 2 pólos (3600 rpm), 4 pólos (1800 rpm), 6 pólos (1200 rpm) e 8 pólos (900 rpm). Valores diferentes e acima destes podem ser fornecidos pelos fabricantes sob consulta.

Mas, ao olharmos uma plaqueta de identificação de motor assíncrono trifásico de indução, veremos que os valores de velocidade nunca chegam aos valores máximos de rpm da velocidade síncrona do campo girante. Isto posto, temos uma assincronia de velocidade. Daí o nome de motor assíncrono. O termo indução se aplica devido a indução do campo do estator sobre o rotor. E trifásico devido a rede de sistema trifásica industrial.

A diferença entre a velocidade síncrona do campo girante e a velocidade da ponta do eixo do motor (que é a velocidade rotórica ou do rotor) é denominada de escorregamento. Um esquema elétrico simplificado de um motor de indução é dado pela **figura 5** (circuito elétrico de motor de indução). Se identificam facilmente a resistência de estator, indutância de estator, resistência e indutância rotórica. Apesar de não haver ligação mecânica (elétrica) entre o rotor

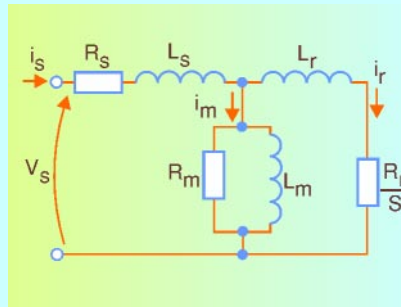


Figura 5 - Esquema elétrico simplificado de um motor de indução.

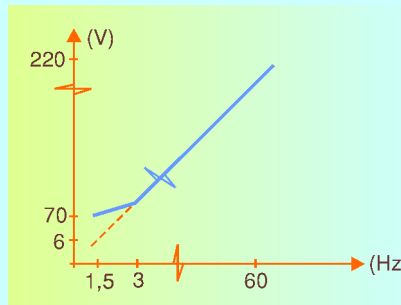


Figura 6 - Boost de tensão.

e o estator, a indutância  $L_m$  nos lembra que há interação entre o campo magnético do estator e o campo magnético do rotor, ou ainda há indução sobre o fluxo de acoplamento. Esta idéia pode ser aproximada muito bem quando nos lembramos de um transformador.

Relembrados estes aspectos, podemos continuar dizendo que o controle de velocidade e torque de um motor de indução trifásico deverá respeitar certas particularidades. Entre estas, que a velocidade do motor está muito diretamente relacionada a variação de tensão eficaz no estator e o torque será uma função direta do fluxo no entreferro.

Quando o motor está sem carga em seu eixo (em vazio), o escorregamento é quase nulo ou muito pequeno. O fator de potência do motor é baixo e a corrente que circula pelo motor é suficiente apenas para manter sua magnetização (criação de pólos) e vencer algumas perdas térmicas da máquina devido ao atrito. A frequência da corrente que circula pelo rotor é dada por:

$$f_r = s \cdot f_s, \text{ onde:}$$

$f_r$  = frequência da corrente no rotor, dado em Hz

$f_s$  = frequência da corrente no estator, dado em Hz

$s$  = escorregamento.

Ao se aplicar uma carga ao rotor, tem-se a conseqüente diminuição da velocidade do motor, ou um aumento do escorregamento, o que leva a um aumento da frequência rotórica e de sua reatância. Como conseqüência, aumenta-se a corrente de estator que produz trabalho. Esta variação está ligada ao fluxo do entreferro. Assim, temos diretamente um aumento do torque motor, equilibrando-se ao torque que se impõem ao eixo do motor, torque resistente. O motor aciona a carga e manterá seu fator de potência (utilização de potência elétrica para realizar trabalho) entre valores de 0,75 a 0,95.

O interessante a se notar é que ao variar a tensão no estator, deverá também ser variada (na mesma proporção) a frequência da alimentação do estator, justamente para não se perder o controle do torque. Este é o princípio de controle de velocidade de motor de indução tipo Volts/Hertz ou  $v/f$ , muito conhecido por controle escalar. Observe que a fonte de controle é do tipo tensão. Pode-se ainda ter o controle por escorregamento e também o controle por fonte de corrente. Na equação a seguir, podemos variar qualquer dos elementos em negrito, para variar a velocidade:

$$w_r = 120.f.(1-s) / p$$

$w_r$  = velocidade rotórica ou real na ponta do eixo do motor.

No controle escalar se enfrenta o problema do controle de torque em baixas velocidades. Lembramos que o fluxo deve manter-se constante, isto é,  $v/f = \text{constante}$ . Em outras palavras, para baixas velocidades deve-se ter baixa frequência e baixa tensão. Uma tensão muito baixa pode ser “dissipada” na resistência do estator e não haverá tensão suficiente para magnetizar o restante do circuito. Uma saída é impor um **boost**

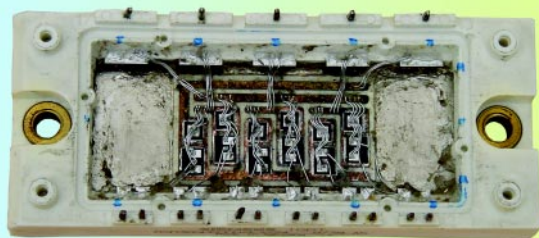


Figura 7 - Módulo com seis IGBTs da Siemens.

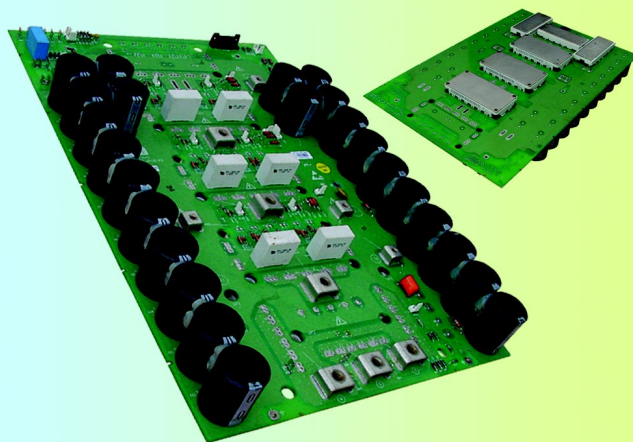


Figura 8 - Placa de potência do equipamento WEG.

de tensão em baixas velocidades como visto na **figura 6**.

Uma outra questão é a garantia de resposta dinâmica e estabilidade. Resumindo: o objetivo é ter rápidas variações de velocidade sem ocorrer altas sobrecorrentes e disparos de velocidade do motor. Isto é muito desejável principalmente em máquinas-ferramentas e dispositivos de elevação de cargas.

Até a década de 1970, estes desejos eram apenas desejos...apesar de que nos meios acadêmicos já se vislumbravam algumas soluções.

A idéia básica era tentar reequacionar a máquina de indução trifásica como se fosse uma máquina de eixo direto/eixo de quadratura, ou simplesmente **d-q**, isto é, pensar o motor AC como um motor DC. Isto é perfeitamente possível no modelo matemático. O objetivo é decompor cada corrente de fase de estator (e rotor) em vetores fasoriais que possuam associação **d** e **q**. Basicamente, isto é o que faz um inversor com controle vetorial de fluxo orientado ou controle de orientação de campo, também conhecido como Vector Control.

O trabalho matemático envolvido é grande. De um modo muito simplificado pode-se dizer que a solução se dá quando se diz conhecida a posição do fluxo de acoplamento do rotor em referência a um vetor estacionário. E deste modo, as três cor-

rentes trifásicas podem ser decompostas em função de correntes de eixos d-q,  $i_q$  e  $i_d$  mais especificamente... Estes cálculos são feitos em formato vetorial-matricial e consideram cada posição angular do rotor. Como já foi visto, o fluxo rotativo do campo girante atravessando o entreferro é o que gera as correntes induzidas nos condutores do rotor. De modo ideal, tem-se que o fluxo estabelecido no rotor, por sua própria corrente rotórica (induzida pelo estator) está em quadratura ou ortogonalmente posicionado em relação ao fluxo resultante do estator. Se olharmos novamente o circuito simplificado de um motor de indução, poderemos (sem nos prender muito aos cálculos) dizer que a corrente de magnetização  $i_m$  está diretamente associada à corrente  $i_d$ . As correntes de estator e de rotor somam-se vetorialmente, em cada instante, sempre em referência à corrente  $i_d$  (ou a parte magnetizante do circuito). A função do sistema que controlará o motor será a de chavear os elementos de acionamento como, por exemplo, o módulo da **figura 7** que é um módulo de 6 IGBT's da Siemens na mesma base, mas que poderia ser quaisquer outros dispositivos de chaveamento (IGBT's, MOS-FET's ou Transistores de Potência) que possam atuar junto a placas de potência – como na **figura 8** – no caso um equipamento WEG. Esse cha-

veamento garantirá em cada momento o valor de  $i_m$ , e o restante da corrente que realizará trabalho em função da carga imposta sobre o eixo do motor. Há também os efeitos de perda térmica e sobrecargas que podem ser aplicadas ao eixo.... não se esquecendo das  $f_{cm}$  internas do motor. Na prática, o ângulo do fluxo magnético no entreferro e o ângulo da corrente rotórica (lembrando que estamos em um sistema que se move senoidal e continuamente), são determinadas pelos valores instantâneos de corrente do estator. Para um eficaz controle, tem-se a necessidade de conhecer os parâmetros elétricos da máquina. Estes são medidos no momento em que o controlador é inicializado e armazenados como "parâmetros da máquina":

- indutância do estator
- indutância do rotor
- indutância de magnetização
- resistência do estator
- resistência do rotor
- valor máximo de saturação do motor.

O controlador realiza isto no período de auto-sintonia.

Em termos de diagrama de blocos, observando-se, a **figura 9**, que está muito simplificada, verificamos que tem-se uma entrada de velocidade desejada que é constantemente comparada com a velocidade real.

O valor resultante é inserido em um sistema gerador de correntes desejadas  $i_d$ - $i_q$ , que pode ser visto na **figura 10**, ou se preferirmos, gerador de controle de fluxo ( $i_d$ ) e controle de torque ( $i_q$ ). O próximo bloco recebe estes sinais, que são dois ou bifásicos e transforma em um sistema trifásico rotativo que chaveará os elementos de acionamento do inversor, gerando a forma de tensão necessária ao estator para garantir o efetivo e preciso controle de torque e velocidade do motor. É interessante notar ainda que tem-se várias realimentações de informação de posição do eixo, corrente e velocidade do motor. Estas realimentações são executadas via *encoder* (posição e velocidade) e sensores de corrente (como os sensores de efeito Hall). Em um sistema assim, tem-se total garantia de controle de velocidade e torque. As malhas de controle realimenta o sistema de informação. No sistema de malha fechada como este, em todo o tempo tem-se o total controle do motor.

Resumidamente, podemos dizer que no controle por campo orientado acontece o desacoplamento da corrente de estator em duas componentes: a que produz torque (analogamente a corrente  $i_q$  no motor DC) e a que produz fluxo no entreferro ou

$i_d$ . Estas correntes são convertidas sobre uma estrutura rotativa fictícia – eixos girantes – alinhadas com o vetor de fluxo, e transformadas novamente em correntes trifásicas do estator.

O controle vetorial ainda pode ser implementado de duas formas:

- **controle direto de campo orientado**: neste caso, o vetor fluxo é calculado instantaneamente a partir dos parâmetros ou grandezas elétricas do motor. O trabalho computacional é grande, mas facilmente realizado por um DSP, por exemplo, os da família Texas Instruments modelos TMS320CXX:

- **controle indireto de campo orientado**: é o método mais simples e mais difundido. Neste método, o vetor fluxo desejado é calculado em função do escorregamento da máquina. De qualquer forma, sempre é necessário conhecer a constante de tempo do rotor e o fluxo de magnetização, ou seja, a indutância de magnetização do motor.

Uma outra possibilidade é a aplicação do controle vetorial sem a malha de realimentação, melhor dizendo, em malha aberta. Este é conhecido como inversor vetorial *sensorless*. Neste caso, o controlador já realizou a auto-sintonia e conhece os parâmetros da máquina. O instalador

deverá municiar o controlador com informações de velocidade máxima, frequência da rede, tensão de alimentação. O trabalho computacional do controlador será manter os valores do motor dentro dos valores máximos de escorregamento. O controle *sensorless* é muito mais pobre do que o controle por malha fechada, mas ainda possui melhor desempenho de resposta se comparado a qualquer sistema v/f.

A partir deste momento, podemos então discutir quando se deve aplicar um inversor vetorial com malha fechada de controle ou *sensorless*.

Os inversores escalares possuem bom desempenho e baixo custo de aplicação quando se deseja apenas variações de velocidade acima da velocidade mínima de 10% da frequência da rede de instalação. Também podem ser bem aplicados quando a máquina ou sistema necessita atuar com grande número de operações por hora, ou ainda muitas reversões, partidas longas ou com cargas de alta inércia e operações em velocidades acima da nominal do motor.

Aplicações tipicamente vetoriais são encontradas quando se deseja alta regulação de torque por todas as gamas de velocidade, incluindo controle de torque nominal em velocidade zero e longas marchas em

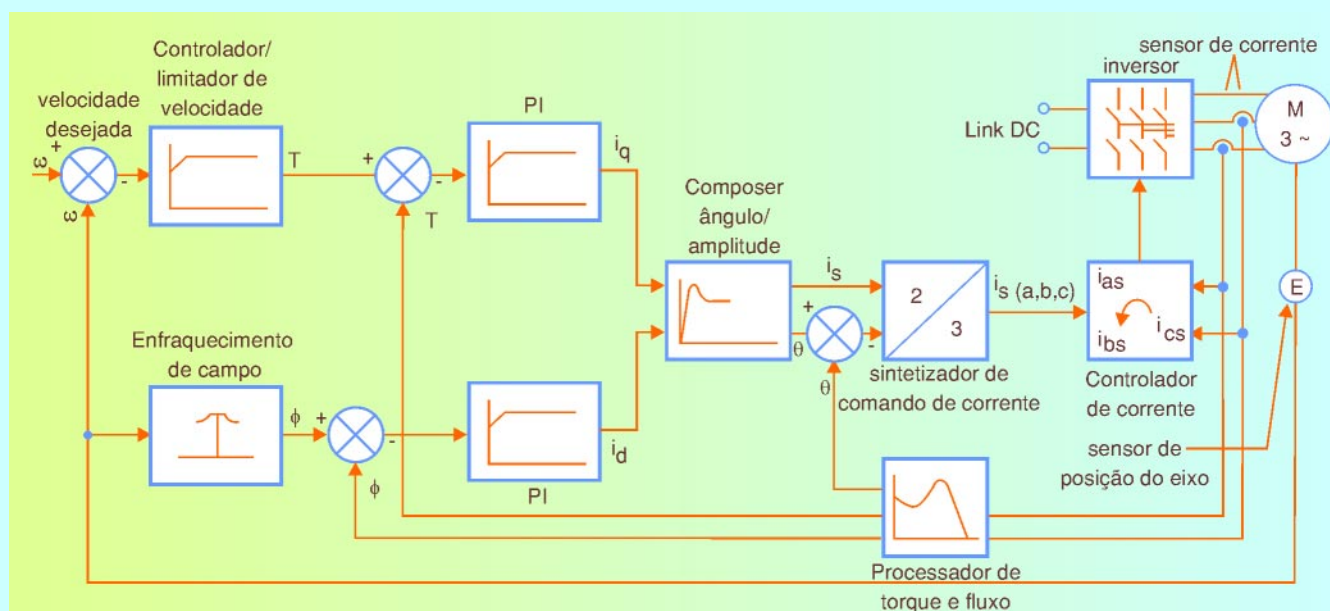


Figura 9 - Diagrama de blocos simplificado do controle vetorial direto.

baixas rotações, ou ainda, altas acelerações controladas.

Exemplos de aplicação de Inversores Vetoriais:

#### Máquinas Operatrizes:

- elevado torque em velocidades muito baixas;
- operação suave e precisa em todas as gamas de velocidade;
- torque nominal em velocidade zero.

#### Pontes rolantes e guindastes:

- frenagem dinâmica;
- sobrecargas elevadas;
- torque nominal em velocidade zero, evitando a queda da carga.

#### Elevadores:

- Posicionamento preciso;
- operação suave em baixas velocidades;
- controle da aceleração – via variação de torque.

#### Bobinadeiras:

- controle de velocidade/posição para manuseio da bobina;
- controle de torque constante.

#### Esteiras de dosagem:

- elevado número de paradas/partidas;
- partidas suaves;
- paradas precisas.

No caso de bobinadeiras e esteiras dosadoras, é interessante ape-

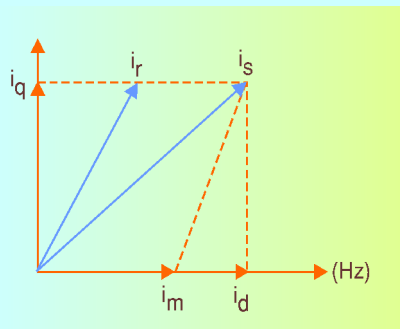


Figura 10 - Diagrama fasorial simplificado das correntes do motor de indução.

nas a utilização de inversores vetoriais com controle de malha fechada devido às características de controle de posição envolvidas.

Estes são apenas alguns exemplos. Hoje em dia, a maior parte dos fabricantes possuem em seus conjuntos de produtos a possibilidade de escolher em um único equipamento o modo de operar – se vetorial ou escalar. Além disto, possuem a facilidade de implementar o controle em malha aberta ou fechada e trazem, na grande maioria dos casos, controladores de função PID ou mais complexos, destinados a suprir outras necessidades de aplicação como o controle de vazão ou fluxo de líquidos diretamente pelo controle do inversor, ou reforço de torque nas partidas de alta inércia. Muitos ainda exploram as possibilidades de frenagens regenerativas e ótimas, o que é

grandemente aplicado no caso de centrífugas.

Em muitos casos, ferramentas de software para estimar aplicação e otimização de parâmetros podem ser utilizadas. Contudo, para uma boa aplicação de um inversor vetorial, deve-se ter em mente a necessidade da carga nos aspectos de:

- controle de torque sem oscilação, de modo linear para posicionamento ou tração;
- elevada precisão de velocidade;
- alto desempenho dinâmico e boa estabilidade (variação do patamar de velocidade de modo rápido e com baixo *overshoot* de velocidade, sem altas sobrecorrentes).

## CONCLUSÃO

As técnicas de controle de velocidade e torque de motores elétricos para aplicações industriais estão sempre em rápida evolução. Futuramente, além de melhorar-se ainda mais o desempenho e a inteligência dos controladores - inversores de frequência – provavelmente qualquer equipamento que possuir um motor, terá também um inversor e este deverá ser do tipo Controle Vetorial. Mais para o futuro, deverá, quem sabe, estar integrado em uma só peça o motor e seu inversor. E sem dúvida será um inversor de Controle Vetorial.

Característica desejada	Inversor escalar com malha fechada	Inversor vetorial		Conversor DC com tacômetro
		Malha fechada	Sensorless	
Torque em velocidade zero	não é possível	totalmente possível	não é possível	possível, mas restrito ao desempenho do motor
Resposta dinâmica	1 a 2 Hz	30 Hz	5 Hz	15 Hz
Regulação de velocidade	dependente do escorregamento	0,01%	0,2%	0,2%
Faixa de velocidade	40:1	1000:1	100:1	200:1
Controle de torque	muito baixo	alto	somente no limite	alto

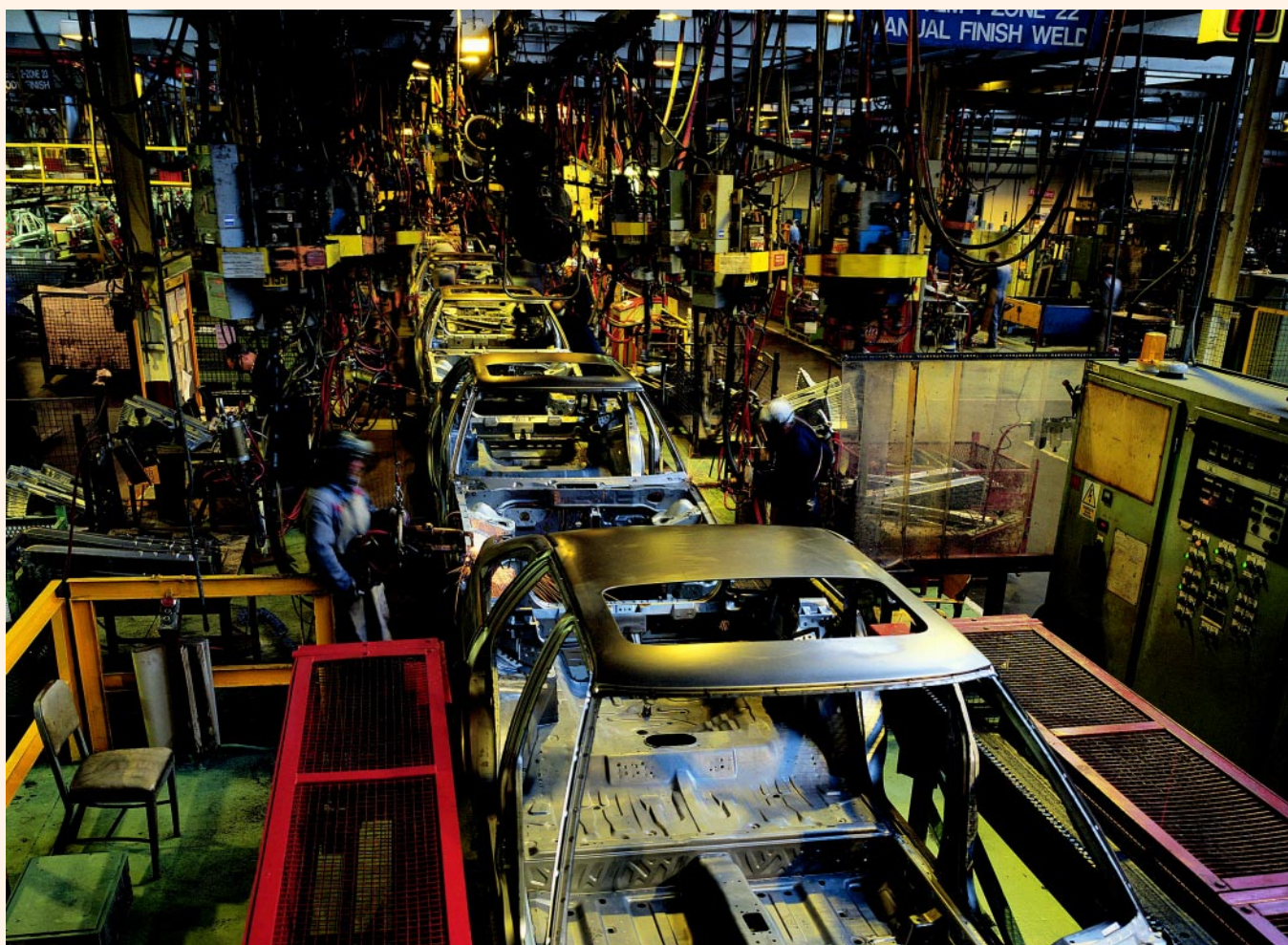
Tabela 1 - Comparação entre as aplicações de inversores e demais acionamentos.

# Consequências sociais do uso da Robótica

Fernando Pazos

Hoje em dia, o problema do desemprego é considerado como um dos mais graves dentre todos os que afetam as sociedades urbanas. Diante desse problema, procuram-se sempre razões que o justifiquem, até mesmo para poder enfrentá-lo de maneira mais eficaz. Uma das razões mais freqüentemente esgrimidas, é que a tecnologia em geral, e em particular a automação dos pro-

cessos industriais e o uso massivo da informática, deixaram de lado a mão de obra humana, provocando assim o desemprego dos operários substituídos pelas máquinas. Mas, seria interessante analisar até que ponto isto é realidade e não um lugar comum que, de tão freqüentemente repetido, já ninguém questiona, ou se, pelo contrário, existe uma base de verdade em tal afirmação.



## A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

**E**m primeiro lugar, não se deve esquecer que a história da evolução da tecnologia é a história da evolução da própria espécie humana. Entendemos aqui por tecnologia, toda invenção, seja de um instrumento, conceito ou método, que tenha o intuito de facilitar a vida prática do homem. Não é um fim em si mesma, e sim um instrumento para uma melhoria na qualidade de vida. Assim, desde que os primeiros ancestrais do homem desceram das árvores e começaram a andar em dois pés, a evolução tecnológica acompanhou, de maneira incessante, a evolução da espécie humana. Com certeza, as primeiras invenções foram um martelo feito com um osso, um machado feito com uma pedra de forma adequada, e outras ferramentas rudimentares que tinham por objetivo aumentar a força humana aplicada, tanto para a caça como para a fabricação de outros elementos.

Acredita-se que a primeira grande revolução tecnológica tenha acontecido há cerca de 700000 anos, e consistiu na descoberta da primeira fonte de energia: o adestramento do cachorro. Efetivamente, o homem descobriu que podia utilizar esses animais, que normalmente acompanhavam as hordas nas suas caçadas a fim de se alimentar dos restos de comida, como fonte de energia, isto é, para puxar os trenós durante as eras glaciais. Quando se tenta entender, inclusive, a tardia invenção da roda, por exemplo, a explicação é muito simples: a roda sobre o gelo não serve para nada. É por isso que essa invenção surgiu milênios mais tarde.

Durante as primeiras civilizações urbanas, na região da Mesopotâmia, aproximadamente a partir de 3000 A.C., teve lugar um monumental salto tecnológico, com numerosas invenções que facilitaram, organizaram e melhoraram em

qualidade a vida do homem: a invenção da escrita, o desenvolvimento da agricultura, o adestramento do gado para se provir de carne e leite, a evolução da arquitetura, que permitiu construir casas mais sólidas e confortáveis e até palácios, os primeiros códigos legais, as primeiras organizações sociais, o comércio, o eixo e a roda (e portanto a carruagem). Inventa-se a matemática, a astronomia, que ofereceu a possibilidade de viajar também de noite, inventa-se a escola, também as primeiras leis, e as primeiras formas de governo e organização social. Nessa época também se produziu outra descoberta importante: a produção em série. Até esse momento, o homem só fabricava o que precisava para satisfazer suas necessidades pessoais, mas a descoberta de uma série de garrafas quase idênticas, provenientes da mesma região, demonstrou que naquela época começou-se a fabricar em quantidade excessiva, evidentemente para conservar, trocar ou vender o excedente. Daí em diante, o ser humano começa a planejar o futuro, expande a produção, vendendo ou trocando produtos a outros. Nasce o excesso de produção, sistema econômico e de vida que dura até hoje.

Durante os impérios grego e romano houve uma detenção notória das invenções tecnológicas. Efetivamente, a Grécia de Péricles se caracterizou pelo aprofundamento das artes, das matemáticas, da poesia e da filosofia, mas poucas invenções importantes tiveram lugar nesse período. Como sustentava Aristóteles, acreditava-se que tudo aquilo que servia à vida prática já tinha sido inventado ou descoberto, sendo mais sensato dedicar o tempo a outras coisas, que enriquecessem o espírito sem se preocupar em demasia com o conforto material. A explicação para tal atitude é muito simples, o trabalho pesado era inteiramente executado por escravos, razão pela qual os cidadãos não deviam se preocupar

com o seu sustento, nem com nenhum tipo de trabalho físico. Considerava-se, inclusive, que a atividade física era degradante, que o ser superior devia ocupar seu tempo em desenvolver as ciências e as artes, deixando para os cidadãos de segunda classe e para os escravos qualquer tarefa que exigisse a força humana, talvez com a única exceção dos esportes. A esse respeito, cabe ilustrar com uma anedota do imperador Vespasiano. Durante seu reinado, o Capitólio pega fogo e um cidadão, ao apresentar ao imperador um projeto de roldanas e correias para transportar as pedras necessárias para a reconstrução, obtém como resposta do imperador: "Compro, desde que você não o divulgue. Senão, o que farão as pessoas que ficarem sem trabalho?".

A partir do século XII, começa um período de grande expansão tecnológica que talvez possa ser relacionado com a dificuldade de conseguir escravos. Inventa-se a pólvora, o moinho de água, difunde-se a bússola e os arreios modernos dos cavalos, que permite multiplicar até vinte vezes o rendimento desses animais. Inventam-se os óculos, a imprensa e o relógio. Muitos inventos, principalmente durante a Renascença, mudaram a vida urbana de maneira radical.

Mas também, para entender a vida na sociedade pré-industrial, é necessário analisar a organização das atividades diárias em função das ocupações do homem médio, vida que, apesar das inovações tecnológicas, não teve grandes mudanças desde o ano 3000 a.C. até a Revolução Industrial, em finais do século XVIII. A primeira etapa é a do trabalho artesanal: vida e trabalho coincidiam totalmente. As oficinas, que dedicavam-se à fabricação de um produto em particular, muitas vezes estavam localizadas em ruas específicas, principalmente durante a Idade Moderna, e eram dirigidas por seus próprios donos. Os trabalhadores

não eram outros que os familiares, e todos moravam na mesma casa que funcionava como oficina. Estas eram organizadas como microempresas que operavam de forma autônoma. Ali, conviviam a vida familiar e de trabalho, o chefe da empresa era também o chefe da família, e o tempo dedicado ao trabalho coincidia com o tempo dedicado à vida em geral. Nos mesmos aposentos se trabalhava, se cozinava, se estudava, se dormia. Naquele tipo de oficina se realizava um ciclo produtivo completo, desde o projeto até a execução e venda de um objeto. Essa sociedade como um todo fundava-se em necessidades elementares, a economia era do tipo local. Cultivavam-se valores patriarcais e matriarcais, pouquíssimos tinham um alto nível de escolarização, a maioria estava constituída por analfabetos. A religiosidade e a superstição exaltavam a dimensão mágica, fatalista e ultraterrena da existência humana. Somente após milhares de anos, esse mundo se transforma na sociedade industrial.

## A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Segundo o filósofo Alan Touraine, os saltos de época se produzem quando coincidem três fatores simultaneamente: a descoberta de novas fontes energéticas, uma nova divisão do trabalho, e uma nova organização do poder. Isto aconteceu poucas vezes na História, e uma delas foi em finais do século XVIII, com a chamada Revolução Industrial.

Essas mudanças trazem consigo uma nova epistemologia, uma nova forma de ver o mundo. Um novo movimento, o racionalismo, começou a mudar a visão das pessoas, no sentido de confiar mais na ciência e na razão humana à diferença do que tinha acontecido até então, desde o início da História, quando se encaravam todos os acontecimentos da vida de uma maneira fatalista, com um enfoque

religioso ou emotivo. O racionalismo acreditava que tudo tinha uma explicação racional, mesmo aqueles eventos cujas causas ainda eram desconhecidas ou inexplicáveis. A metodologia do trabalho, as organizações sociais, as leis e os costumes começaram a mudar segundo esta nova ideologia que foi se popularizando de maneira irreversível.

Politicamente, a burguesia chega ao poder a partir da Revolução Francesa, colocando nele uma classe que se caracterizava por uma distinção econômica, e não mais nobiliária ou de inspiração divina. Isto provoca uma nova relação com a economia, agora também um fator de poder, e começa a se privilegiar a acumulação de riquezas em forma desmedida, a popularizar o comércio e a produção, tanto industrial quanto agrícola.

Na organização do trabalho viu-se efetivada uma das mudanças mais radicais, com o nascimento das indústrias, o desenvolvimento e aperfeiçoamento das máquinas, os horários de trabalho fixos, e a produção em série.

A vida das famílias muda, pois começa a ser comum que o homem passe determinadas horas fora da casa, em função do trabalho, enquanto a mulher, pelos menos nas classes altas, ficava em casa. Começa a ser visto como “natural” que ao homem corresponda o trabalho duro, a labor externa, e à mulher as tarefas domésticas, a educação dos filhos, e as tarefas do lar em geral. A sociedade vira mais patriarcal ainda, relegando a mulher a um plano emocional e afetivo, e ao homem as tarefas produtivas que mantinham em funcionamento o sistema e a sociedade em geral. Também a educação muda, começa a se popularizar a escolaridade e começa a surgir a educação técnica, ao serviço das novas tarefas das quais a sociedade precisava. O tempo das pessoas é reorganizado, dedicando-se determinadas horas ao trabalho, determinadas ao descanso, e outras ao lazer. As ci-

dades começam a mudar e crescer em forma desproporcionada, e começam a se organizar em função do novo tipo de vida, nascendo as zonas industriais, onde se trabalha, as zonas residenciais, e as zonas comerciais, provocando um deslocamento em determinadas horas de uma grande quantidade de indivíduos de uma região para a outra. Devido a essa nova necessidade de deslocamento nascem os meios de transporte massivos, estradas e avenidas.

A nova forma de trabalho cria diferentes classes sociais, com uma tensão permanente entre umas e outras em função das vantagens e explorações que devem sofrer; os católicos, por exemplo, viam o trabalho como uma condenação divina; a burguesia liberal, como uma disputa mercantil; e para Marx era uma possibilidade de redenção, junto com a revolução, e portanto um direito a ser conquistado. Apenas Taylor, no plano prático, e Laforge, no plano teórico, consideravam o trabalho um mal que devia ser reduzido ao mínimo, quando não evitado.

A nova forma de produção em série, que foi aperfeiçoada com a invenção, por Henry Ford em 1908, da linha de montagem, cria uma nova forma de consumo, na qual a abundância de produtos e a estandarização deles começa a ser comum na sociedade. Isto provoca que a especialização no trabalho seja levada às máximas consequências. Taylor chega a defender que cada trabalhador deve repetir, milhares de vezes por dia, um só gesto, com o intuito de aumentar assim a eficiência na produção, principal fator de maximização dos benefícios da indústria. Exatamente como faz Chaplin, ironicamente, no seu filme “Tempos modernos”. Também os espaços nas fábricas são especializados, começa a se dividir o armazém do depósito, as seções de produção se dividem também, assim como os escritórios e oficinas.

A produção estandarizada cria

uma nova necessidade, a de vender milhares de produtos iguais, é por isso que são criadas as modas, e nascem as lojas de departamentos, os supermercados, com preços únicos e fixos. Henry Ford falava “os americanos podem comprar carros de qualquer cor, desde que sejam pretos”. A perda de tempo para trocar as tintas, o que implicava em maiores custos, fazia com que apenas fosse possível, para vender o modelo T em menos de US\$ 1000, fabricá-los todos de uma única cor.

Em síntese, as sociedades viveram diferentes épocas desde o início da História, com períodos de estabilidade mais ou menos longos, avanços tecnológicos mais ou menos revolucionários, mas em nenhum outro momento se viveu uma mudança tão radical como esta, que mudou a maneira de pensar, de se ver, de se organizar, de trabalhar e produzir, a até as relações familiares, de poder, e sociais.

A automação nas indústrias em geral, e a robótica em particular, embora tenham seus antecedentes desde tempos muito remotos, ganharam um auge sem precedentes durante a Revolução Industrial. Dentre as primeiras invenções, podem se destacar a fiandeira de fusos múltiplos de Hargreaves (1770), a máquina de fiar de Crompton (1779), o tear mecânico de Cartwright (1785), o tear de Jacquard (1801) e outras.

Mais recentemente, foram desenvolvidas duas tecnologias que podem se denominar como o antecedente imediato da robótica: o comando numérico e o telecomando. O comando numérico é uma tecnologia desenvolvida por John Parsons, em finais da década de 40, e consiste na programação de uma máquina operatriz através de números introduzidos nela e que podem significar, por exemplo, as coordenadas de uma peça a ser usinada. O telecomando trata do uso de um manipulador remoto controlado por um ser humano. Uma combinação de telecomando e co-

mando numérico formam a base do robô moderno. Deve-se a dois cientistas a confluência dessas duas tecnologias e as vantagens conseguidas nas aplicações industriais práticas. O primeiro foi o inventor britânico Cyril Walter Kenward, que foi o primeiro a patentear um dispositivo robótico em março de 1954. O segundo cientista é o inventor norte-americano George C. Devol.

Mas o conceito do moderno robô industrial foi criado por Joseph Engelberger. Em 1962, junto com Devol, desenvolveu o primeiro protótipo de robô, chamado de *Unimate*, a ser utilizado em aplicações industriais diversas concretas. A primeira instalação registrada do robô *Unimate* aconteceu na Ford Motor Company para descarregamento de uma máquina de fundição sob pressão.

Posteriormente, a maioria dos desenvolvimentos em robótica basearam-se no desenvolvimento da tecnologia de computadores e microprocessadores em geral. Embora os computadores estivessem disponíveis comercialmente desde o início da robótica, foi somente em meados da década de 70 que, com seu aumento de velocidade e capacidade, se tornaram adequados como controladores de operações de robôs. Hoje em dia, praticamente todos os robôs industriais utilizam como controlador um computador pessoal ou algum outro tipo de controlador digital programável, como pode ser um CLP (controlador lógico programável).

### A SOCIEDADE PÓS-INDUSTRIAL

Embora não constitua uma opinião unânime, numerosos autores consideram encerrada a era industrial. A razão para isso é que, nos últimos 20 anos, as mudanças nos sistemas de produção, de distribuição e propaganda, na forma de trabalhar, e até nos fatores de poder e as relações humanas dentro de cada sociedade, mudaram tão radicalmente, que esta época real-

mente tem muito pouco a ver com respeito àquela outra na qual nossos pais cresceram, com seus valores e princípios e, principalmente, com seus costumes.

Existem muitas mudanças difíceis de detalhar, mas não seria um erro afirmar que uma das mais importantes se deu no trabalho. Até agora, tanto na era industrial quanto na era pré-industrial, a maioria da população realizava um trabalho físico, inclusive, o próprio conceito de trabalho era associado ao suor e ao cansaço. Atualmente, embora seja claro que continuam existindo tarefas que exigem um grande esforço físico, a maioria dos trabalhadores realizam tarefas intelectuais, ou pelo menos que não exigem um desgaste excessivo.

Outra característica desta sociedade é a preocupação com a ecologia, pois durante anos a produção era o único fator importante para o sistema industrial, sem considerar os danos ao ambiente provocados; a partir de agora e cada vez mais, as sociedades se preocupam pelo conhecido termo “crescimento sustentável”. A globalização também permitiu que produtos, que durante séculos tiveram um ciclo de obtenção de matéria prima, produção e venda dentro de uma mesma sociedade, comesçassem a ser produzidos nos mais diversos países, montados em outros, e vendidos no mundo todo. A informação chega a todos os cantos do mundo em forma instantânea, tanto a “oficial” através dos meios de comunicação, como a alternativa através da Internet. A biotecnologia e a manipulação genética ganham espaços nunca antes suspeitados. Se privilegia, cada vez mais, até o ponto de constituir uma verdadeira indústria, as idéias e as criações, criando verdadeiros mercados de idéias e patentes. O teletrabalho também vai ganhando espaço, permitindo a cada vez mais trabalhadores (embora ainda seja um número reduzido, é indubitável que a tendência é cres-

cente), se relacionar com seus padrões e clientes apenas por correio eletrônico, evitando deslocamentos físicos. A fabricação também mudou, deixando de ser estandarizada, em forma totalmente uniformizada e precisando portanto das modas de consumo, para voltar a ser, quase como era nos tempos da produção exclusivamente artesanal, uma produção personalizada, segundo o gosto do cliente.

Outra característica totalmente recente nesta sociedade, é o desenvolvimento e a produção de materiais primários não existentes na natureza. Durante séculos, o homem utilizou apenas os materiais existentes na natureza ou derivados deles, como aço, por exemplo. Hoje são produzidos materiais totalmente desenvolvidos em laboratório. Para a fabricação do motor Fire, por exemplo, é necessário um tipo de porcelana particularmente resistente. Então, em muitos casos primeiro desenvolve-se a matéria prima, para depois desenvolver o produto.

Mas, talvez a maior dessas mudanças todas consista nos meios de produção automatizados. O trabalho repetitivo ou excessivamente simples está sendo cada vez mais realizado por máquinas, restando para os humanos o trabalho intelectual ou criativo, como foi mencionado anteriormente. Isto que hoje em dia se observa claramente em qualquer indústria de manufatura, na realidade, é a conclusão de um processo que veio se dando através dos anos. Daniel Bell, em 1956, descobriu que nos Estados Unidos o número de empregados "colarinhos brancos" ultrapassava o número de operários no chão da fábrica, estimando assim que o mundo caminhava na direção à predominância do setor de serviços. Assim, a nova sociedade se funda, na realidade, mais no tempo vago e não no trabalho, mais na criatividade do que na produção, mais nas idéias do que no esforço puramente físico.

Este aumento dos empregados

de escritório e do setor de serviços em geral foi muito gradual. Na medida em que as máquinas podiam substituir a mão de obra humana, esta mudança ia cobrando forma. Como foi mencionado na seção anterior, na verdade, bem no início da era industrial já existiam máquinas na indústria têxtil utilizadas no lugar de operários. Mas foi com o desenvolvimento dos circuitos integrados em larga escala (VLSI) que a eletrônica, e portanto também os microprocessadores, começaram a se desenvolver aceleradamente. Em poucos anos, primeiro a eletrônica, e depois a informática, deram saltos de qualidade enormes, permitindo à robótica se converter numa realidade em qualquer indústria de manufatura.

Observe-se na **tabela 1** adiante, alguns dados que, embora incompletos e desatualizados, permitem ter uma idéia sobre o crescimento da população de robôs instalados nas indústrias.

A robotização, evidentemente, melhorou a produção em qualidade e quantidade. A Fiat fabrica, atualmente, com quatorze horas de trabalho, o mesmo produto que, há quinze anos, fabricava em cento e setenta horas. Antigamente, para fabricar uma máquina de escrever mecânica, a Olivetti empregava oitenta horas de trabalho humano. Hoje são construídos computadores pessoais em trinta e cinco minutos. Assim, nos países da Comunidade Européia, calcula-se que 50% da produção é imaterial, o pessoal empregado diminui 1% ao ano, sendo que nas grandes empresas este índice chega a 4%.

Nas primeiras aplicações da robótica, os robôs eram principalmente empregados em tarefas perigosas, ou que exigiam manuseio de elementos pesados ou difíceis de manipular, por exemplo, na solda de dutos ou elementos pesados. Nos primeiros anos da automação, portanto, o desemprego não chegava a ser considerável. Mas, na medida que os robôs

foram se aperfeiçoando, foram sendo criados novos algoritmos de controle mais precisos, e foram se sofisticando os computadores utilizados como controladores, os robôs foram substituindo mão de obra humana em tarefas que eram típicas dos operários, isto é, nas tarefas repetitivas da linha de montagem, por exemplo no embutimento de acessórios, pintura, acabamento, usinagem, deslocamento de material, entre muitas outras tarefas agora automatizadas. Mas também o desenvolvimento da informática permitiu substituir não apenas operários, como muitos empregados "colarinhos brancos", uma vez que é possível fazer transferências bancárias, arquivar dados, fazer planilhas e cálculos, e se comunicar com o resto da empresa com ajuda de computadores. Até secretárias, seguranças, telefonistas e outras tarefas foram substituídas por dispositivos eletrônicos. O desafio de maximizar a eficiência ou produção sobre horas de trabalho, está se concretizando reduzindo as horas de trabalho ao máximo possível.

Isto já era o sonho de Aristóteles, há 2500 anos, quando divagava: "Ah, se um dia os teares pudessem se mover sozinhos, sem o auxílio de qualquer escravo...". Hoje, o sonho de Aristóteles é realidade numa fábrica japonesa totalmente robotizada.

## O PROBLEMA DO DESEMPREGO

Na sociedade contemporânea, o problema do desemprego parece se alastrar por todos os países, desrespeitando as fronteiras entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Numerosos são os argumentos que se esgrimem para explicá-lo, diversas as razões que os Governos dão para esse flagelo, várias as estratégias, em geral infrutuosas, que se utilizam para combatê-lo. Seria conveniente, pelo menos, analisar algumas das razões que, sem dúvida, motivam

	1979	1982	1985	1990
Japão	14000	21000	90000	160000
Estados Unidos	3255	6800	20000	125000
Alemanha	850	3500		
Suécia	600	700		
Itália	500	753		
Polônia	360	440		
França	200	620		
Grã Bretanha	185	439		
Noruega	170	210		
União Soviética	25	3000		
Bélgica	13	42		

Tabela 1 - Alguns dados sobre a população de robôs.

esse desemprego em alguma medida.

Muitos dos países subdesenvolvidos sofrem um desaquecimento da economia, com paulatinamente menores investimentos nos setores produtivos, principalmente na indústria, e conseqüente falta de criação de postos de trabalho. Baixos salários, possibilitados pela permanente flexibilização dos contratos de trabalho a fim de reduzir os custos de produção, provocam uma queda no nível de consumo da população que, por sua vez, provoca uma queda na produção por falta de vendas, e portanto demissões devido à falta de produtividade. Isto que acontece em alguma medida em diversos mercados, se vê mais claramente em alguns produtos, tal como no mercado automotor, mas o círculo vicioso é geral e a maioria dos países ocidentais sofreram nos últimos anos uma redução no nível de consumo.

Em muitos desses países, juros altos são implementados pelos Bancos Centrais (o Brasil é recordista nesse quesito), a fim de atrair investimentos estrangeiros, que, na maioria dos casos, não são aplicados nos setores produtivos mas sim no setor financeiro, atraídos pelo retorno fácil e rápido, assim como pela liquidez ime-

diata. Esses mesmos juros altos aumentam a dívida interna dos países, o que dificulta a aplicação de recursos no setor público, com a conseqüente queda nas contratações, tradicionalmente numerosas, nesse setor. Além disso, dificultam, quando não impedem, o acesso ao crédito para as empresas em geral, e principalmente para as indústrias que precisam de um alto capital de instalação a fim de adquirir os ativos necessários para seu funcionamento, ou por exemplo para o agro, que precisa desse crédito para as colheitas. A falta de crédito é um dos fatores mais relevantes da falta de investimento na produção.

Outro dos fatores neste mercado globalizado, é a permanente diminuição das alíquotas de importação, medidas sempre impostas, principalmente aos países subdesenvolvidos, pelos órgãos internacionais tais como FMI, Banco Mundial e OMC. Essas baixas alíquotas provocam a impossibilidade de concorrência com produtos fabricados com mão de obra barata em outros países, em muitos casos mão de obra semi-escrava, ou com produções auxiliadas com subsídios, vantagens fiscais, isenções de tarifas públicas, e outros tipos de benefícios que constituem "dumping" e contra os quais os produtos fabricados em nossos países

não podem concorrer, levando à falência nossas indústrias. A indústria têxtil sofreu claramente com esse fenômeno. Os países poderosos, no entanto, protegem-se com altas alíquotas de importação, cotas, subsídios, entre outros mecanismos freqüentemente utilizados, ou simples proibições de comércio como acontece com o caso de Cuba.

A partir dos anos 80, com o auge do neoliberalismo, muitos Estados privatizaram as empresas públicas, sob a filosofia de reduzir o Estado, a fim de torná-lo mais eficiente diminuindo os déficits fiscais. Essas empresas, em muitos casos utilizadas como "cabides" de emprego, passaram por "reestruturações", procurando maximizar a eficiência, o que na grande maioria dos casos significou demissões em massa.

Cabe se apontar também que, principalmente nos países industrializados, as próprias indústrias não aplicam seus lucros em reinvestimentos produtivos, mas preferem fazê-lo no mercado financeiro, pelas razões apontadas anteriormente, provocando ganhos dos mais altos da história, sem aumento nenhum da produção. Os empresários obtêm empréstimos a juros cada vez mais convenientes, gozam de incentivos fiscais cada vez maiores, reduzem os benefícios trabalhistas cada vez mais, e no entanto vêem seus lucros aumentados de maneira inédita. A esse maior ganho dos empregadores corresponde uma diminuição da receita estatal, um aumento do desemprego e um decréscimo na qualidade de vida dos trabalhadores.

No meio desse contexto, sem dúvida que o uso massivo da tecnologia é, em muitos casos, um dos menores agentes causadores do desemprego. Mas é inegável que, principalmente nos países altamente industrializados, em que essa tecnologia é amplamente utilizada, a mesma provoca a substituição da mão de obra humana por robôs, computadores, e máquinas em geral que realizam o trabalho

de maneira mais precisa, rápida e eficiente. Principalmente em indústrias de manufatura, montagem, e metalúrgicas esse fenômeno é mais explícito.

Durante os primeiros anos da automação industrial, a tecnologia fez com que deixassem de existir alguns empregos para gerar outros mais qualificados e, talvez, em maior proporção. Porém, com o desenvolvimento da eletrônica e principalmente dos microprocessadores, esse equilíbrio se rompeu, e os empregos perdidos pelo uso da tecnologia não são mais compensados por novos investimentos ou novos tipos de emprego.

Nos dias atuais, o desemprego deixou de ser um problema puramente circunstancial, um efeito colateral e indesejável de uma teoria econômica imposta mundialmente e aceita por todos os setores sem maiores questionamentos, quase como se fosse o sistema naturalmente adequado à condição humana. Sem dúvida, o alto desemprego é um produto causado e provocado direta e propositalmente pela aplicação dessas ideologias neoliberais e economias de mercado. Justifica-se isso na razão de que o desemprego tem uma função estrutural na economia de mercado, serve para precarizar ainda mais o emprego existente, sob a ameaça ao empregado de que é facilmente substituível, diminuir os salários e os direitos trabalhistas em geral, aumentando os lucros das empresas.

O desemprego deixou de ser um problema econômico para se converter num problema social dos mais graves e urgentes. O desempregado fica exposto à miséria, sem acesso a bem nenhum e sem nenhuma proteção, ou a cada vez menos, por parte do Estado. É despojado dos seus bens e, portanto, na prática também dos seus direitos, principalmente o maior deles, o direito à vida. Pois nenhuma provisão é tomada no sentido de cuidar da sua saúde, alimentação, moradia, entre outros "benefícios",

dos quais o Estado neoliberal cada vez mais se desentende, deixando o indivíduo livrado às suas próprias forças para subsistir, isto é, no caso do desempregado, simplesmente nenhuma. Quando o indivíduo tenta se apropriar desse direito, numa tentativa desesperada por subsistir, então passa a ser um delinquente, um marginal, alguém que não merece o convívio entre os mortais "civilizados".

Inclusive, o próprio termo "desemprego" se acha privado do seu verdadeiro sentido, recobrando um fenômeno diferente daquele outro, totalmente obsoleto, que parece indicar.

Isto não é, definitivamente, um fenômeno circunstancial e isolado. Em 1958, existiam na França 25000 desempregados, em 1996, esse número subiu para 3,5 milhões. Existem ao redor de 120 milhões de desempregados no mundo, 35 milhões nos países industrializados, 18 milhões na Europa.<sup>1</sup>

Entretanto, os Estados utilizam diversas armas para lutar contra esse flagelo. Uma das principais, imposta pelo mesmo sistema que provoca e deseja esse desemprego, é a flexibilização dos contratos de trabalho. Entendeu-se, magicamente, que a dificuldade de contratação e de demissão, os direitos trabalhistas, o salário mínimo supostamente alto, as férias remuneradas, eram onerosos para as empresas, encareciam a produção, impediam a concorrência, e portanto, geravam desemprego. Mas a verdade é que determinados países extinguiram quase que totalmente qualquer direito trabalhista, aboliram o salário mínimo, a jornada máxima de trabalho, faltou apenas aprovar novamente a escravidão, e a maioria das empresas que se beneficiaram com essa flexibilização (em muitos casos os próprios Estados) não geraram um único emprego. Apenas por uma simples razão: não precisavam de mais trabalhadores. Acreditou-se durante anos (e acredita-se ainda!) que a prosperidade das empresas

implica a prosperidade dos trabalhadores. Todavia, à empresa oferecem-se todo tipo de benefícios, subvenções, possibilidades de contratos vantajosos e a fim de que ofereça empregos e não se desloque para outro lugar. Benevolente, ela aceita, mas não emprega ninguém, e fecha ou ameaça fazê-lo se tudo não correr conforme a sua vontade<sup>2</sup>. Os órgãos internacionais, zelosos protetores dos ideais do mundo livre, defendem e incentivam tais flexibilizações. Assim o Banco Mundial afirma: "Uma flexibilidade aumentada do mercado de trabalho é essencial para todas as regiões que empreendem reformas em profundidade". O FMI vai ainda mais longe: "Os Governos europeus não devem deixar que os temores suscitados pelas consequências da sua ação sobre a distribuição de renda os impeçam de lançar-se com audácia numa reforma profunda dos mercados de trabalho. A flexibilização destes últimos passa pela mudança do seguro-desemprego, do salário mínimo legal e das disposições que protegem o emprego".<sup>3</sup>

Outra arma utilizada foi a atração de investimentos estrangeiros, principalmente mediante sedutores mercados financeiros que proporcionam lucros rápidos e fáceis. Esperavam-se os investidores e seu dinheiro como *maná* chovido do céu para eliminar a fome e a miséria do povo. Os investimentos, em muitos casos, efetivamente chegam. Mas claro que quase nunca são aplicados na produção, no setor de serviços, na sociedade em geral, não criando, em definitivo, nenhum posto de trabalho.

A falta de emprego, pelo visto até aqui, deve-se a diversos e complexos fatores. Mas principalmente nos países industrializados, o avanço tecnológico provocou um fato inédito na História da Humanidade: para produzir todos os bens e serviços de que ela precisa, simplesmente não fazem mais falta todos os trabalhadores. A época do pleno emprego, principalmente entre a Segunda Guerra e os anos 80,

não voltará mais, e parece utópico sonhar com esse retorno como se estivéssemos vivendo uma crise “passageira”, da qual o próprio sistema, tal como se alguma vez conseguiu, vai se encarregar.

O desemprego, em diferentes medidas, invade todas as classes sociais e todas as sociedades, acarretando miséria, insegurança, sentimentos de vergonha em razão dos descaminhos de uma sociedade que o considera uma exceção à regra geral estabelecida para sempre. Uma sociedade que pretende seguir seu caminho por uma via que não existe mais, em vez de procurar outras. Longe de representar uma liberação favorável a todos, próxima de uma fantasia paradisíaca, o desaparecimento do emprego torna-se uma ameaça, já que o trabalho continua sendo necessário de uma maneira muito lógica, não mais à sociedade, nem mesmo à produção, mas, precisamente, à sobrevivência daqueles que não trabalham, e para os quais não têm outro meio de subsistência que aquele emprego que não existe.

Uma quantidade importante de seres humanos já não é mais necessária ao pequeno número que molda a economia e detém o poder. Segundo a lógica reinante, essa multidão não tem razão para viver neste mundo.

Segundo V. Forrester, “houve, sem dúvida, tempos de angústias mais amargas, de miséria mais acerba, de atrocidades sem medidas, de crueldades infinitamente mais ostensivas; mas jamais houve outro tempo tão fria, geral, e radicalmente perigoso”.

## CONCLUSÃO

Desde o início dos tempos, o homem teve que trabalhar duro para ganhar seu sustento. Desde a expulsão de Adão e Eva do Jardim do Éden, carregando com eles a sentença Bíblica que obrigou o homem a “ganhar o pão com o suor do rosto”, que a humanidade procura se livrar dessa “maldição” ou, pelo menos, diminuir seus efeitos

o máximo possível. Estamos, talvez pela primeira vez na História da Humanidade, nas portas de atingir tal objetivo. Robôs poderiam fazer todo o trabalho pesado, plantar, colher, fabricar eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos, fazer tarefas domésticas e até fabricar as máquinas que farão outros trabalhos, deixando para o homem apenas as tarefas de criação, organização e controle. O homem só deveria utilizar sua imaginação para idealizar em que os robôs podem aumentar ainda mais o conforto das pessoas. Muito mais tempo livre, para dedicar ao lazer, à cultura, às artes, à educação e ao pensamento poderia beneficiar sociedade.

Segundo o sociólogo De Masi: “não se trata de auspicar o melhor dos mundos possíveis, mas o melhor dos mundos realizados até agora. Onde as operações tediosas, cansativas e perigosas sejam desempenhadas pelas máquinas e as riquezas por elas produzidas sejam distribuídas com base a um princípio de solidariedade, e não de competitividade. Um mundo onde as vítimas em potencial do progresso possam usufruir das vantagens por ele derivadas, em que o trabalho intelectual e criativo seja dividido de forma equânime e organizado de maneira não alienante. Onde o tempo livre seja resgatado da banalidade, do consumismo e da violência, e em que a cultura em seu conjunto, e não a economia, guie o agir social.”

Mas é claro que para que esse paraíso seja apenas imaginável, é necessário que as riquezas geradas pelo uso da tecnologia sejam justamente distribuídas. Que todas as pessoas tenham acesso a esses benefícios, e não apenas os donos das empresas que vêem reduzidos seus custos de produção e aumentados seus lucros, enquanto o operário desempregado fica sem possibilidade de acesso a bem nenhum.

Será que a solução é ficar no passado, negar ou desconsiderar os avanços tecnológicos, rejeitar a

possibilidade de melhorar a produção em qualidade e quantidade, em prol de uma distribuição maciça de empregos?

Pensamos que não é essa a solução.

Hoje, mais do que nunca, a questão da justa distribuição das riquezas exige um amplo debate por parte de toda a sociedade, e atualmente os Governos têm o dever de dar respostas a seus povos. ■■■

## Bibliografia

- Arthur Crichtlow: **Introduction to robotics**. Macmillan publishing company. USA. 1985.

- Shimon Y. Nof: **Handbook of industrial robotics**. John Wiley and sons. USA. 1985.

- Mikell Groover, Mitchell Weiss, et.al.: **Robótica. Tecnologia e programação**. McGraw – Hill. São Paulo. 1989.

- Viviane Forrester: **O horror econômico**. Editora UNESP. São Paulo. 1997.

- Domenico de Masi: **O ócio criativo**. Editora Sextante. Rio de Janeiro. 2000.

<sup>1</sup> Dados de 1995. Fonte: Hassoun & Rey

<sup>2</sup> Lembre-se da famosa briga entre Rio e São Paulo pela instalação da fábrica de caminhões da Volkswagen, que acabou se instalando em Resende. Inúmeros benefícios renderam apenas 2000 empregos diretos. Outro exemplo é a não aceitação por parte do governo do PT de certos benefícios fiscais que gozava a Ford no Rio Grande do Sul. A mudança para a Bahia foi imediata.

<sup>3</sup> Boletim do FMI, 23 de maio de 1994, citado por Halimi, 1994.

## Sensores térmicos - 2ª Parte

## RTD e Termopares

Wendell de Queiróz Lamas

Na edição anterior, foram explanados os fundamentos básicos das medidas de temperatura enfatizando os termistores NTC e PTC, os quais variam sua resistência em função da temperatura quanto a seu coeficiente positivo ou negativo, respectivamente para PTC e NTC, sendo incluídos alguns exemplos práticos.

Nesta segunda parte sobre sensores de temperatura, serão explorados os conceitos envolvidos nas aplicações dos termo-resistores (RTD) e dos termopares, componentes amplamente difundidos no meio produtivo, sendo facilmente encontrados em plantas industriais nas quais as medidas de temperatura sejam cruciais aos processos envolvidos.

## RTD

Os RTD (*Resistance Temperature Detectors*) são dispositivos construídos de fio enrolado e de uma película fina, que trabalham pelo princípio físico do coeficiente de temperatura da resistência elétrica dos metais. São quase lineares sobre uma larga escala de temperatura, e podem ser feitos pequenos o bastante para ter tempos de resposta de uma fração de segundo. Requerem uma corrente elétrica para produzir uma queda de tensão através do sensor que pode, então, ser mantido por um dispositivo de leitura externa calibrado.

O metal mais utilizado na construção de termo-resistências é a Platina, sendo encapsulados em bulbos cerâmicos ou de vidro. Os modelos mais utilizados atualmente são: Pt-25,5  $\Omega$ , Pt-100  $\Omega$ , Pt-120  $\Omega$ , Pt-130  $\Omega$  e Pt-500  $\Omega$ , sendo que na indústria o mais conhecido e utilizado é o Pt-100  $\Omega$  (a 0 °C). Uma liga composta de cobre e níquel também é utilizada na construção de detectores de temperatura por variação de resistência elétrica (RTD).

A faixa de temperatura à qual um RTD pode ser submetido para leitura varia conforme a norma de padroni-

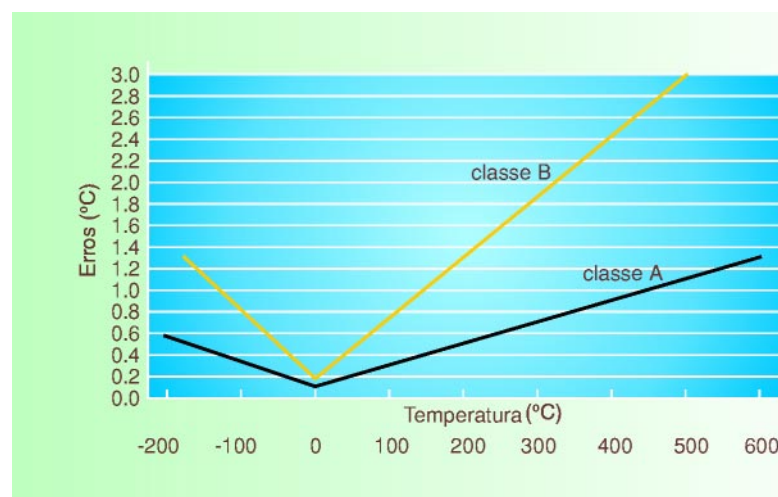


Figura 1 - Desvios permitidos (em °C) conforme a faixa de temperatura para RTD de Platina.

zação em uso. A norma ASTM E1137 padroniza esta faixa de -200 °C a 650 °C; já a norma DIN IEC 751, padroniza de -200 °C a 850 °C.

Com relação à precisão dos dispositivos, as termo-resistências são divididas em duas classes: A e B. A **figura 1** ilustra o comportamento dessas duas classes em função dos erros apresentados nas medições.

## Aplicações de RTD

## - Sensores de Temperatura

Os sensores de temperatura fornecem uma mudança de parâmetro

físico, tal como a resistência ou a saída de tensão elétrica que corresponde a uma mudança de temperatura. Estes sensores são apropriados para as aplicações que requerem de dispositivos de pequenas dimensões, a precisão e suas saídas lineares. São permutáveis sem recalibração.

A ponta de prova mostrada na **figura 2** está disponível para sistemas que requerem precisão de  $\pm 0,004$  °C ou melhor. Para temperaturas entre 0 °C e 60 °C, chega a uma precisão de  $\pm 0,001$  °C. Sua calibração segue o padrão NIST.

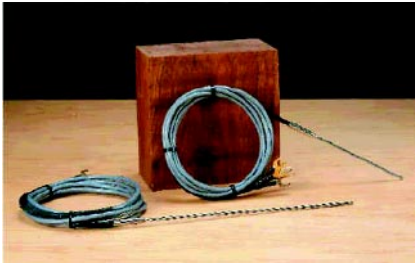


Figura 2 – Ponta de prova padrão a Termistor Modelos 5640 - 5644 (Hart Scientific, Inc.).

## TERMOPARES

Os termopares são sensores de temperatura apropriados para o uso com todo o feitiço de instrumentos projetados ou programados para o uso com tipos de termopares pré-estabelecidos. São dispositivos baseados no princípio de que, enquanto dois metais dissimilares forem juntados, uma tensão pré-estabelecida será gerada, a qual relata a diferença de temperatura entre a junção medida e a junção de referência (conexão ao dispositivo de medida). A seleção do melhor tipo de termopar, ou seja a escolha dos metais usados em sua construção, é baseada na temperatura de aplicação, atmosfera, comprimento requerido do serviço, precisão e custo. Quando a substituição de um termopar se faz necessária, é da máxima importância que o tipo do termopar empregado na reposição combine com aquele do instrumento de medição. Os tipos diferentes de termopar têm curvas muito diferentes da tensão de saída. É também adequado que o termopar ou o fio de extensão do termopar, do tipo apropriado, seja usado por toda a extensão desde o elemento de sensoramento até o elemento de medida. Os grandes erros podem ser gerados e propagados se esta prática não for seguida.

### Cuidados para uma Boa Leitura

A seleção do tamanho do fio usado no sensor de termopar é dependente da aplicação. Sendo o fator

Tipo do termopar	Nomes dos materiais	Pt100
		T(°C)
B	Platina 30% Ródio (+) Platina 6% Ródio (-)	2500 - 3100 °F 1370 - 1700 °C
C	W5Re Tungstênio 5% Rênio (+) W5Re Tungstênio 26% Rênio (-)	3000 - 4200 °F 1650 - 2315 °C
E	Cromel (+) Constantan (-)	200 - 1650 °F 95 - 900 °C
J	Ferro (+) Constantan (-)	200 - 1400 °F 95 - 760 °C
K	Cromel (+) Alumel (-)	200 - 2300 °F 95 - 1260 °C
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	1200 - 2300 °F 650 - 1260 °C
R	Platina 13% Ródio (+) Platina (-)	1600 - 2640 °F 870 - 1450 °C
S	Platina 10% Ródio (+) Platina (-)	1800 - 2640 °F 980 - 1450 °C

Tabela 1 – Relação de tipos de materiais utilizados na construção de termopares e suas faixas de atuação (RTI Electronics, Inc.).

principal de escolha a necessidade de uma longa vida útil do sensor a elevadas temperaturas, a escolha recairia sobre fios de tamanhos maiores. Quando a sensibilidade for o interesse maior, os tamanhos menores de fio deverão ser usados.

Desde que o efeito de condução do calor do ponto aquecido do termopar seja minimizado, a ponta de prova do termopar deverá ser suficientemente comprida. A menos que haja uma imersão suficiente, as leituras serão pouco precisas. Sugere-se que o termopar seja imerso para uma distância mínima equivalente a quatro vezes o diâmetro exterior de um tubo de proteção.

Termopares devem estar sempre em uma posição para ter um relacionamento preciso da temperatura com a carga de trabalho. Geralmente, o termopar deve estar situado entre a carga de trabalho e a fonte de calor e ser encontrado aproximadamente a 1/3 da distância da carga de trabalho à fonte de calor. Atente para a **tabela 1**, acima.

Como foi salientado, as condições físicas envolvidas no sistema de medição, assim como as ambientais, influenciam considera-

velmente nas medições mais críticas. Buscando diminuir, senão eliminar, tais influências e os efeitos porventura provocados, são adotados vários tipos de montagem, chamados a dois fios, a três fios e a quatro fios.

A **figura 3** apresenta a montagem a dois fios. Cada terminal do bulbo recebe uma ligação. Essa montagem é adequada para leituras a serem realizadas considerando-se um fio de bitola 2,0 mm, à distância de até 3,0 m.

A **figura 4** ilustra a montagem a três fios. Este tipo de montagem é o mais utilizado industrialmente, pois se caracteriza pela precisão e pela facilidade de confecção. Nesse caso, o terceiro fio compensa a variação da resistência elétrica.

Na montagem a quatro fios, como vista na **figura 5**, existem duas ligações conectadas a cada terminal do bulbo, sendo dois cabos para tensão e dois para corrente. Alcançando-se, assim, o total balanceamento das resistências. Tal característica faz com que, ao serem interligadas corretamente ao instrumento de indicação, essas resistências adicionais tenham seus valores desprezíveis

em relação ao sistema. É essa a montagem mais precisa, sendo utilizada onde a precisão das medidas se fizer necessária. Por ter uma construção bastante trabalhosa e complexa, esse tipo é usado comercialmente apenas em casos muito críticos, assim, seu uso mantém-se restrito a laboratórios de calibração.

## Termos ligados aos Termopares

**Junção fria ou junção de referência** – É a junção geralmente no dispositivo de medição, que é mantida em uma temperatura relativamente constante.

**Compensação da junção fria** - Mede a temperatura ambiente na conexão do fio do termopar ao dispositivo de medição. Isto permite a (leitura exata) da temperatura na junção quente pelo dispositivo de medição.

**Elemento duplo** - Dois elementos de termopar abrigados dentro de um conjunto da montagem do termopar.

**Fio de extensão** - Fios que conectam o próprio termopar a uma junção de referência, por exemplo, controlador, receptor, registrador, etc. O fio de extensão deve ser do mesmo tipo que o termopar. Plugues e tomadas especiais feitas das mesmas ligas que o termopar seriam usadas se uma (conexão rápida) fosse requerida para a aplicação.

**Junção Aterrada** – Os condutores internos deste termopar são soldados diretamente ao material circunvizinho da bainha, dando forma a uma junção integral completamente selada.

**Junção Infundada** - Embora os condutores internos do termopar sejam soldados juntos, eles são isolados eletricamente do material externo da bainha e não conectados à bainha de qualquer maneira. Os termopares de junção infundada são ideais para o uso em soluções condutoras ou onde a isolamento do circuito seja requerida. As junções infundadas são requeridas onde os

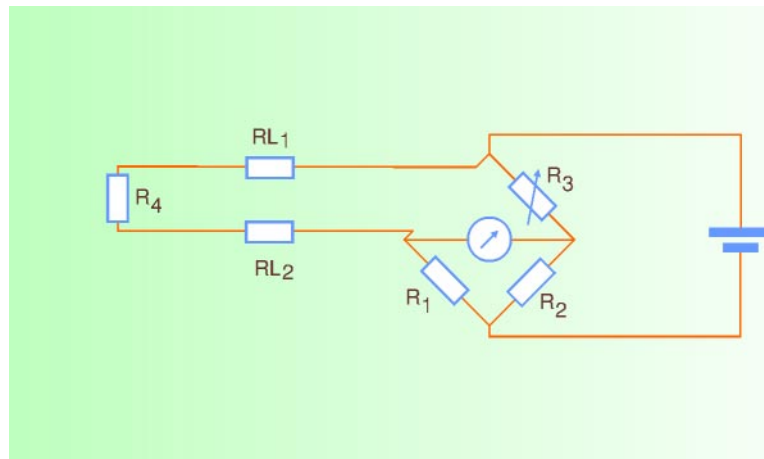


Figura 3 - Montagem a dois fios.

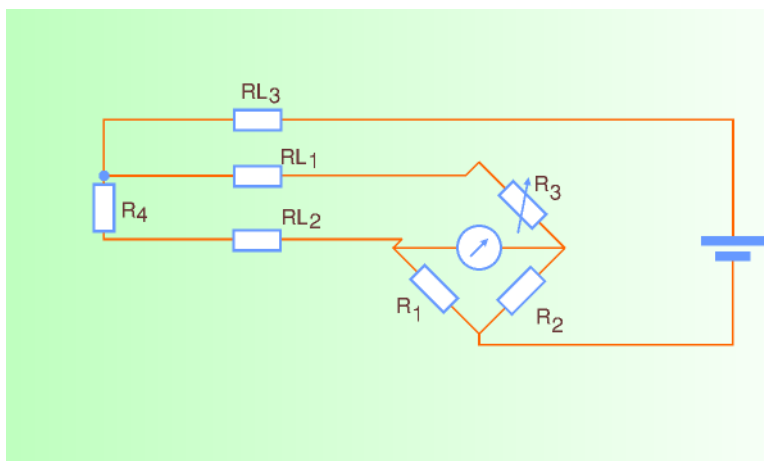


Figura 4 - Montagem a três fios.

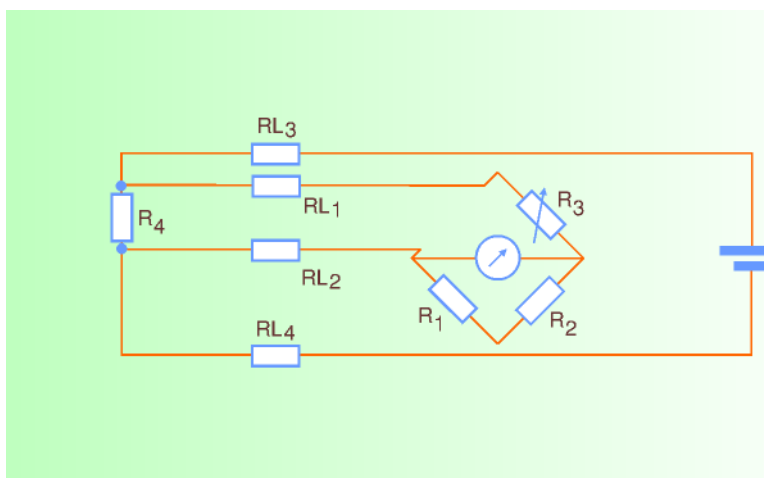


Figura 5 - Montagem a quatro fios.

instrumentos de medição não fornecem isolamento canal a canal.

**Junção Exposta** - O ponto de junção ou de medição do termopar

é exposto sem nenhum conjunto de proteção ou tubo. Os termopares de junção exposta, devido a seu projeto, oferecem ao

usuário o tempo de resposta mais rápido.

**Junção Quente** - a junção de medição.

**Comprimento de Imersão** - A parcela do termopar que é sujeita à temperatura que está sendo medida.

**Junção de Medição** - A junção em um termopar que meça realmente a temperatura do objeto. Frequentemente referida como junção a quente.

**Tubo de Proteção** - Um tubo como montagem em que o termopar é instalado a fim de proteger o elemento dos ambientes severos.

**Thermowell** - um tubo fechado na extremidade, enfiado ou flangeado, que seja montado diretamente ao processo ou à embarcação, projetado para proteger o termopar dos processos vizinhos.

### Códigos de cores de Termopares

A cor da fiação do termopar é codificada por tipos do termopar. Países diferentes utilizam o código de cor diferente. A coloração do revestimento é, às vezes, uma listra colorida em vez de uma cor contínua como mostrada. Veja a **figura 6**.

### CONCLUSÃO

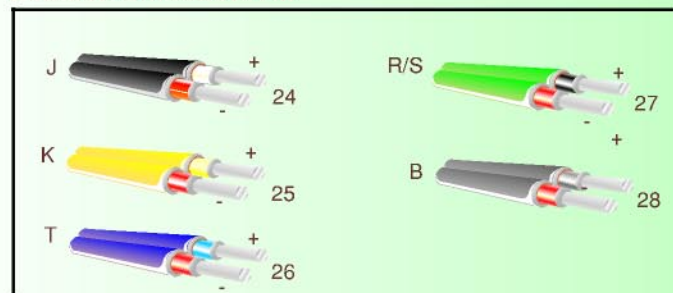
Como foi visto, há uma grande variedade de elementos sensores para temperatura.

Essa quantidade de dispositivos, apoiados por sua qualidade, têm sido, no decorrer dos anos, um alívio significativo nos processos produtivos em geral, principalmente naqueles em que a influência térmica é um fator crítico.

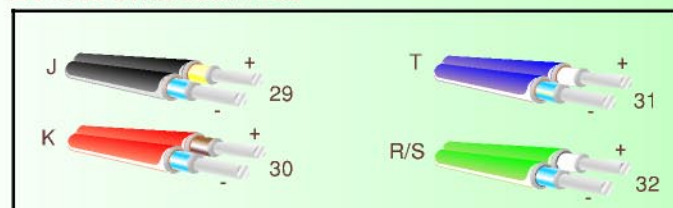
Esses elementos para detecção de variações térmicas estão presentes, como exemplificado, sendo aplicados em controle da temperatura ambiente e de líquidos, compensação de superaquecimento de motores e de transformadores, em sistemas de refrigeração, enfim, numa ampla gama de aplicações.

Assim, observa-se a importância, embora muitas vezes discreta, desse naipe de transdutores.

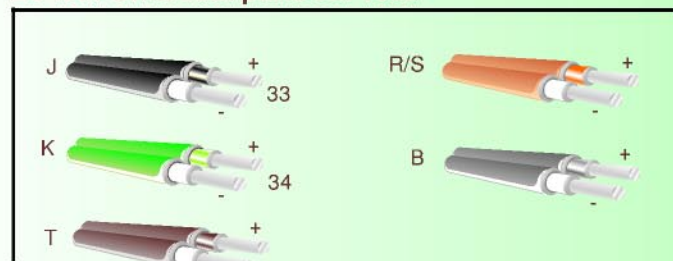
#### Estados Unidos ASTM



#### BS1843 britânico: 1952



#### BS4937 britânico: parte 30: 1952



#### NFE francês



#### DIN alemão

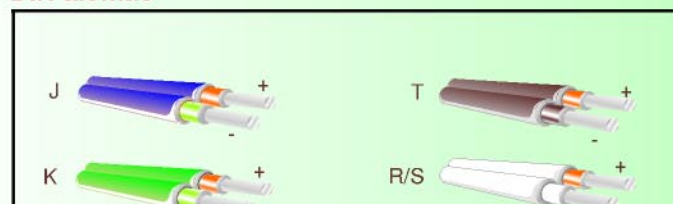


Figura 6 – Exemplos de termopares já encapsulados (Universidade de Aveiro – Instituto de Investigação).

# Retrofitting

## Seleção do CNC para High Speed Cutting

Paulo Eduardo Pansiera

**E**ste talvez seja o tópico mais explorado atualmente no ramo de máquinas CNC. Toda a teoria de ganho de produtividade com máquinas CNC já é de vasto conhecimento entre usuários e proprietários de indústrias e ferramentarias.

A Máquina CNC substituiu a convencional, com boa vantagem. Praticamente, é unânime a opinião de que uma indústria moderna não pode conviver sem máquinas CNC. Isso tudo foi um movimento talvez de magnitude similar à revolução industrial.

As máquinas CNC das décadas de 70, 80 e 90 bateram as suas antecessoras em tecnologia – as máquinas automáticas – e essas últimas desbancaram os processos artesanais do século 19.

Num trabalho de regressão cronológica, o mundo viveu até meados do século 19 um cenário de capacidade de produção praticamente estagnado. A partir daí e até um século depois – digamos até 1960 – o surgimento de máquinas automáticas elevou a capacidade produtiva a um novo patamar.

Dessa data para frente, o início do emprego de máquinas CNC elevou mais uma vez a capacidade produtiva a um terceiro patamar e, atualmente, há pelo menos uns 5 anos, já se ouve falar de uma tecnologia sucessora chamada de Usinagem de Alta Velocidade.

A usinagem em *High Speed* – atente para a comparação – no mínimo dobra a produtividade de qualquer máquina CNC atual e sem cus-

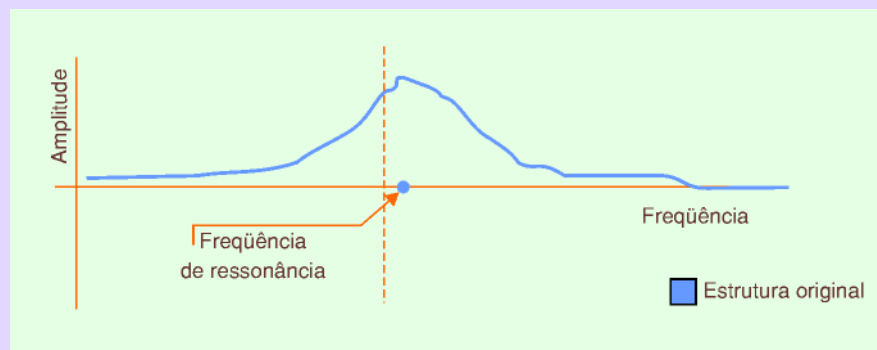


Figura 1 - Gráfico de amplitude x frequência de ressonância.

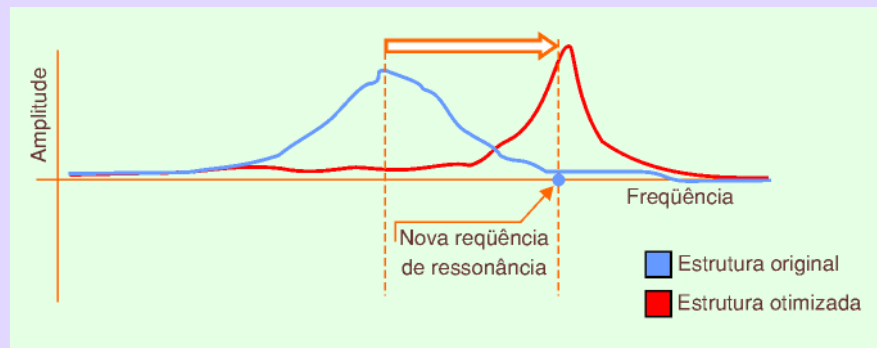


Figura 2 - Gráfico comparativo entre a estrutura original e a estrutura otimizada.

tar o dobro para aquisição. O melhor é que temos máquinas nacionais já sendo fabricadas com esta tecnologia cujos preços, pelo menos não em sua totalidade, estão atrelados à uma moeda estrangeira.

Ainda mais interessante é que a sua máquina antiga, que você está planejando *retrofitar*, pode sim passar já para o patamar de uma máquina *High Speed*. A uso correto de guias, patins e fusos, combinados com uma estrutura fundida bem envelhecida, ajudam

muito – mas não são tudo – para tornar sua máquina antiga um supra-sumo da alta velocidade de usinagem.

Existe um trabalho adicional de análise estrutural, altamente focado em vibrações e consequente alteração de inércias, que ao final aponta alterações necessárias para que o uso em alta velocidade não venha a provocar trincas e rachaduras na base e em cabeçotes, além é claro, de garantir a rigidez e geometria do suporte de ferramentas e fixação da peça.

Para os adoradores da teoria do controle clássico, vai aí uma explicação deste trabalho de análise estrutural: o trabalho consiste em modificar a inércia das partes fixas e móveis, de forma que a frequência de ressonância da estrutura seja agora movida bem mais para a direita do espectro. Veja **figuras 1 e 2**.

Quando formos falar de *retrofitting* de estruturas mecânicas, aí vamos entrar mais a fundo neste assunto. Neste ponto apenas fique com a informação de que para transformar sua máquina convencional ou CNC em máquina *High Speed*, é imprescindível uma alteração mecânica estrutural. Se você negligenciar este fato e apenas trocar motorização e CNC, poderá estar comprometendo, e muito, a estrutura de sua máquina e daí jogando todo o investimento fora.

Nas edições anteriores falei muito sobre seleção de um CNC para o seu *retrofitting*. Nesta, vou encerrar a série auxiliando-o a escolher um CNC para quando seu *retrofitting* objetivar uma máquina *High Speed*.

Todos os exemplos serão baseados em máquinas-fresadoras *High Speed*, que são os modelos mais em evidência na atualidade.

## PROCESSO CONVENCIONAL DE USINAGEM

Cada vez mais peças automotivas, de eletrodomésticos, de mobiliário e enfim de uso geral, estão sendo fabricadas por injeção de plástico termorrígido. As máquinas injetoras de plástico precisam de um molde aonde será “derramado” o plástico líquido – o material estrutural.

Ao final do processo, com a abertura do molde, temos a peça acabada, praticamente pronta para a utilização. Tudo então parte do princípio de que já existe um molde para injeção. Mas como produzir o molde?

Responder a esta pergunta é a essência deste artigo. Antigamente, antes do advento dos sistemas CAD, o molde era feito realmente em resina e daí utilizavam-se sucessivos

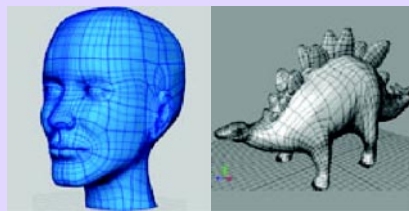


Figura 3 – Digitalização de superfícies.

processos de comparação e correção para se obter a forma final da ferramenta em aço. O processo era lento e impreciso. A confecção do molde dependia muito mais da habilidade do operador do que de algum processo automático.

Com o surgimento de máquinas CNC com o recurso de digitalização, o molde em resina ou até em aço passou a ser copiado em forma das coordenadas X,Y,Z de sua superfície final e o arquivo, armazenado em disco rígido.

Com este arquivo de pontos X,Y,Z, a superfície poderia ser reproduzida, por exemplo com uma ferramenta de fresa de topo sobre um material bruto. Pronto! Já temos como armazenar o perfil de um molde. Doravante farei referência várias vezes a um arquivo de pontos X, Y, Z. Lembre-se deste conceito porque ele é inclusive um produto para a indústria de moldes e matrizes.

Uma outra forma de obtermos uma superfície X,Y,Z que não o da digitalização, é o da geração da mesma através de computador. Com programas CAD 3D, qualquer superfície pode ser modelada e depois, através de Softwares de CAM, o caminho que a ferramenta percorrerá sobre estes pontos, também é determinado. No final, a saída do software de CAM é uma sequência de pontos que a ferramenta deverá percorrer.

Entre os pontos, o percurso da ferramenta é na grande maioria, um segmento de reta. Como não se desejam “cantos” ou segmentação de superfície, procura-se manter a distância de um ponto a outro na ordem de centésimos de milímetro. Quanto menor for a distância entre os pontos, mais fiel será a superfície

final em relação ao modelo original.

Em contrapartida, com incrementos menores, teremos cada vez mais pontos e daí o arquivo vai ficando cada vez maior. Um exemplo disso é um molde de sola de sandália de plástico para verão ocupa um arquivo de cerca de 5 Mb. Uma capa de pára-choque de carro, cerca de 20 Mb. Uma lanterna de ré, cerca de 11 Mb.

O desenho em si já não é simples. Depois de pronto ele tem todo o valor de horas e engenharia agregados. Somados ao custo do CAM e de outras ferramentas-acessórios de refinamento, pode-se dizer que o arquivo final é um bem de capital da empresa e que costuma ser guardado em servidores de grande capacidade criptográfica. Estou lendo este mês um artigo da “AVIONICS” – uma revista especializada em novidades para a indústria aeroespacial, que comenta que certa fábrica de aviões, localizada em Washington, EUA possui US\$ 50,000,000 (cinquenta milhões de dólares) de arquivos. É um belo dinheiro em engenharia e otimização de processos.

Somado ao programa de CAM, existem também ferramentas corretas, máquinas e dispositivos.

Se você for verificar bem a composição de custo de um molde, o material bruto é uma parcela bem pequena. A maioria do custo está no pagamento de horas-máquina e software para a geração da superfície.

Falamos sobre a definição de um arquivo X,Y, Z e de algumas características, especialmente de seu tamanho, e que por isso deve ser armazenado em disco rígido. Se local ou em drive de rede, pouco importa, desde que se tenha procedimentos de *back-up*.

Para que se tornem úteis, devem ser transmitidos para uma máquina CNC. Usualmente, isso se dá via protocolo RS232C (comunicação serial com protocolo de conferência por paridade). Toda máquina CNC possui uma porta dita como “serial” e um *buffer* para programas.

Os dados que chegam vão para este *buffer*. Na medida que o

processamento vai seguindo, o CNC vai consumindo dados do *buffer*, liberando mais espaço para que o PC envie mais dados, isso se comporta assim até o final do programa.

Do lado do PC o único cuidado é o de *setar* um valor de transmissão alto o suficiente para que o gargalo seja a máquina. Assim, apesar de a máquina não possuir um disco rígido de gigabytes, isso tanto faz porque está se utilizando do disco externo que está no PC.

Perceba, por esta linha de condução do assunto, que todo o problema de uma velocidade de usinagem baixa está na máquina e não no PC ou no CAD & CAM. Se tivermos recursos de CNC que permitam alta velocidade de processamento e especialmente de algoritmos dedicados para interpolações, então o movimento dos eixos será talvez tão rápido do que a transmissão do PC.

O comportamento preliminar da máquina e os recursos de CNC serão daqui para frente explorados. Quando nada diferente for mencionado, considere que o arquivo fonte da peça é do formato de pontos X,Y,Z – via digitalização ou CAD.

## COMPORTAMENTO DA MÁQUINA SEM A ATIVAÇÃO DE RECURSOS DE OTIMIZAÇÃO

Parta da máquina com eixos parados na posição X=0, Y=0 e Z=0 e agora entre com um comando de deslocamento (para facilitar somente em X) para X = 5000 (milímetros), com velocidade de G1 para 5 m/min.

Então, se cronometrarmos o período que o carro se desloca, chegaremos ao tempo de 1 min. Isso já era o esperado, pois o percurso de 5000 mm, quando percorrido a uma velocidade de 5 m/min (5000 mm/min) consome 1 minuto.

O comando para esta linha é clássico da programação de CNC: G1 X5000 F5000. Se você não está familiarizado com programação CNC, tudo bem, pois este exemplo é simples e os demais são todos da mesma complexidade.

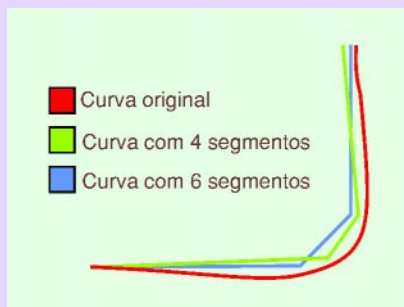


Figura 4 - A curva original e curva segmentada com diferentes incrementos.

### Código-fonte 1

```
R0 = 0
G1 F5000
WHILE R0 <= 5000 DO
Begin
XR0
R0 = R0+10
End
```

Agora faça com que a máquina percorra os mesmos 5000 mm, porém de 10 em 10 mm. O programa ficaria então como mostrado no **código-fonte 1**.

Com este programa, a máquina percorre 10 mm, pára, parte e percorre mais 10 mm, pára, parte...e assim por diante até atingir os mesmos 5000 mm de percurso. Se medirmos o tempo, este será algumas vezes maior que o do deslocamento anterior. Isso porque a máquina não sabe onde terá de encerrar o movimento: não há um pré-processamento.

Isso é o mesmo que você faz quando está se dirigindo pela primeira vez a um endereço onde nunca esteve: leva mais tempo, seja perguntando ou observando mapas e indicações do que quando o caminho já é conhecido. Agora, se você já estiver acompanhado de alguém que conhece o destino e o trajeto, então a viagem será mais curta.

O CNC também possui alguma "ajudas" para tornar o deslocamento mais rápido. Estes recursos antecipam os pontos que o CNC deverá percorrer de forma que ele possa fazê-lo sem perda da velocidade inicial. Vamos lá!

## LOOK AHEAD

Dizemos que o CNC está livre para se deslocar na velocidade programada, contudo deve estar sempre "olhando" um certo número de blocos à frente. Digamos que observe 20 blocos, por exemplo. Daí, se ao se deslocar ele perceber que o vigésimo bloco já é um bloco sem movimento, então ele começará a desacelerar agora para então parar completamente naquele vigésimo bloco.

A CNC possui uma variável de controle do número de blocos para *look ahead*. Em geral, esta variável vem com o valor 1, podendo ser programada para até 1000, sem bem que na prática não seja necessário.

Observe que um valor alto de *Look Ahead* não é vantajoso, pois a máquina começa a desacelerar muito antes do final da sequência de pontos. Já um valor muito baixo também não vai resolver porque a máquina vai limitar automaticamente sua velocidade de forma que consiga parar completamente quando enxergar um bloco sem movimento.

A máquina trabalha na segurança, não deixando que a ferramenta ultrapasse a cota final. Isso a qualquer custo. Atente para a **figura 5**.

O valor ótimo de *Look Ahead* depende da peça em usinagem e da dinâmica da máquina. A capacidade do CNC em processar *Look Ahead* tem quase nenhuma influência sobre o tempo de corte. Sem dificuldade, você encontra CNCs de até 6 ou mais anos atrás onde a função de *Look Ahead* já existia e um número superior a 100 blocos já era permitido.

Para a seleção, preocupe-se com um CNC que possua *Look Ahead* de capacidade mínima de 100 blocos. Contudo, observe que o *Look Ahead* é até um recurso *standard* da maioria dos CNCs da atualidade, portanto dizer que um CNC possui *Look Ahead* não é nenhum benefício e sim uma característica já esperada.

## COMPRESSORES

Do tempo do meu PC 386 SX de 25 MHz, lembro-me bem da dificuldade que existia para rodar programas

que necessitassem de processamento matemático de alta velocidade. Acontecia que ao se necessitar desse processamento, a CPU atendia simultaneamente a outros periféricos, além, é claro, de administrar o sistema operacional. DOS 6.2 na época.

Era o tempo dos programas de CAD ainda para a plataforma DOS, que você ativava ao escrever ACAD no *prompt* de comando. Isso hoje são só lembranças, já que os sistemas de CAD em uso dentro das indústrias e também nas escolas, utilizam-se de plataformas como o Windows por exemplo.

Ainda nos tempos remotos – 1989, 1990 e 1991, quando tentávamos rodar um CAD e o desenho criado gerava um arquivo do tamanho médio de uns 250 K, o computador já apresentava lentidão. A quantidade de operações matemáticas simultâneas que ocorriam ao, por exemplo, girar a figura, era tamanha, que o *refresh* de tela demorava ao menos 1 segundo para ir de um quadro a outro.

Isso irritava muito, além de ocasionalmente travar o micro. No mesmo ano de 1990, a Intel lançou um *chip* que podia ser instalado nas placas-mãe dos 386, com a função de tratar o processamento matemático em paralelo com as funções principais do processador.

Esse *chip* era chamado de co-processador aritmético, família 387. Após a instalação deste *chip* na placa-mãe, o micro apresentava uma performance revolucionária em comparação com a anterior.

Os programas de CAD rodavam como se 100% da CPU estivesse trabalhando só para eles. O limite então ficou realmente na capacidade de endereçamento dos 386 e no *clock* interno. Com novos processadores e mais memória, o bom e velho CAD foi até substituído por versões mais requintadas, sem apresentar perda de performance.

Toda esta introdução serviu apenas para lembrarmos que existiu um *chip* “acelerador” do processamento matemático, chamado de co-processador, distinto do processador principal e que, como

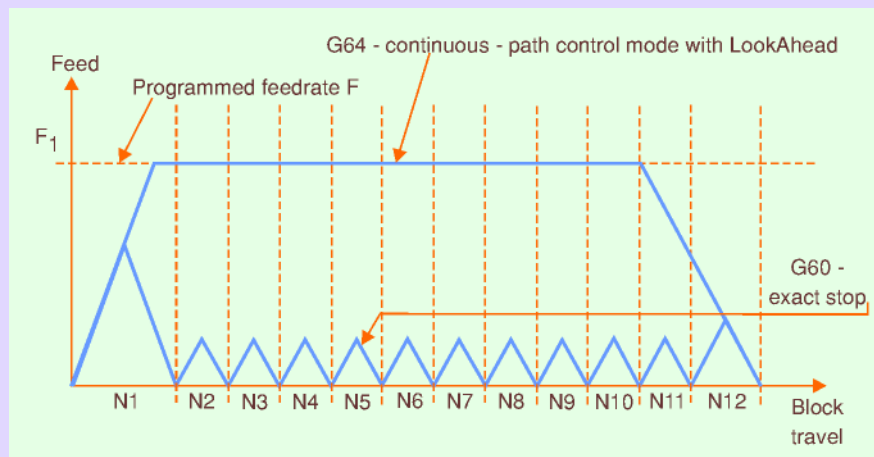


Figura 5 - Look Ahead.

este, era também instalado na placa-mãe do PC.

No CNC o caso é o mesmo, porém não é necessário instalar o *chip*, que já deve estar lá. Certos CNCs já informam que o processamento está otimizado, enquanto que para outros faz-se necessária a devida habilitação do opcional.

Compressão de dados é o nome dado ao uso dos recursos disponíveis para este auxílio de processamento. Quando dizemos que um CNC possui “compressores”, estamos imediatamente fazendo referência à habilidade do CNC de executar processamento matemático em velocidade superior (normalmente 4 à 5 vezes) à do sistema tradicional.

Vamos voltar ao problema da usinagem em alta velocidade. Num primeiro instante, parece que é realmente de um compressor que precisamos para fazer os eixos do CNC moverem-se fielmente, porém em uma velocidade maior.

Sem dúvida, esse é o recurso fundamental para uma usinagem em alta velocidade. Quando os compressores estão ativados, os blocos do CNC são processados de forma a que a trajetória entre os pontos se configure como uma curva polinomial e não como um segmento de reta.

Lembrando das aulas de cálculo numérico, um pequeno número de pontos é lido à frente, contabilizados e, através destes, gera-se um po-

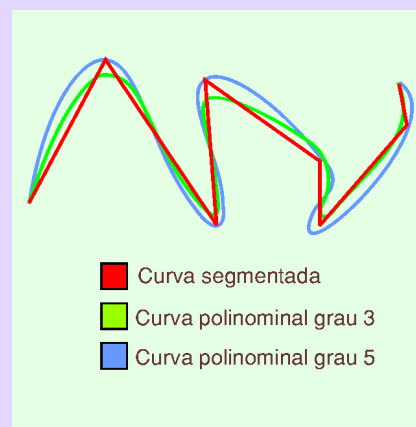


Figura 6 - Curva segmentada x polinomial grau 3 x polinomial grau 5.

linômio que passa pelos pontos. Acompanhe a **figura 6**.

Os polinômios que são gerados com os compressores podem ser de grau 3 ou grau 5. Quando é de grau 3, a curva polinomial adere mais ao segmento de reta, enquanto que para grau 5 ela se distancia um pouco. Já em termos de velocidade, a curva de grau 5, pela maior suavidade entre pontos, apresenta melhor resultado que a de grau 3.

Examine se o CNC que você está comprando possui o recurso de interpolação linear com o uso de compressores, e em caso afirmativo, em qual grau de interpolação polinomial.

Um caso empírico, de segmentos de reta da ordem de 0,01 mm que sem o uso de compressores eram executados à uma velocidade de 2 m/min, com eles, podem ser execu-

## Código-fonte 2

```
10 G90 G1 F8000
N20 COMPCURV ; ativação do
compressor de grau 5
N30 Y40
N50 X100.000 Z100.000
N51 X 100.010 Z100.010
N52 X 100.020 Z100.020
.
...
.....
N5340 X 102.030 Z105.090
..
...
....

N202000 M30
```

tados entre 7 à 8 m/min com polinômios de grau 3.

Para a programação, a utilização dos compressores não requer nenhum tratamento especial de sintaxe e são modais. Veja este programa-exemplo no **código-fonte 2**.

## CURVAS SPLINES

Apesar de eficientes, os polinômios não são – felizmente – as únicas curvas de que dispomos para acelerar a movimentação dos eixos do CNC.

Por definição, pontos que dizemos como estritamente pertencentes a um polinômio, consistem naqueles que são raízes de alguma de suas derivadas. Se são assim, então por recorrência, eles pertencem à curva.

Mas qual é o mal de pertencerem à curva? Você sabe que um programa de CAD é que gera os pontos para a curva e que tais pontos são passados ao CNC, provenientes do PC, através de comunicação serial.

A eficiência do protocolo RS232C é alta, mas ele não é infalível. Pode ocorrer que um ponto chegue ao CNC com seu sinal trocado, por exemplo ou ainda que a falha tenha ocorrido quando na geração do ponto pelo software de CAD.

Pronto, temos então riscos suficientes para temer em relação à utilização da interpolação polinomial.

A solução para este problema veio com a criação do algoritmo de Bezier que será ilustrado mais a frente. De início, ainda mais pela sua simplicidade, a primeira curva a ser apresentada é a AKIMA.

O algoritmo de AKIMA perfaz que a um conjunto de pontos no plano, sejam por eles passados um polinômio de grau 3 (**figura 7**).

Perceba pelo desenho, que a curva tem uma forte aderência aos segmentos de reta.

Um outro algoritmo é o da curva CUBIC SPLINE, também num polinômio de grau 3, porém com menor aderência à curva segmentada (**figura 8**).

Uma observação importante é que o ganho que se tem com estas duas *Splines* está na suavidade da curva e não na velocidade de interpolação. Veja que em todo o tópico sobre *Spline* não foi citada a presença de um compressor, portanto não é de esperar uma performance tão revolucionária.

As velocidades de processamento e movimentação de eixos com *Splines* são, em média, o dobro das mesmas no caso de interpolação em segmento de reta e ainda com um acabamento bem melhor. Ai está o ganho com o uso da *Spline* – no acabamento.

Como não dispomos de um processamento paralelo, o CNC deve também gerar o polinômio simultaneamente ao controle dos eixos. Se você tiver uma CPU turbinada, como um Pentium III por exemplo, pode ir até perceber uma velocidade maior dos eixos do

que simplesmente o dobro, contudo, principalmente pelo requisito custo de aquisição, estas CPUs são caras.

**Dica:** prefira uma CPU mais simples, mas que possua um compressor do que uma CPU incrementada.

Como foi mencionado anteriormente, estas curvas por serem polinomiais por definição, sofrem do risco de passarem por pontos “falsos”, caso que como dito, foi resolvido por Bezier.

Bezier pensou diferente de todos no aspecto de interpolações com polinômios. Ao invés de obrigarmos a curva a passar pelos pontos de controle, vamos fazer com que ela “tenda” a esses pontos, porém sem necessariamente fazê-la passar por eles.

Para Bezier, os pontos gerados pelo CAD foram tratados como pontos de controle e não como pontos da trajetória. Uma vez que o incremento é sempre centesimal ou inferior, muito pouca diferença faz se a curva for fiel ou não a tal ponto, pois ela tenderá a ele de qualquer forma.

A essa tendência, Bezier atribuiu pesos, que são classificados entre 0 e 3. Com peso alto, digamos 2,8, a curva Bezier praticamente passa pelo ponto de controle, enquanto que para um peso bem pequeno, digamos 0,1, ela nem considera o ponto. Observe a **figura 9**.

Pertencente à família de curvas *Spline*, pois são produto de geração interna de polinômios, as curvas Bezier são geralmente denominadas de *B-Splines*. Tais curvas têm como definição um algoritmo de controle de terceira dimensão a saber: X, Y e

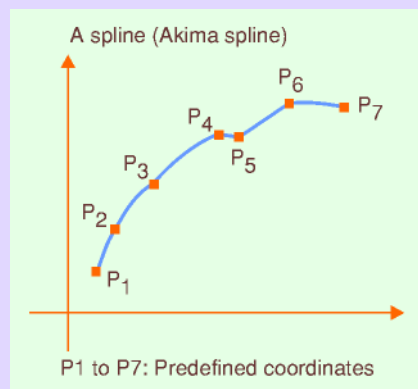


Figura 7 - AKIMA SPLINE.

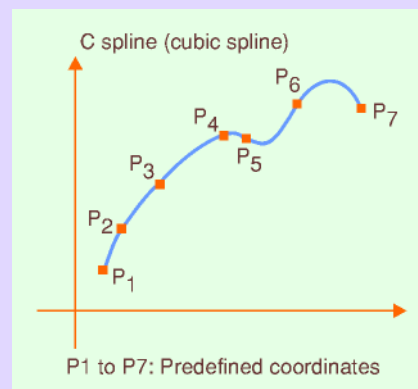


Figura 8 - CUBIC SPLINE.

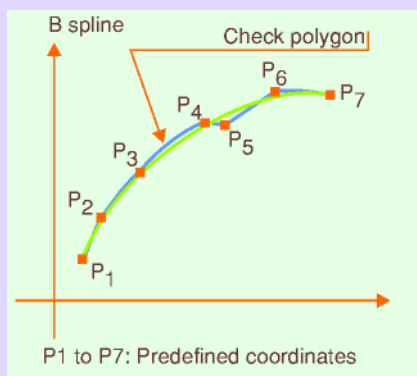


Figura 9 - Curva BEZIER.

o peso  $W$ . Ou seja, para cada ponto dos segmentos  $X, Y$ , a curva Bezier tem um peso  $W$ .

A grande vantagem disso está em que para pontos falsos não se faz necessária uma nova geração completa do programa, e sim apenas naquele exato ponto podemos aplicar peso nulo e pronto: este já está fora da curva.

Uma outra vantagem das curvas Bezier é a possibilidade de aplicar pesos diferenciados em diferentes regiões da peça. Exemplo disso são cantos vivos da peça final; desejamos que nesta região a aderência da curva aos pontos de controle seja total e não suave.

Já para uma peça de fuselagem de aeronave, por exemplo, queremos um supremacia da suavidade, portanto a aderência é baixa.

Devido a este recurso de adaptação da mesma curva a diversos casos, ela passou a ser um padrão para a indústria de moldes e matrizes, assim é claro, como para programas de CAD.

A uma extrapolação desta *Spline* de Bezier para uma superfície segmentada é dada o nome de NURBS. Os algoritmos de NURBS são por definição algoritmos de Bezier para superfícies tridimensionais. Na sequência temos algumas figuras exemplo (figura 10 e 11).

A difusão de NURBS é maciça hoje na indústria. Existe um ganho de velocidade, mas esse não é o principal fator; a qualidade do acabamento é, com NURBS, o melhor resultado que se pode obter. Com NURBS, superfícies e programas  $X, Y, Z$  e  $W$

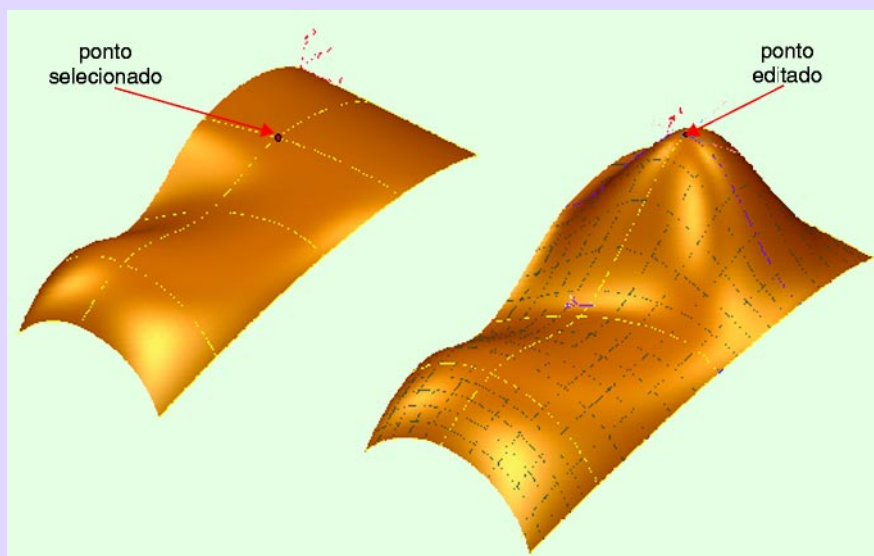


Figura 10 - Figura com NURBS.

são criados e armazenados em disco rígido.

Não é todo o CNC que tem a habilidade de ler esta quarta dimensão: o peso, portanto atenção a este aspecto ao selecionar o CNC para sua aplicação.

A sintaxe deste comando é bem simples e não diferente da dos compressores. Aliás, vou utilizar o mesmo exemplo, porém com curvas *Spline* (veja o código-fonte 3)

Perceba que estamos incluindo o comando  $W$  após a sequência de coordenadas. Se estivéssemos interpolando com AKIMA ou CUBIC, não poderíamos aplicar o peso.

Note também que propositalmente reduzi o avanço  $F$  para que fique memorizado que com *Splines*, não obtemos uma velocidade tão grande quanto em polinômios, e sim um melhor acabamento.

### CURVAS POLINOMIAIS COM PRÉ-PROCESSADORES

Vimos que com compressores, polinômios são gerados pelo CNC através de um arquivo de pontos  $X, Y, Z$  discretos, provenientes de um CAD/CAM. Esse método permitia uma alta velocidade de corte, porém estávamos correndo o risco de termos pontos falsos e com isso danificar uma peça após por exemplo, já

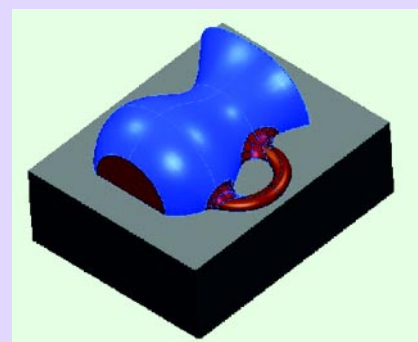


Figura 11 - Com NURBS.

se ter passado 1 hora de usinagem. O resultado disso seria uma perda de material, ferramenta e principalmente hora-máquina.

Esse caso não é freqüente, mas corre-se esse risco.

Depois, através das *Splines*, conhecemos um método de aprimoramento da qualidade da superfície através das curvas Bezier e Nurbs, que por melhor que seja o resultado final em termos de acabamento, pode ser lento demais para o que se espera da máquina em termos de rendimento.

Isso acontece, apenas reforçando o que foi dito anteriormente, porque o processador está se encarregando de controlar os eixos enquanto compõe a curva polinomial que forma o *Spline*. Em outras palavras, dispende muita capacidade de processamento com alocação dinâmica de memória, simul-

## Código-fonte 3

```
N10 G90 G1 F4000
N20 BSPLINE ; ativação da Spline
de Bezier
N30 Y40
N50 X100.000 Z100.000 W1
N51 X 100.010 Z100.010 W1
N52 X 100.020 Z100.020 W1.5
.
.
.
.....
N5340 X 102.030 Z105.090 W0.9
..
.
.
.....

N202000 M30
```

tâneamente com o controle de eixos e interrupções de Hardware e da CPU do PLC.

Felizmente, existe uma saída para este impasse, contudo não são todos os CNCs que possuem este recurso. Se você quer o melhor acabamento através de NURBS e também o máximo em velocidade de corte, seu CNC deve possuir uma função de interpretação de polinômios gerados externamente por um PC. Complicado? Explico melhor a seguir.

Sistemas modernos de CAD/CAM permitem a geração e teste de consistência de forma através da simulação do caminho da ferramenta, controlando a aceleração máxima por um parâmetro de entrada.

Em movimentos bruscos da ferramenta, a sua aceleração instantânea será grande e provavelmente maior que o valor de segurança. Se este caso vier a acontecer, o próprio CAM interrompe a simulação gráfica e corrige o ponto falso.

Tais sistemas de CAD/CAM permitem também atribuir peso aos pontos da superfície gerada, em relação aos pontos de controle. Pode-se inclusive aumentar o número de pontos em uma determinada região, com maior detalhamento e reduzir em outra onde o perfil não se altera tanto.

Como saída desses sistemas, pode ser escolhida a opção de uma série de polinômios, definida através de seus coeficientes e não mais em pontos discretos. Resta então que o CNC possua capacidade de ler e interpretar tais polinômios.

Se isso for possível com seu CNC, tenha certeza de que é a melhor opção dos dias atuais. Usualmente, o comando de interpretação de polinômios é a função POLY – linguagem de alto nível.

Programando POLY e recebendo o programa já em formato de polinômio, tratado anteriormente com NURBS por um sistema CAD/CAM, sua máquina será imbatível em termos de tempo e qualidade de peça. Atente para a **figura 12**.

O investimento aqui não é pequeno. CNCs com interpretador de polinômios são sistemas de última geração e empatados em performance estão também sistemas de CAD/CAM com controle de malha por NURBS e geração de saída em coeficientes polinômias.

Atenção leitor! A era da máquina *High-Speed* não está começando: ela já existe há poucos anos, portanto se você planeja um *retrofitting*, lembre-se de que tal recurso será exigido pelo mercado num futuro bem próximo e sua máquina deve estar preparada. Tais máquinas CNC são ditas como de terceira geração.

Com os conhecimentos do artigo atual, fecho aqui a série de discussão sobre a seleção de um CNC para *retrofitting*. Nos próximos, iremos nos aprofundar em motorização, drives e mecânica.

Tenho recebido uma quantidade razoável de *e-mails* sobre criação de telas e ciclos de usinagem *customizados* para CNC. Provavelmente, não na série de *retrofitting*, mas ainda nesta Revista, vamos abordar este tópico. ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

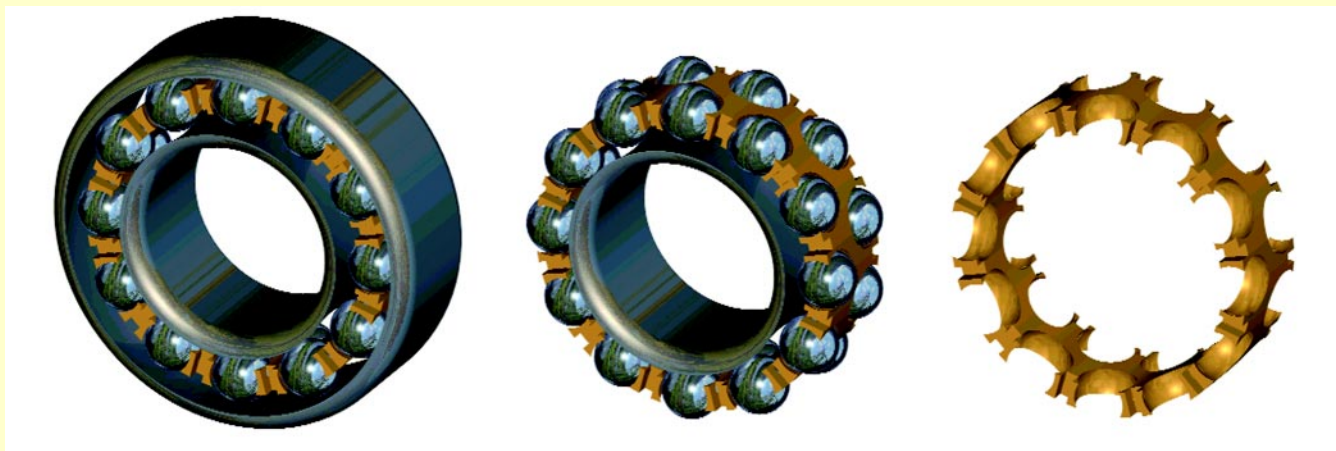


Figura 12 – Comando POLY.

## AutoCAD 3D - 4ª Parte

## Modelagem de sólidos

Sérgio Eduardo Macedo Rezende



**P**ara se construir desenhos complexos é necessário saber bem como criar e manipular sólidos simples que, ao serem combinados, formarão uma peça ou um sistema com vários componentes. Aprendemos a construir alguns destes sólidos simples: o paralelepípedo (*box*), o cilindro (*cylinder*) e a esfera (*sphere*). Nesta etapa conheceremos outros sólidos primitivos como o cone, o toróide e a cunha. Também serão ensinados comandos para realizar revolução e extrusão, além de combinar estas entidades por meio de união, subtração, intersecção. Para encerrar utilizaremos alguns recursos para cortar sólidos. A partir dos conceitos básicos ensinados até esta parte, o usuário terá condições para criar praticamente qualquer tipo de geometria. Quando não se tem prática é um pouco demorado fazer estas construções, mas exercitando bastante haverá bons resultados conforme é mostrado na **figura da abertura**.

## Toolbar Solid e Toolbar Surface

Uma parte dos usuários de AutoCAD que possui prática, costu-

ma acionar os comandos pelo teclado. Outros fazem isto por meio de *toolbar*, para aqueles que tiverem interesse em utilizar esta ferramenta, vá ao *menu* superior em *View*, *Toolbars*, e marque a opção *Solids*. O mesmo serve para a opção *Surfaces* com o objetivo de construir superfícies (**figura 1**).

A vantagem das *toolbars* é para lembrar com maior facilidade os recursos disponíveis e ativá-los por meio de ícones. Será fácil identificá-los à medida em que os comandos forem ensinados através do *menu* de comandos, assim o usuário poderá acioná-lo pelo teclado ou pelo ícone.

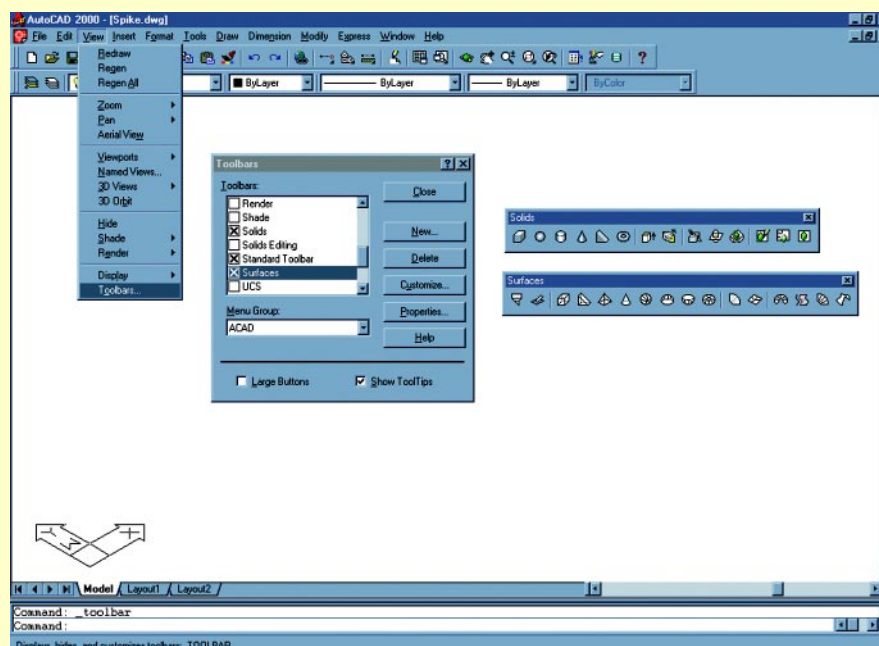


Figura 1 – Toolbar Solid e Surface.

## Cone

Quando se pretende representar um desenho com partes pontiagudas como a **figura 2**, é interessante utilizar este comando para fazer cones. Para isto basta informar um ponto no qual ele será construído, o valor do raio da base e a altura.

Siga estes comandos para construir o cone da **figura 3**:

**Command:** **cone**

*Current wire frame density:*  
**ISOLINES=4**

*Specify center point for base of cone or [Elliptical] <0,0,0>:* (Clique em um ponto da tela)

*Specify radius for base of cone or [Diameter]:* **10**

*Specify height of cone or [Apex]:*  
**20**

**Command:** **hide**

## Torus

Em muitos casos precisamos representar desenhos de “orings”, anéis de vedação, argolas e molas com seção circular. Para estes tipos de construção faremos uso do comando **torus** para construir toróides, depois vamos alterá-lo como quisermos mais adiante. Precisamos escolher o ponto de construção, o raio maior e o raio do tubo. Para isso, acione o ícone correspondente ao **torus** na *toolbar solid* ou siga as instruções abaixo para indicarmos os valores. Veja os resultados na **figura 4**.

**Command:** **torus**

*Current wire frame density:*  
**ISOLINES=4**

*Specify center of torus <0,0,0>:* (Clique em um ponto da tela)

*Specify radius of torus or [Diameter]:* **14**

*Specify radius of tube or [Diameter]:* **2**

**Command:** **hide**

## Wedge

Se precisarmos representar um plano inclinado, podemos utilizar este comando que constrói cunhas.



Figura 2 – Exemplo no uso de cones.

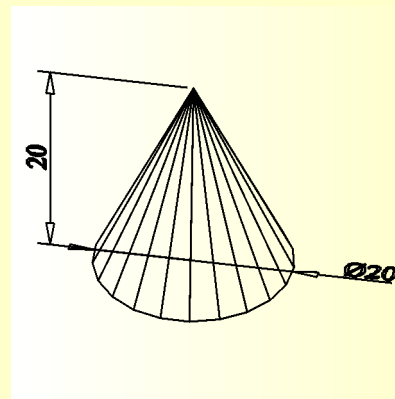


Figura 3 – Cone.

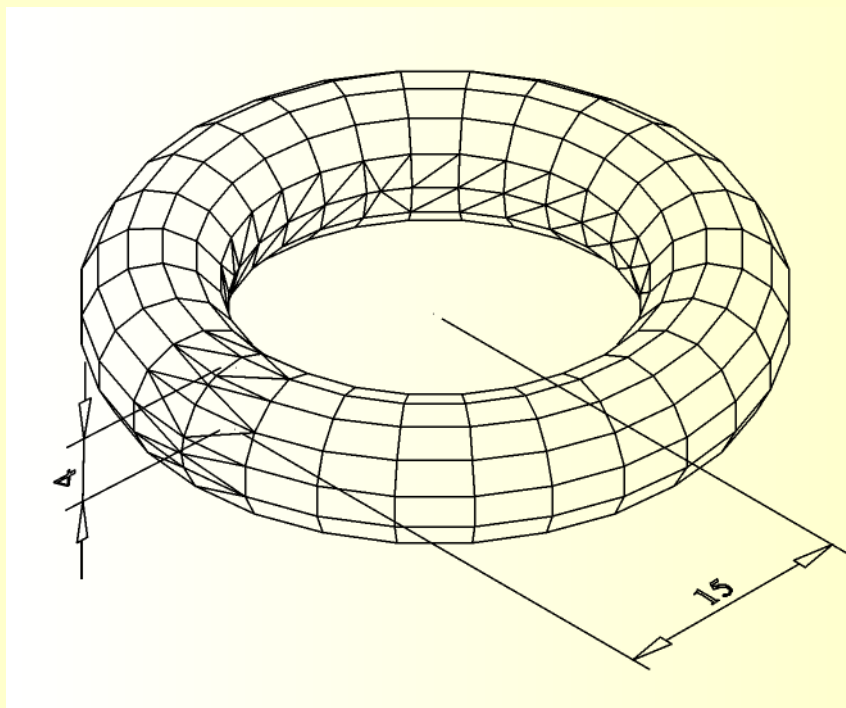


Figura 4 – Torus.

Este primitivo não é tão importante pois, na modelagem de sólidos, basta fazermos um paralelepípedo (*box*) e cortá-lo com um plano, recurso que será explicado mais adiante. Vamos aplicar este comando para conhecê-lo melhor. Definiremos um ponto base, depois escolheremos a opção para digitarmos os comprimentos, em seguida o comprimento, espessura e altura. Veja o significado destes comprimentos na **figura 5**. Caso a cunha não esteja na posição desejada, rode-a com o comando **rotate3d** ou mova-a com o comando **move**.

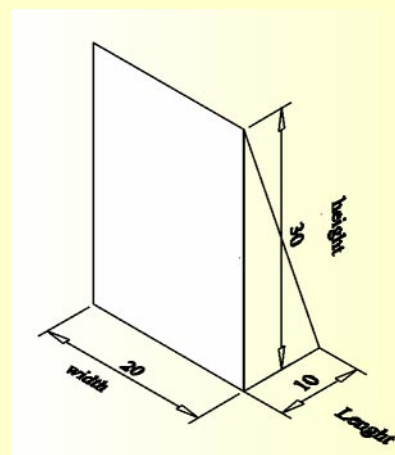


Figura 5 – Wedge.

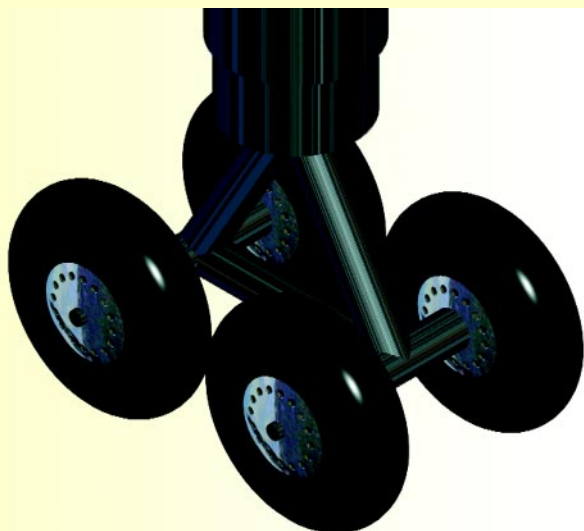


Figura 6 – Trem de pouso feito com sólidos.

**Command: wedge**

*Specify first corner of wedge or [CEnter] <0,0,0>: (Clique em um ponto qualquer)*

*Specify corner or [Cube/Length]: I (Digitemos os comprimentos)*

*Specify length: 10*

*Specify width: 20*

*Specify height: 30*

**Command: hide**

## MODELAGEM DE SÓLIDOS

Aprendemos a construir todos os sólidos primitivos, e com eles podemos construir diversas figuras complexas. No entanto, ainda precisamos saber modelar estes sólidos, isto é, combiná-los e manipulá-los figuras bidimensionais complexas para transformá-las em tridimensionais. Inicialmente, vamos ensinar os comandos referentes a extrusão e revolução seguidos pelo recurso CSG para combinar sólidos, corte e seção transversal. Dessa forma será possível encerrar todo o estudo referente a criação e manipulação de sólidos no espaço e, com prática, pode-se criar desenhos como o ilustrado na figura 6.

### Extrude

Diversos projetos são feitos em duas dimensões e para ilustrá-los

melhor uma alternativa é transformá-los em tridimensionais. A forma de fazer isto é por meio do comando *extrude* que fará uma extrusão de desenhos que, no entanto, precisam constituir uma única entidade. Para isso precisamos fazer com que segmentos de linhas sejam

unidos de alguma forma. Pode-se fazer isto utilizando o comando *pline* que, à medida que se vai construindo o desenho em 2D com linhas, elas serão consideradas uma entidade. Todavia, como fazer nos casos em que já temos desenhos prontos feitos com linhas e arcos? Para resolver este problema faremos uso do comando *edit* novamente. Construa o desenho exibido na figura 7 para aplicarmos o *edit* e depois o *extrude*.

**Command: pedit**

*Select polyline: (Selecione uma linha qualquer)*

*Object selected is not a polyline*

*Do you want to turn it into one? <Y> (Dê Enter)*

*Enter an option [Close/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype*

*gen/Undo]: j (Para unir todas linhas em uma entidade)*

*Select objects: (Selecione todos os objetos e dê Enter)*

*13 segments added to polyline*

*Enter an option [Open/Join/Width/Edit vertex/Fit/Spline/Decurve/Ltype gen/Undo]: (Dê Enter)*

Neste momento temos todos os segmentos formando uma única entidade. É muito importante lembrarmos que as linhas devem for-

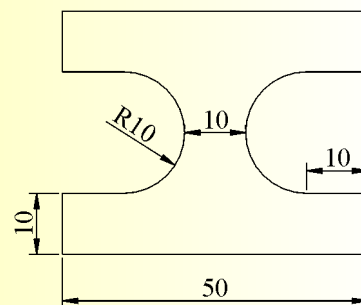


Figura 7 – Exemplo para aplicar o extrude.

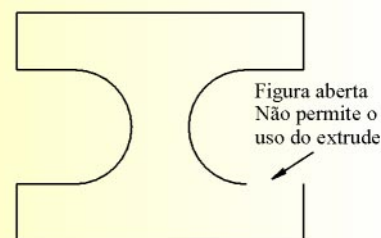


Figura 8 – Figura aberta.

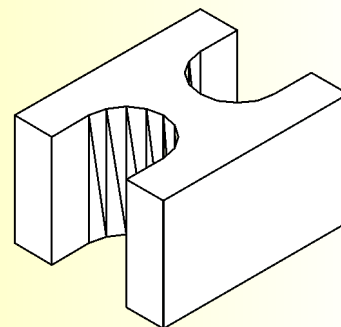


Figura 9 – Extrude.

mar uma figura sem aberturas para que a extrusão funcione. O desenho da figura 8 não pode ser extrudado.

Ao acionar o comando *extrude* selecione a figura, digite a altura de extrusão e dê Enter. Posicione a visão em isométrica com o *vpoint* a fim de vermos os resultados da figura 9.

**Command: extrude**

Current wire frame density:  
ISOLINES=4

Select objects: (Selecione a figura)

Select objects: 1 found

Specify height of extrusion or [Path]: **30**

Specify angle of taper for extrusion <0>: (Dê Enter)

Command: **vpoint**

Current view direction:  
VIEWDIR=0.0000,0.0000,1.0000

Specify a view point or [Rotate]  
<display compass and tripod>: **-1,-1,1**

Regenerating model.

Command: **hide**

Quando se pede a altura de extrusão (*height of extrusion*) e digitamos *path*, podemos fazer uma extrusão seguindo uma curva. Faça a reta da **figura 10** e aplique este recurso chegando no resultado da **figura 11**.

## Revolve

Quando estudamos as superfícies, tínhamos o comando para girar curvas e formar uma superfície de revolução. O comando equivalente para sólidos é o *revolve* (*rev*). Assim como no caso do *extrude*, para aplicar este comando precisamos utilizar o *pedir* e o desenho não pode ter aberturas. Vamos praticar o *revolve* construindo uma polia. Primeiramente, desenhemos seu corte longitudinal e um eixo que será utilizado como base da revolução, apresentados na **figura 12**.

Aplique o comando *pedir* da mesma forma que foi visto antes com o objetivo de preparar a figura para a extrusão. Vamos agora aplicar o *revolve* para chegar ao resultado da **figura 13**:

Command: **rev**

REVOLVE

Current wire frame density:  
ISOLINES=4

Select objects: (Selecione a polia)

Select objects: 1 found

Specify start point for axis of revolution or

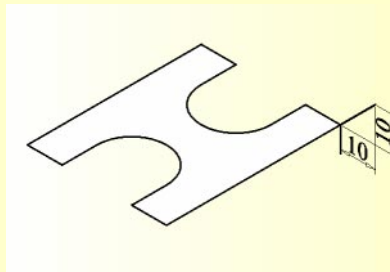


Figura 10 – Fazendo o path.

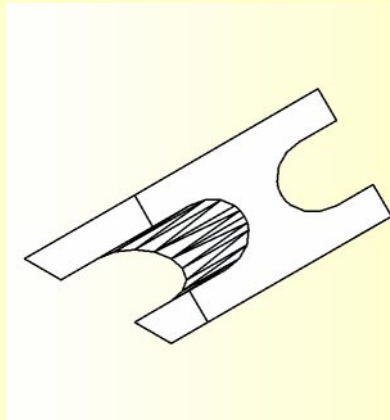


Figura 11 – Resultado com o path.

define axis by [Object/X (axis)/Y (axis)]: (Clique no início do eixo de rotação)

Specify endpoint of axis: (Clique no fim do eixo de rotação)

Specify angle of revolution <360>: (Dê Enter)

## CSG

Este é um recurso bastante importante nos programas de CAD. Ele serve basicamente para unir, subtrair ou encontrar a intersecção entre sólidos. Para termos acesso a estes comandos, basta acionarmos a toolbar *Solids Editing* mostrada na **figura 14**. Explicaremos basicamente os recursos de união, subtração e intersecção mostrados na **figura 15**.

## Union

Depois de criar diversos sólidos que se interceptam formando um desenho e se ter certeza de que ele não será modificado, é conveniente unir estes elementos para ser mais prático mover e trabalhar

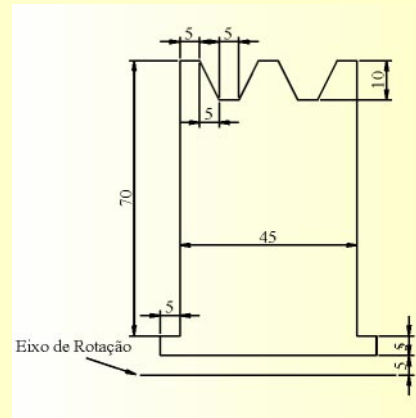


Figura 12 – Corte da polia a ser rodada.

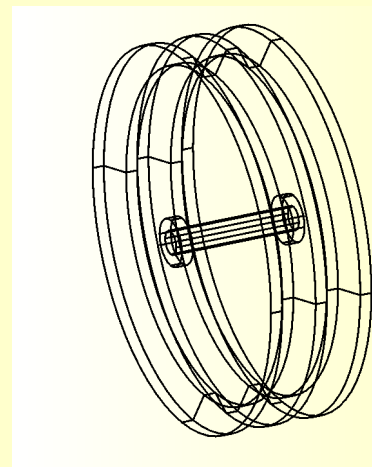


Figura 13 – Polia rodada.

com o desenho. Este recurso é útil quando desenhamos não uma peça mas um sistema composto por vários componentes que, por sua vez, possuem vários sólidos. Para praticar, construa os dois cilindros que se cruzam no ponto médio conforme a **figura 16**, e siga as instruções acionando o comando *union* pelo ícone da *toolbar* ou pelo *menu* de comandos. Observe também a **figura 17**.

Command: **union**

Select objects: (Selecione os cilindros e dê Enter)

## Subtract

Este é um dos recursos mais importantes do CSG pois é bastante comum termos desenhos com orifícios. Para isto temos o desenho principal e o secundário, que subtrairá

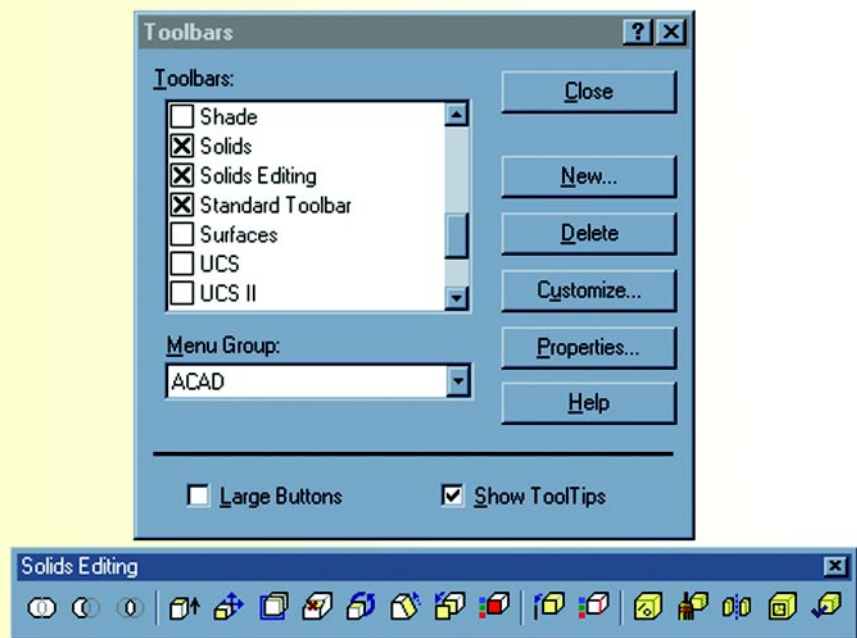


Figura 14 – Toolbar Solids Editing.

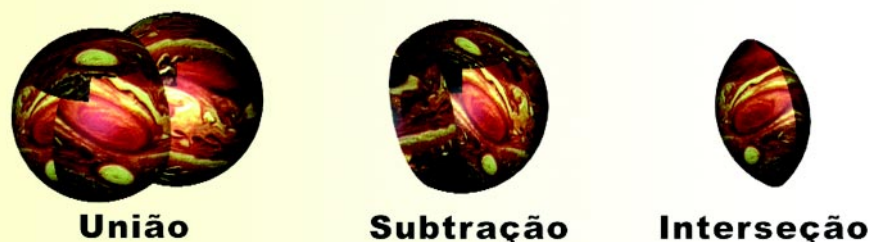


Figura 15 – CSG.

do principal. Isto é, do sólido principal será subtraído o sólido secundário. Aproveite o desenho da **figura 16** e aplique a seqüência de comandos mostrada abaixo para compreender melhor este comando e obter a **figura 18**.

**Command: Subtract**

**SUBTRACT** Select solids and regions to subtract from ..

Select objects: (Selecione apenas o cilindro do qual se subtrairá o outro)

Select solids and regions to subtract ..

Select objects: (Selecione o cilindro que subtrairá)

Command: **viewport** (Para a visualização ficar melhor)

Current view direction: VIEWDIR=-1.0000,-1.0000, 1.0000

Specify a view point or [Rotate] <display compass and tripod>: **-2,-1,1**

Command: **hide**

**Intersect**

Este comando é menos utilizado que os outros, mas há ocasiões em que ele é útil para fa-

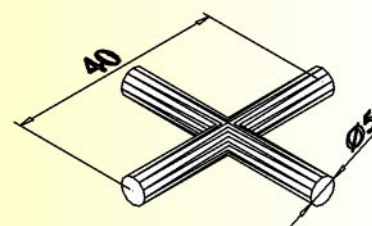


Figura 16 – Modelo para union.

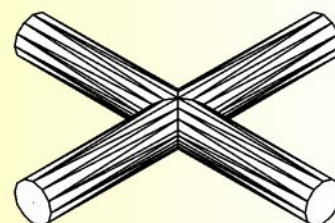


Figura 17 – Cilindros unidos.

zer geometrias complexas através de algumas simples. Vamos novamente utilizar o desenho da **figura 16** como base e seguir os comandos que seguem. Este comando, bem como o anterior, também pode ser acionado pela toolbar *Solids Editing*. Veja a **figura 19**.

**Command: intersect**

Select objects: (Selecione um dos cilindros)

Select objects: (Selecione o outro cilindro)

Command: **hide**

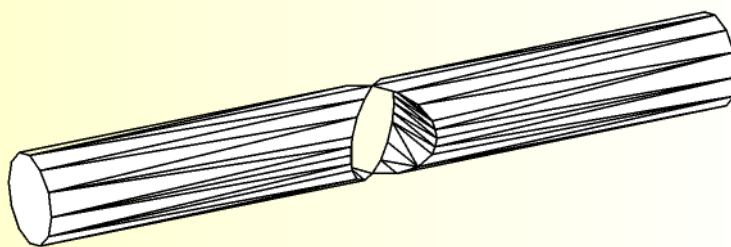


Figura 18 – Subtract..

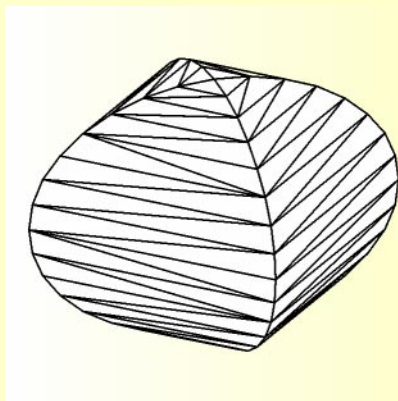


Figura 19 - Intersect.

### Slice

É comum fazermos um desenho e, se ele tiver detalhes internos, precisarmos fazer cortes para mostrar melhor estas regiões. É o caso mostrado na **figura 20** de uma válvula com um corte longitudinal.

Para esta situação temos o comando *slice*, ao acioná-lo precisamos escolher o sólido a ser cortado. Vamos para isso utilizar o sólido da **figura 21**.

Em seguida, selecionamos 3 pontos para definir o plano cortante ou escolher os planos xy, yz ou zx. A pergunta seguinte é se desejamos manter os dois planos, ou clicamos no ponto da parte do sólido que permanecerá. Pelo fato de se criar um plano, teremos nosso sólido em 2 semi-espacos e precisamos decidir qual deles permanecerá. *Clique* no ponto mostrado na **figura 21** para chegar no resultado da **figura 22**.

#### Command: slice

Select objects: (Selecione o sólido)

Specify first point on slicing plane by [Object/Zaxis/View/XY/YZ/ZX/3points]

<3points>: (Clique no primeiro ponto)

Specify second point on plane: (Clique no segundo ponto)

Specify third point on plane: (Clique no terceiro ponto)

Specify a point on desired side of the plane or [keep Both sides]: (Clique no ponto do semi-espaco desejado na **figura 21**)

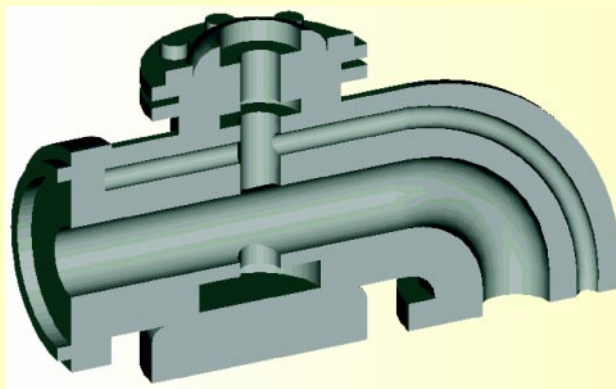


Figura 20 - Válvula em corte.

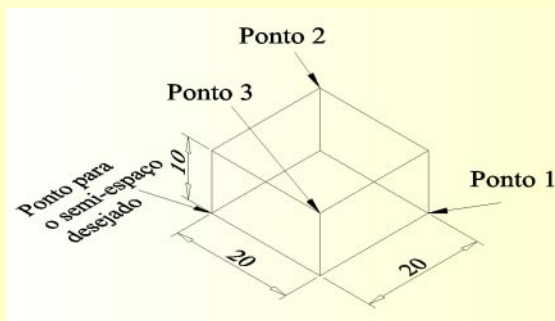


Figura 21 - Sólido a ser cortado.

#### Command: hide

Para encerrar, vamos fazer uma mola simples baseada no toróide construído na **figura 4**. Basta usar o comando *cut* para dividir a toróide em duas. Depois, com o comando *rotate3d*, rodamos cada parte 7 graus, uma no sentido horário e outra no sentido anti-horário. Finalmente, copiamos o desenho um em cima do outro. Veja os resultados na **figura 23**.

Com este comando encerramos o estudo referente a modelagem de sólidos. Foram ensinados vários recursos e só dependerá da

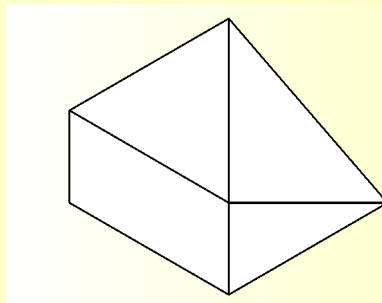


Figura 22 - Sólido cortado.

criatividade do usuário para colocá-los em prática. Há várias formas de se fazer um desenho em 3 dimensões, e à medida em que se ganha prática exercitando, conseguimos habilidade de fazê-lo cada vez mais rapidamente, portanto, procure no seu dia-a-dia peças tridimensionais e desenhe-as no AutoCAD.

Na próxima parte encerraremos esta série de artigos aprendendo a utilizar o recurso *paper space/model space*. Para terminar veremos a parte mais ilustrativa do AutoCAD, que é a aplicação de iluminação e materiais para chegarmos a desenhos com recursos foto-realísticos como aqueles ilustrados na **figura do início do artigo** e na **figura 2**. Até

Figura 23 - Exemplo de mola. A 3D wireframe model of a spring, showing a torus divided into two halves, each rotated 7 degrees in opposite directions, and then stacked on top of each other.

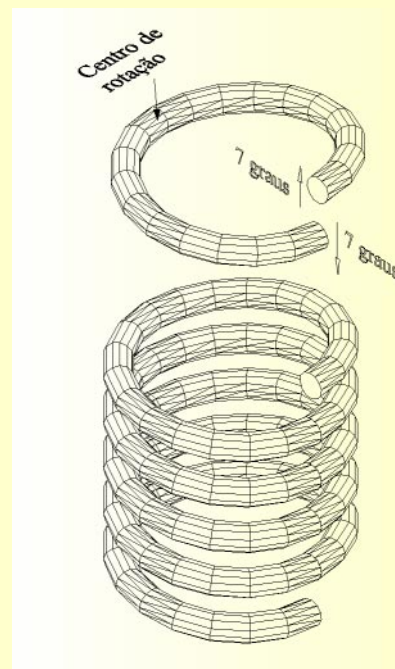


Figura 23 - Exemplo de mola.