artigo

1. Introdução;
2. Metodologia;
3. Motivos para introdução das MFCN;
4. Alguns aspectos técnicos e administrativos da automação com CN;
5. Conclusão e considerações gerais.

Máquinas-ferramenta de controle numérico: efeitos administrativos de sua introdução na indústria nacional

Claude Machline
Professor titular no Departamento de Administração da Produção e de Operações Industriais da EAESP/FGV.

Henrique Rattner
Professor titular no Departamento de Fundamentos Sociais e Jurídicos da EAESP/FGV. Foi coordenador da pesquisa da qual se originou este artigo; e outro trabalho, focalizando os efeitos sociais e econômicos da introdução de MFCN, que será publicado em breve.

Olivier Udry
Aluno do curso de pós-graduação da EAESP/FGV.

1. INTRODUÇÃO

A automatização da produção é tópico da maior atualidade para o País. Os progressos que as nações industrializadas estão efetuando no campo da mecanização forçam os países menos desenvolvidos a seguir-lhes os passos, sob pena de renunciarem a se industrializar e verem suas economias cada vez mais comprometidas.

Mas o acesso à tecnologia da automação é difícil e oneroso para os países recém-industrializados, que não dispõem de recursos humanos nem financeiros para avançar nessa área. O excesso de mão-de-obra não-qualificada, a escassez de capital, a pobreza da demanda, os entraves e os equívocos governamentais compõem um ciclo de ferro que emperra a eficiência produtiva nos países de industrialização emergente. Por serem atrasados, não podem automatizar; e por não poderem automatizar, tornam-se mais atrasados.

O conceito de automatização é geralmente associado à fabricação do tipo contínuo. Mas existe uma modalidade de equipamento própria para a automatização da fabricação intermitente, por lotes: são as chamadas máquinas-ferramenta de controle numérico (MFCN).

O presente artigo é fruto de estudo efetuado em empresas que, em anos recentes, instalaram esse tipo de máquina no Brasil. Pesquisa realizada em 1981 nas indústrias usuárias e fabricantes de MFCN forneceu as informações aqui expostas.

O conteúdo do artigo é o seguinte: após a descrição da metodologia usada na pesquisa, caracterizamos a amostra de empresas analisadas. Os resultados principais da pesquisa são relatados, enfocando-se as razões da aquisição das MFCN, seus efeitos sobre a administração da produção, em termos de eficiência, qualidade, rapidez e economia, e os problemas oriundos de sua implantação, notadamente os de manutenção e programação. Na conclusão, afirmamos que, apesar das deficiências existentes em alguns aspectos técnicos e administrativos, e a despeito da adversidade conjuntural, as empresas evidenciaram satisfação com as MFCN e mostraram-se desejosas de intensificar a automação. Anexamos nota técnica explicativa dos fundamentos do controle numérico (CN).

2. METODOLOGIA

2.1 *Antecedentes*

Em 1981, a Technology Scientific Foundation, através do seu presidente, Gerard K. Boon, da Holanda, solicitou a pesquisadores da EAESP/FGV, sob a coordenação do Prof. Henrique Rattner, que efetuassem, como parte de um inquérito internacional sobre o tópico, um levantamento acerca do uso de MFCN no Brasil.[1]

Os pesquisadores cientificaram-se de que existia, entre outras pesquisas sobre o assunto, um trabalho em andamento, iniciado em 1980 pelo Prof. José Ricardo Tauile, da Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro, patrocinado pela Sobracon – Sociedade Brasileira de Comando Numérico, e já adiantado quando a equipe da FGV se pôs em ação.

A fim de evitar os inconvenientes resultantes do andamento de duas pesquisas em paralelo, e para se beneficiar mutuamente das informações obtidas, os pesquisadores decidiram compartilhar os dados recolhidos. A metodologia por nós adotada ficou afetada pela existência da outra pesquisa, que nos levou a adotar um questionário e uma amostra muito semelhantes aos empregados pelo Prof. Tauile e destinados a complementar os dados por ele levantados.

Este mandara um questionário de 34 perguntas a 170 empresas, presumíveis usuárias de CN. Obtivera 92 respostas. Das 92 empresas que responderam, 77 declararam possuir uma ou mais MFCN e 15 esclareceram que não possuíam tais máquinas. A tabulação dessas 77 res-

postas será designada, no presente texto, como "Tabulação do questionário *A*".

2.2 *Questionário e amostra*

Com o objetivo de recolher respostas de maior número de empresas, e para obter informes adicionais, a equipe da FGV elaborou um questionário contendo todas as perguntas do questionário *A* e 40 novas perguntas. Este segundo questionário foi enviado em sua integridade às 78 empresas que não tinham respondido ao primeiro questionário. Ademais, as 40 perguntas adicionais foram submetidas às 77 empresas usuárias de CN que já tinham respondido ao questionário *A*.

Desta feita, obtiveram-se 30 respostas, sendo 26 de empresas que já tinham respondido ao questionário *A*, e quatro de novas empresas. Esse conjunto de 30 respostas, que chamaremos de "tabulação do questionário *B*", representa a base principal da análise por nós aqui desenvolvida.

Outrossim, procuramos entrevistar alguns usuários, a fim de recolher subsídios que, nem sempre, os questionários fornecem. Suas observações mais relevantes foram reproduzidas na análise, como comentários às respostas do questionário *B*. Foram cinco essas entrevistas.

Outra linha da pesquisa consistiu em entrar em contato pessoal com seis fabricantes de MFCN, cinco das quais produtoras da parte mecânica, e uma, do gabinete eletrônico. Visitamos suas fábricas e entrevistamos seus dirigentes, valendo-nos de um questionário específico, de oito perguntas, que chamaremos de "questionário *C*".

Nossa procura de contato pessoal com usuários de MFCN levou-nos também a visitar presumíveis possuidores desses equipamentos, sendo que, tudo bem verificado, o que existia era outro tipo de máquinas automáticas, por exemplo, máquinas-ferramenta programáveis com pinos ou painéis elétricos e não verdadeiras MFCN, isto é, máquinas movidas por um programa de computador eletrônico. Proveitosos, também, foram esses encontros, por indicarem situações em que o uso de MFCN ainda não tinha sido estabelecido, condição típica da indústria seriada, como a produtora de grandes lotes de autopeças, por exemplo.[2]

2.3 *Caracterização das empresas analisadas*

As características mais relevantes das 30 empresas analisadas são as seguintes:

	N.º de empresas	Percentagem
Menos de 100 funcionários	1	3,3
Entre 101 a 500 funcionários	5	16,7
Mais de 501 funcionários	24	80,0
Total	30	100,0

São, predominantemente, grandes empresas as que adquiriram MFCN.

É a seguinte a distribuição de MFCN por empresa:

Distribuição de MFCN (n.º de máquinas de CN)	N.º de empresas	Percentagem
1	6	20,0
2	6	20,0
3	3	10,0
4	2	6,7
5	4	13,4
6	5	16,7
7	1	3,3
8	0	0,0
9	1	3,3
10	2	6,7
Total	30	100,0

As 30 empresas, em conjunto, possuíam 121 MFCN, ou seja, uma média de quatro máquinas por empresa. Observemos, porém, que dois terços das empresas possuem três ou menos máquinas. As empresas analisadas pertencem aos seguintes setores:

	N.º de empresas	Percentagem
Indústria mecânica	14	46,7
Material de transporte	6	20,0
Indústria metalúrgica	4	13,3
Indústria elétrico-eletrônica	4	13,3
Produtos químico-farmacêuticos	2	6,7
Total	30	100,0

Em termos de controle acionário, as empresas classificam-se da seguinte maneira:

	N.º de empresas	Percentagem
Controle acionário nacional privado	6	20,0
Controle acionário nacional público	2	6,7
Controle acionário estrangeiro	18	60,0
Sem resposta	4	13,3
Total	30	100,0

Quanto à localização geográfica da sede, por estados da Federação, tivemos o seguinte quadro:

Estados	N.º de empresas	Percentagem
São Paulo	19	63,3
Rio Grande do Sul	3	10,0
Bahia	2	6,7
Minas Gerais	1	3,3
Rio de Janeiro	1	3,3
Não-identificado	4	13,3
Total	30	100,0

Predominam, portanto, na amostra, empresas estrangeiras, localizadas em São Paulo, de grande porte, do setor mecânico, com diminuto número de MFCN por unidade.

3. MOTIVOS PARA INTRODUÇÃO DAS MFCN

3.1 *Estudos de viabilidade econômica*

A primeira pergunta do questionário *B* e uma das mais importantes da pesquisa indagava: "Que modalidades de estudo de viabilidade econômica foram efetuadas para a decisão de adquirir máquinas-ferramenta de controle numérico?"

Das 30 empresas, quatro deixaram de responder a esta pergunta. As 26 restantes forneceram 42 respostas, que agrupamos e tabulamos a seguir. As respostas não se referem somente aos estudos efetuados pelas empresas, mas sobretudo às vantagens apresentadas, segundo os respondentes, pelo CN.

Vantagens do controle numérico	N.º de respostas	Percentagem
Aumento de produção, aumento de produtividade, menor tempo de usinagem	9	21,4
Facilidades diversas do processo produtivo: simplificação do processo de produção, potencial de fabricação de produtos novos e complexos, possibilidade de fabricar pequenos ou médios lotes	9	21,4
Melhor qualidade, maior precisão, repetibilidade, diminuição dos refugos	8	19,0
Redução de custos e retorno sobre o investimento	7	16,7
Estudos e experiências da matriz, comparação com máqunias convencionais	6	14,3
Redução de espaço, de número de máquinas ou do estoque de peças	3	7,2
Total	42	100,00

Um entrevistado lembrou ainda que "o ferramental do CN é barato e o usuário do CN ganha no projeto, bem como no prazo de entrega do pedido". Outro, que a MFCN produz "ganhos em depreciação e juros".

A utilização de CN, em suma, permite ao administrador ter melhor controle sobre a produtividade, a qualidade e o custo da produção, liberando-a da dominação exercida pela mão-de-obra especializada direta. O controle, entretanto, passa a ser exercido por outros especialistas, de programação e manutenção eletrônica.

No questionário *A*, uma pergunta semelhante fora respondida pelas 77 empresas da seguinte forma:

As razões para a compra das MFCN	N.º de respostas
Redução de custo	45
Requisitos de precisão das peças produzidas	43
Requisitos de complexidade das peças produzidas	59
Controle do processo de produção	12
Outras razões citadas	7

As outras razões citadas foram as seguintes:

"Flexibilidade das MFCN para produzir pequenos lotes diversificados; para atender a modificações de engenharia; aumento do volume de produção; modernização de métodos e domínio de novas técnicas produtivas; redução de peças rejeitadas; eliminação de dispositivos caros; preparação de mão-de-obra especializada."

Para a maioria dos usuários, as MFCN impuseram-se por um conjunto de características, tornando difícil e desnecessário um verdadeiro estudo de viabilidade econômica. Argumentos como "uma MFCN substitui três máquinas convencionais, em termos de produtividade, e custa apenas pouco mais que uma máquina convencional correspondente" levam a dispensar comparações de custos mais profundas. Ademais, os custos de programação e manutenção não eram conhecidos *a priori*, tornando difícil sua inclusão num estudo comparativo.

Um empresário explicou porque não tinha procedido a um estudo econômico profundo: "Não olhamos o aspecto econômico, mas a qualidade, já que usamos a CN na ferramentaria, não na produção. A máquina CN resolveu nosso problema na ferramentaria." "As CN são mais precisas, dão maior repetibilidade. O homem queima o eletrodo, a chapa . . ." Em numerosos casos, as máquinas CN foram adquiridas para poder produzir encomendas específicas, não raras vezes na esfera governamental, por exemplo, para programas ferroviários. A encomenda clamava pela aquisição de novas máquinas, de certa forma. E quem possui essas máquinas está mais qualificado e credenciado para receber futuros pedidos.

Diversos entrevistados esclareceram porque "estudos de viabilidade específica não foram feitos". Uma razão predominante é que as MFCN "passaram num pacote", isto é, num projeto global. "As MFCN entraram no plano de expansão da fábrica." Por isso, o estudo limitou-se a "justificativas técnicas, com alguma menção ao preço. Nosso princípio orientador foi usar máquinas mais versáteis".

3.2 *Fontes de financiamento das MFCN*

A aquisição das MFCN foi predominantemente realizada (25 respostas; 69,4%) com recursos próprios, segundo as 36 respostas dos entrevistados; e, em grau bem menor, com financiamento (7 respostas; 19,4%) e com apoio do Governo (4 respostas; 11,1%). Esse resultado poderia surpreender, mas devemos lembrar-nos que as empresas estrangeiras, sem acesso ao apoio do Governo, representam cerca de 60% de nossa amostra, e são essas que

usaram recursos próprios para custear suas máquinas de CN. Entretanto, convém lembrar que inúmeras encomendas que levaram as empresas a adquirir MFCN iniciaram-se na área governamental (metrôs, energia elétrica, etc.).

3.3 *Influência da tecnologia de CN*

Os seis fabricantes de máquinas de CN manifestaram opiniões parecidas com as dos usuários acerca da influência da nova tecnologia. À pergunta "Quais os efeitos mais notáveis do CN?" assim responderam, num total de 25 indicações, ou seja, de 4,1 respostas por fabricante:

	N.º de respostas
Aumento de precisão das peças	5
Potencial de trabalho de peças complexas	5
Alterações de qualificação de mão-de-obra	5
Racionalização de todo o processo produtivo	5
Racionalização da operação	2
Redução de custos	2
Valorização da mão-de-obra	1
Total	25

O número de empresas que confirmaram ter obtido, com as MFCN, as vantagens esperadas foi de 25 em 30. Apenas um usuário não confirmou esses benefícios, e quatro não responderam a essa pergunta.

3.4 *Diversas vantagens do CN*

Solicitamos às empresas que quantificassem as vantagens por elas auferidas através do uso de CN. Dezenove empresas responderam a essa pergunta, sendo que 12 disseram que a redução de custos fora de mais de 20%; e 16, que os ganhos de produtividade foram superiores a 20%. A quase-totalidade (28 em 30) afirmou que as peças eram mais complexas; da mesma forma (27 em 30), quanto à precisão das tolerâncias obtidas com o CN; e quanto à menor incidência de defeitos quando se usa o CN (26 em 30 empresas).

Um entrevistado lembrou que "o CN dá preço para o mercado internacional"; outro declarou: "Com o CN, a qualidade vira internacional."

Uma pergunta do questionário referia-se ao ganho de competitividade mercadológica atribuível ao CN. "A empresa ganha competitividade, graças ao CN?"

As respostas foram as seguintes:

	Respostas afirmativas	Percentagem
No mercado nacional	23	76,7
No mercado internacional	17	56,7
Não ampliou o mercado	6	20,0

Pergunta estreitamente relacionada era a seguinte: "As MFCN, na sua empresa, têm contribuído para aumentar exportações ou substituir importações?" As respostas foram as seguintes:

	N.º de respostas	Percentagem
Sim		
Para maiores exportações	11	36,7
Para substituição de importações	15	50,0
Não	9	30,0

A quantificação das vantagens do CN não é fácil, nem parece ter sido tentada com rigor pela maioria dos usuários. Quando os entrevistados declaravam que "uma CN substitui três a quatro máquinas tradicionais", não ficava claro se era de produtividade efetiva ou de potencial de trabalho que estavam falando. De qualquer forma, outros entrevistados falaram que "uma CN substitui cinco máquinas, até 15". Para outro, ainda, a faixa de aumento de produtividade variava "de duas a dez vezes". Muitos fatores, como a natureza da peça e da própria máquina, influem no coeficiente em foco.

3.5 *Custos das MFCN*

Quanto aos custos, segundo um entrevistado, esse é um aspecto "polêmico". Ao tentar depurar as respostas, concluímos que a MFCN importada (quando era possível importá-la) não custava mais que o dobro de uma máquina tradicional sem CN; mas que, em termos de máquinas nacionais, a MFCN custa "10 ou até 15 vezes mais", segundo disse um entrevistado, "principalmente por causa dos periféricos (eletrônicos)". Um fabricante observou que as "pequena e média empresas não têm estrutura de custos para eu provar a economia trazida pelo CN". Um usuário extremamente satisfeito com o desempenho das suas MFCN observou, entretanto, que houve um "investimento astronômico em laboratório eletrônico e programação" na sua empresa.

3.6 *Tempo e utilização efetiva das MFCN*

Um entrevistado, em cuja empresa existia eficiente setor de engenharia industrial, apresentou os seguintes dados relativos à utilização das máquinas CN.

Atividade da máquina CN	Percentagem do tempo total
Em operação, cortando	42
Parada, operador ausente	22
Manutenção	20
Set up	8
Medição (controle de qualidade)	8
Total	100

Reconheceu que a utilização de apenas 42% do tempo em operação efetiva representava um mau resultado, e que esta utilização deveria ser mais de 70%. Mas, nas máquinas convencionais, o tempo de uso efetivo era de apenas 20%, apresentando, pois, o CN, o dobro de eficiência das MF convencionais. O entrevistado confessou estar intrigado com a alta percentagem de paradas com operador ausente. Isso poderia ser sanado introduzindo-se um "regime de cão" na fábrica, mas essa providência não fora considerada apropriada.

Nessa mesma empresa, o preço de uma hora de usinagem em torno convencional cotava-se entre Cr$1 mil e Cr$1.200; e, em torno CN, entre Cr$1.600 e Cr$1.700. O entrevistado observou que o CN produzia maior lucratividade, pois era usado o dobro do tempo, enquanto era considerado apenas 60% mais caro.

4. ALGUNS ASPECTOS TÉCNICOS E ADMINISTRATIVOS DA AUTOMAÇÃO COM CN

A presença de MFCN na empresa requer a adaptação da mesma a uma série de condições físicas, bem como o uso de técnicas administrativas avançadas, que procuramos investigar:

4.1 *Manutenção preventiva. Controle das paradas*

Dois terços das empresas (21 em 30) declararam ter um programa de manutenção preventiva das suas MFCN. As nove restantes disseram que não tinham manutenção preventiva.

Aproximadamente o mesmo número (19 empresas) mencionou exercer algum tipo de controle sobre as paradas das máquinas e suas causas, através de apontamentos e estatísticas.

No questionário *A*, as empresas acharam que dois terços dos motivos de paradas eram de natureza eletrônica e um terço de natureza mecânica ou de outro tipo. A manutenção mecânica da MFCN é feita normalmente pela própria empresa usuária (60% dos casos), pelo fabricante da máquina (20% dos casos), ou ainda por ambos (12% dos casos), ou pelos representantes comerciais e importadores (8% dos casos). A manutenção eletrônica das MFCN também é geralmente feita pela própria empresa usuária (50% dos casos), pelo fabricante do gabinete eletrônico (12% dos casos), pelo fabricante da máquina (12% dos casos), por representantes comerciais, importadores, técnicos eletrônicos autônomos (11% dos casos) ou, ainda, por uma combinação dessas fontes (15%).

Ainda no questionário *A*, a metade dos respondentes considerou adequada a manutenção disponível, sendo que um sexto a achou excelente. Porém, cerca de um quarto das empresas julgou a manutenção um ponto de estrangulamento ao maior uso de MFCN.

A dificuldade em se manter técnicos de manutenção eletrônica no período noturno foi mencionada por um entrevistado como limitação à obtenção de maior produtividade das MFCN. Se houver uma ocorrência de defeito à noite, a empresa acha preferível deixar a máquina parada até o dia seguinte do que tentar consertá-la nesse período.

A manutenção das máquinas importadas foi considerada mais problemática que a das nacionais, por falta de peças de reposição, especialmente "cartelas" eletrônicas, isto é, circuitos impressos do gabinete. Quanto aos gabinetes nacionais, assim se exprimiu um entrevistado: "Manutenção excelente. Chamo às 8, eles chegam às 9. Nunca parou uma MFCN nacional por falta de atendimento do fabricante eletrônico."

4.2 *Adaptações físicas*

Perguntamos às empresas se as MFCN tinham exigido adaptações em termos de arranjo físico, transporte interno, instalações e serviços e outras condições. O fato de as MFCN serem maiores, ocuparem maior espaço, terem que produzir mais para se justificar economicamente e necessitarem de ar condicionado e melhores instalações justificavam essas perguntas. A incidência das respostas obtidas foi a seguinte no questionário *B*.

Necessidades de adaptações

Item	Respostas Sim		Respostas Não	
	N.º	%	N.º	%
Arranjo físico	16	53,3	13	43,3
Transporte interno	3	10,0	20	66,7
Instalações e serviços	16	53,3	10	33,3
Outros	5	16,7	13	43,3
Total	40		56	

4.3 *Adaptações administrativas*

A maioria das empresas achou que as MFCN não tinham exigido adaptações administrativas nas seguintes áreas, conforme evidencia a tabulação correspondente:

Necessidades de adaptações

Item	Respostas Sim		Respostas Não	
	N.º	%	N.º	%
Adaptação administrativa	10	33,3	14	46,7
Planejamento e controle da produção	11	36,7	15	50,0
Gestão de estoque	6	20,0	19	63,3
Suprimentos	7	23,3	18	60,0
Controle de qualidade	11	36,7	15	50,0
Outros	1	3,3	13	43,3

4.4 *Adaptações na supervisão*

Uma pequena maioria das empresas (16 em 30) opinou que as MFCN tinham exigido alterações na supervisão, contra 14 que responderam negativamente a este quesito.

4.5 *Alterações na gestão de pessoal*

As diversas facetas da gestão de pessoal necessitaram de um número considerável de alterações, conforme se vê na tabulação seguinte:

Necessidades de adaptações

Item	Respostas Sim		Respostas Não	
	N.º	%	N.º	%
Recrutamento e seleção	15	50,0	10	23,3
Treinamento	23	76,7	7	23,3
Remuneração	14	46,7	11	36,7
Motivação	13	43,3	9	30,0

Um entrevistado declarou que sua máquina de comando numérico criou verdadeira revolução motivacional na empresa, ao conseguir a obtenção de tolerâncias que os funcionários consideravam impossíveis de ser alcançadas. Mesmo nas operações manuais verificou-se posteriormente considerável melhoria de qualidade, tendo os homens procurado imitar a qualidade da máquina.

4.6 *Alterações nos horários de trabalho*

Apesar dos seus custos iniciais maiores, que exigiriam logicamente uma utilização por dois, ou mesmo três, turnos, as MFCN não ocasionaram freqüentes modificações nos horários de trabalho:

Necessidades de alterações

Item	Respostas Sim		Respostas Não	
	N.º	%	N.º	%
Alterações no horário de trabalho	4	13,3	21	70,0
Aumento de turnos de trabalho	8	26,7	22	73,3
Eliminação de intervalos para refeição	1	3,3	23	76,7
Outros	1	3,3	13	43,3

É de se estranhar que a introdução de máquinas tão caras nas empresas não tenha levado a se efetuar alterações de horário, para maior utilização do investimento, mesmo em empresas que usam muitas MFCN.

Entretanto, numa das empresas visitadas, o entrevistado assegurou que tinha dado ordens para que os maiores centros de usinagem – efetivamente de porte gigantesco – não ficassem parados na hora do almoço, em vista do vulto do investimento. Porém, durante nossa visita, esses centros estavam parados na hora do almoço.

4.7 *Alterações no nível de emprego*

Uma pergunta do questionário *B* referia-se a um dos tópicos mais controvertidos suscitados pela tecnologia, a alteração no nível de emprego causada pela automatização: "Tem havido alteração na quantidade de mão-de-obra empregada na sua empresa, em conseqüência da introdução de MFCN?" As respostas foram as seguintes:

Respostas	N.º de respostas positivas	Percentagem
Houve redução da mão-de-obra	9	31,0
Houve aumento da mão-de-obra	4	13,8
Não houve alteração da mão-de-obra	16	55,2
Total	29	100,0

Quer dizer, para mais da metade dos respondentes não houve alteração no volume de mão-de-obra; para um terço houve predominantemente redução.

Um entrevistado disse o seguinte: "Não houve redução de mão-de-obra com essas máquinas, porque foram inicialmente compradas (por volta de 1975) numa fase de expansão da empresa. Aí aumentou o pessoal; depois, deixamos de admitir pessoal, já que as CN produziram economia de mão-de-obra; uma coisa compensou a outra."

Outro assim se expressou: "O computador não desemprega, pelo contrário, emprega mais gente. O computador faz o que nenhum ser humano poderia fazer, de qualquer forma." Um terceiro opinou que as MFCN "não diminuem a mão-de-obra; mas tiram-na da fábrica e a põem no escritório", tendo acrescentado que "ligam melhor o engenheiro com o homem de produção".

4.8 *Futuro de automação*

Algumas perguntas do questionário referiam-se ao futuro do CN e da automação em geral.

À pergunta "Você prevê expansão do uso de MFCN?" tivemos as seguintes respostas:

	N.º de respostas	Percentagem (sobre 30)
Na sua empresa	28	93,3
No seu setor	17	56,7
No País	26	86,7
De procedência nacional	26	86,7
De procedência estrangeira	12	40,0
Neste ano	4	13,3
Nos próximos três anos	20	66,7
A longo prazo	12	40,0

As respostas positivas à pergunta "Existem possibilidades e perspectivas de generalização do uso de MFCN?" são quase três vezes (17 respostas; 56,7% dos 30 respondentes) mais numerosas do que as respostas negativas (6; 20%) ou evasivas (7; 23,3%).

Percebe-se que é elevada a crença em expansão do CN, dentro da empresa, no País, talvez não no futuro imediatíssimo, mas em prazo muito curto. "Há uma tendência para expansão do CN", observou um fabricante. Outro falou do "grande futuro do CN no Brasil".

Um usuário, mais cético, comentou: "A tendência é essa, de automatização, mas precisamos de pedidos, de volume. Sofremos concorrência de nossa própria matriz e das co-subsidiárias nossas irmãs. Não se justifica ainda a automatização no Brasil, sob o ângulo econômico. Falamos muito em *cost reduction* aqui, mas não em automatização. Essa está vinculada ao volume. Nossa mão-de-obra custa US$2,00 por hora, *versus* US$12,00 nos EUA. Olhamos para tempo-padrão, produtividade, medição de produção nos pontos de pagamento ao longo da linha, refugo, sucata, recuperação, retrabalho; isso, sim, é o que é levado em conta."

"CN é luxo, mas já me acostumei a ele, não passo mais sem ele", revelou um usuário.

"CN é caro no Brasil; é barato na Alemanha e ainda mais no Japão. Ainda temos que usar tecnologia intermediária", disse um fabricante. Outro referiu-se ao "excesso de capacidade do parque manufatureiro nacional. A taxa efetiva de ocupação talvez seja 30 ou 40%. Hoje, todos querem aumentar sua eficiência, o que reduz nosso mercado".

"A automação é o futuro, é fundamental para competitividade", opinou um usuário, "entretanto, no momento, enfrentamos uma grande crise. Alguma automação foi prematura no Brasil."

Perguntamos também: "Dada sua experiência com MFCN, como explicaria a não utilização das mesmas em outros setores de produção?" As respostas foram as seguintes:

	N.º de respostas	Percentagem
Custo elevado do investimento inicial	9	22,0
Desconfiança quanto ao CN, falta de *know-how* de informações	8	19,5
Deficiência de mão-de-obra qualificada	3	7,3
Receios com programação, complexidade, falta de experiência	3	7,3
Exigência de equipamentos adicionais e de novas estruturas de apoio	3	7,3
Respostas inconclusivas	15	36,5

Os seis fabricantes entrevistados de MFCN, por sua vez, citaram os seguintes obstáculos à expansão do CN no Brasil:

	N.º de respostas
Custos diretos elevados	5
Custos indiretos elevados	4
Falta de crédito	3
Falta de apoio oficial	2
Falta de recursos humanos	2

Dois terços dos entrevistados acharam que a compra de MFCN em sua empresa fazia parte de um programa de automação, não se constituindo em medida isolada, conforme mostram os dados que seguem:

A introdução de MFCN em sua empresa

	Respostas afirmativas	Percentagem
Faz parte de um programa de automação	20	66,7
É uma medida isolada	10	33,3
Total	30	100,0

Um número ainda maior de empresas respondeu afirmativamente a uma pergunta relativa a estudos de viabilidade sobre MFCN. "A empresa pretende desenvolver estudos sobre a aplicabilidade e as vantagens de maior uso do CN?

	N.º de respostas	Percentagem
Sim	26	86,7
Não	4	13,3
Total	30	100,0

A preferência dos respondentes inclina-se nitidamente para a aquisição de máquinas nacionais (22 respostas, 73,3%) contra uma minoria que optaria por máquinas importadas (8 respostas, 26,7%). Dois respondentes disseram que "tanto faz, pois há requisitos a serem atendidos pelas MFCN, quanto a desempenho, custos, assistência técnica e prazo de entrega". As razões mais freqüentemente apontadas para justificar a compra de MFCN nacionais são as seguintes:

	Respostas
Facilidades de assistência técnica, aquisição de peças de reposição, entrada imediata em operação	5
Não existe outra opção, pois as importações estão bloqueadas	3

Ainda foram apontados "custos menores e o desenvolvimento crescente da indústria nacional", enquanto os principais argumentos a favor da importação eram os seguintes: "inexistência de similar nacional adequado, e desatualização total das MFCN nacionais".

Apesar de a época em que a pesquisa foi efetuada (julho 1981) ter coincidido com o pico de violenta crise econômica, os seis fabricantes de MFCN manifestaram confiança no futuro dessa tecnologia no Brasil, esclarecendo que suas empresas tinham planos de expansão (cinco respostas afirmativas, uma negativa), embora três empresas tenham julgado que a demanda atual pelo produto não justificasse a dimensão do estabelecimento.

4.9 *Uso do computador na empresa*

A fim de avaliar o nível de avanço da empresa na área administrativa, perguntamos se "existia um computador ou terminal de computador na fábrica?" Houve 22 (73,3%) respostas afirmativas e 8 (26,7%) negativas.

As aplicações mais freqüentemente mencionadas foram:

	Respostas
Controle de estoques	21
Controle da produção	18
Controle de prazos	10
Controle de qualidade	6
Desenho de peças/componentes	5
Manutenção	5
Outros	14

4.10 *Programação e* software

Há duas maneiras de se programar as MFCN. Uma é a programação manual, direta, em linguagem do computador da máquina. Outra é a programação com auxílio de computador, em linguagem de alto nível, interpretada e compilada por um computador digital, totalmente separado da máquina, em geral de certo porte e que transforma as instruções de alto nível em informações a nível de computador da máquina.

A programação com auxílio de computador é rápida e segura, pois todos os cálculos geométricos e de usinagem são efetuados pelo computador central. Permite alterar facilmente os programas arquivados na memória, transmiti-los à distância e traduzi-los para adaptação em diversas MFCN, por meio de um programa de aplicação específica chamado "pós-processador".

A programação manual é trabalhosa e lenta, ainda que os cálculos geométricos e técnicos sejam efetuados com minicomputadores ou calculadoras auxiliares. É sujeita a erros e é restrita a uma MFCN específica. Alterações são demoradas.

Na versão mensal, o produto final da programação é uma fita de papel perfurado, onde estão contidas instruções de corte, avanço, troca de ferramentas, parada, etc., para usinagem de uma peça específica.

No questionário *A*, 87% dos respondentes afirmaram que a programação é feita dentro da empresa, 6% utiliza eventualmente serviços externos e 4% sempre realiza a programação fora da empresa. O uso de um computador intermediário é adotado por 25% das empresas, enquanto 74% não utiliza computador.

Grande número de linguagens manuais foi mencionado pelos respondentes. Das linguagens de alto nível, as mais mencionadas foram APT e suas variedades AD-APT e EXAPT.

Alguns usuários têm sofrido dificuldades com a programação por falta de recursos humanos nessa área, tornando-se crítica a situação de empresas que possuem MFCN de procedências diversas e linguagens diferentes. Um usuário chegou a declarar: "Misturamos diversas linguagens, APT, EXAPT, ASC2; acabamos nem sabendo que linguagem usamos." Está sendo feito um grande esforço de treinamento de programadores em muitas empresas visitadas, muitas vezes no exterior, junto ao fabricante das máquinas ou à matriz da empresa.

Além da diversificação de linguagens, um problema freqüentemente mencionado pelos usuários é o dilema de escolha entre linguagens simples, mas pobres (EXAPT, por exemplo) e linguagens complicadas, mas ricas (APT, por exemplo).

Do lado do fabricante, além do problema crucial da linguagem de programação, existe o do tipo de *software* a ser construído na MFCN, ou seja, precisamente, do tipo de comando numérico a ser colocado no gabinete. O *software* é o conjunto de recursos intelectuais que o computador da MFCN possui.

Podemos classificar os *softwares* e, portanto, as próprias MFCN, em duas categorias:

- simples { programação simples, poucos recursos da máquina, menor produtividade e flexibilidade.
- sofisticadas { programação complexa, muitos recursos da máquina, maior produtividade e flexibilidade.

Alguns fabricantes de MFCN no Brasil distinguem esses dois mercados; um que exige máquinas simples; outro, mais restrito, que requer máquinas complexas. No exterior, apontam eles, o mercado é muito mais exigente que no Brasil em termos de recursos da máquina.

Existe certo consenso, entre os fabricantes entrevistados, de que o País não deve ainda enveredar na direção dos sistemas de *software* mais complexos, conquanto seja esse o caminho trilhado no exterior.

Referindo-se ao sistema Synumeric, de longe o de maior uso no Brasil em termos de fabricação nacional de MFCN, ouvimos a seguinte opinião dos fabricantes: "Estamos bem para o *S*-3 ou *S*-5; os sistemas *S*-7 e *S*-8 são sofisticados demais."

Para os fabricantes de gabinete, um problema de difícil solução é encontrar um sistema de CN que tenha as seguintes características, difíceis de conciliar entre si:

– econômico;
– de fácil uso;
– avançado, em termos de tecnologia e recursos
– compatível com os fabricantes estrangeiros;
– homologado pelo Governo brasileiro.

O ponto crucial, no momento, parece ser a intervenção do Governo na área de CN, no Brasil, através do Ato Normativo n.º 16, da Secretaria Especial de Informática – SEI. O CN foi considerado setor estratégico, de segurança nacional. A política oficial do Governo consistirá em nacionalizar os CN fabricados no Brasil, assegurando reserva do mercado para dois fabricantes de capital nacional.

Alguns fabricantes de MFCN opinaram que essa política não tem razão de ser, pois, ao contrário da área de computação eletrônica propriamente dita, a área de CN é puramente instrumental: "O CN tem o mesmo valor para o usuário que um parafuso ou um alicate. É mera ferramenta. Não tem que se invocar princípios de autonomia ou segurança nacional neste setor." Ademais, apontam alguns fabricantes, "para o Brasil seria caro desenvolver tecnologia própria de CN, quando ela é economicamente acessível no exterior. É ruinoso redescobrir a pólvora".

A recomendação desses fabricantes seria deixar agir mais livremente as forças do mercado, sendo que as definições (e, sobretudo, as indefinições) do Governo, seriam extremamente contraproducentes e contrárias ao bom senso.

Outros fabricantes testemunharam do apoio por eles recebido no desenvolvimento de MFCN, através dos programas do Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

4.11 *Natureza das peças e dos procedimentos nas empresas usuárias de MFCN*

A fim de analisar a natureza das peças e dos procedimentos das empresas estudadas, fizemos-lhes 16 perguntas, examinadas a seguir.

As peças fabricadas pelas empresas – não necessariamente em MFCN – são bastante complexas e de tolerâncias estreitas; efetivamente, 24 empresas (92,3% dos 26 respondentes) disseram que "mais de 25% das peças contêm linhas retas, círculos concêntricos e furos"; 13 empresas em 25 (52%) responderam que "mais de 25% das peças contêm ângulos compostos"; 20 empresas em 25 (80%) declararam que "mais de 25% das peças contêm círculos concêntricos"; 8 empresas em 25 (32%) afirmaram que suas peças "contêm contornos que não sejam linhas retas ou arcos de círculos"; 14 em 25 (56%) disseram que produzem "peças contendo contornos definidos por equações matemáticas"; 18 empresas em 25 (72%) indicaram que "mais de 25% das peças têm dimensões com tolerâncias compreendidas entre 0,025 e 0,100 mm"; e 11 em 24 (45,8%), que "mais de 25% das peças têm dimensões com tolerâncias menores que 0,025 mm".

O número típico de ajustes de máquinas requerido pelas máquinas está situado entre 2 e 5, conforme se vê pelas respostas seguintes, de 23 empresas:

	Respostas	Percentagem
Um ajuste de máquinas	2	8,7
De 2 a 5 ajustes	15	65,2
De 6 a 10 ajustes	3	13,0
Mais de 10 ajustes	3	13,0

Pergunta efetuada a respeito do tempo de ajuste típico de máquinas foi assim respondida por 18 empresas:

	Respostas	Percentagem
Menos de uma hora	8	44,4
De 1 a 3 horas	4	22,2
De 3 a 5 horas	5	27,8
De 5 a 8 horas	1	5,6
Mais de 8 horas	0	0,0

Vinte e oito empresas responderam à pergunta "Qual o tamanho típico do lote na sua fábrica? " da seguinte forma:

	Respostas	Percentagem
Até 25 peças (lotes pequenos)	10	35,7
De 25 a 500 peças (lotes médios)	15	53,6
Mais de 500 peças (lotes grandes)	3	11,5

A pergunta "Num determinado ajuste de máquina, qual é o número de mudanças de velocidade de corte requerido por mais de 25% de suas peças? " foi assim respondida por 24 empresas:

	Respostas	Percentagem
De 1 a 3 mudanças na velocidade de corte	13	54,2
De 4 a 5 mudanças na velocidade de corte	6	25,0
Mais de 5 mudanças na velocidade de corte	5	20,8

As 20 respostas à pergunta "Com que freqüência é mudado o desenho típico de suas peças na empresa?" foram as seguintes, indicando que o desenho típico das peças na empresa é mudado uma vez por ano:

	Respostas	Percentagem
Nunca	6	30,0
Uma vez por ano	12	60,0
De 2 a 5 vezes por ano	–	–
Mais de 5 vezes por ano	2	10,0

A percentagem de pedidos de peças novas, ainda não usinadas na empresa, é relativamente pequena, segundo as 24 respostas a essa pergunta.

Percentagem de pedidos de peças ainda não usinadas:

	Respostas	Percentagem
Nenhuma	6	25,0
De 1% a 10%	13	54,2
De 11% a 25%	2	8,3
De 26% a 50%	3	12,5
Mais de 50%	0	–

Um número considerável de peças, para a maioria de 24 respondentes, pode ser agrupado em famílias, por semelhanças na forma ou no processamento:

Percentagem de peças que podem ser agrupadas em famílias:

	Respostas	Percentagem
Nenhuma	2	8,3
De 1% a 10%	7	29,2
De 11% a 25%	4	16,1
De 26% a 50%	8	33,3
Mais de 50%	3	12,5

Substancial percentagem de peças requer gabaritos e dispositivos especiais.

Percentagem de peças requerendo gabaritos e dispositivos especiais:

	Respostas	Percentagem
Nenhuma	0	0,0
De 1% a 10%	2	8,3
De 11% a 25%	4	16,7
De 26% a 50%	8	33,3
Mais de 50%	10	41,7

4.12 *Alguns dados sobre os fabricantes nacionais de MFCN*

O grau de nacionalização das máquinas é superior a 85%, tanto em peso quanto em valor, asseveraram todos os seis fabricantes entrevistados, referindo-se à parte mecânica. No que tange ao gabinete de CN, os componentes eletrônicos são importados e não se conseguiu mais que três respostas, fixando em, respectivamente, 63%, 68% e 85% o valor do grau de nacionalização.

Os seis fabricantes consideram, de modo geral, que recebem pouca assistência técnica do exterior (apenas uma resposta positiva nesse sentido); pagam poucos *royalties* (apenas uma resposta positiva) ou *fixed-fee* (*lump sum*) (nenhuma resposta positiva); e, em sua maioria, realizam atividades de pesquisa e desenvolvimento (apenas uma resposta negativa), porém apenas uma realiza predominantemente suas pesquisas no Brasil, sendo que três as efetuam na República Federal Alemã e/ou no Japão, mas sempre com necessidade de adaptação para o Brasil.

5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em 1981, os autores, a pedido e sob os auspícios da Technology Scientific Foundation, instituição holandesa que financiou esta pesquisa, efetuaram um inquérito sobre os efeitos sócio-econômico-administrativos da implantação de máquinas-ferramenta de controle numérico no Brasil.

Por meio de questionários enviados aos usuários e fabricantes de MFCN, e de entrevistas e visitas às empresas, os pesquisadores chegaram às seguintes conclusões:

1. As MFCN foram adquiridas para atender aos requisitos técnicos de qualidade da indústria moderna, cada vez mais exigente e complexa.
2. A decisão de adquirir as máquinas foi muitas vezes favorecida pela perspectiva de receber vultosos contratos governamentais nos campos de transporte coletivo, geração hidrelétrica, aeronáutica e armamentos.
3. A viabilidade econômica dos investimentos em MFCN raramente foi empreendida. As incertezas do mercado e o desconhecimento dos custos tornariam difícil a feitura de estudos confiáveis de factibilidade econômica.
4. O "efeito demonstração", ou seja, a mera existência dessas máquinas em outros países, foi um fator importante na decisão de adquirir as MFCN.
5. As empresas usuárias mostraram-se, no plano técnico, plenamente satisfeitas com o desempenho das MFCN, cuja robustez, capacidade, produtividade, repetibilidade e qualidade se revelaram muito superiores às das máquinas-operatrizes convencionais. Os responsáveis pela produção aspiram a ter maior número dessas máquinas.
6. A implantação das MFCN não foi em geral acompanhada das reestruturações administrativas necessárias para o êxito econômico da mecanização.
7. A manutenção eletrônica das MFCN, ao contrário da mecânica, apresenta alguns problemas; e a programação das MFCN, muitos, por falta de elementos qualificados e pela diversidade de equipamentos, importados de todos os cantos do mundo.
8. As MFCN são apreciadas pelos dirigentes das empresas por reduzirem sua dependência dos torneiros e fresadores qualificados, considerados profissionais difíceis de se administrar.
9. O número de MFCN instaladas em cada indústria ainda é pequeno demais para essa tecnologia se constituir numa ameaça visível de desemprego da mão-de-obra qualificada. Porém, se não ocorrer uma retomada da atividade econômica, haverá forte pressão social contra a automatização.

10. Os fabricantes de MFCN mostram-se preocupados com a retração da demanda no setor de bens de equipamento, que tolhe seus planos de expansão e desenvolvimento tecnológico. Pior ainda, mantêm-se num compasso de espera, incertos quanto às decisões que o Governo, através da Secretaria Especial de Informática, irá tomar para promover a nacionalização dos gabinetes eletrônicos de comando numérico, mais por considerar a área um assunto de segurança nacional que por fundamentos econômicos.

Nestas duas últimas décadas, verificou-se no Brasil incipiente esforço de mecanização industrial, estimulado pela expansão fabril do período.

Em vista da rapidez com que as MFCN e outras formas de mecanização estão se alastrando nos países industrializados, é essencial que os responsáveis pela nossa economia assumam uma postura construtiva em face do magno problema da automação.

Os argumentos básicos contra a automatização são que ela leva ao desemprego e à degradação da mão-de-obra qualificada.

Por outro lado, a automação cria novas habilidades e novos empregos, como, por exemplo, os de técnicos de programação e manutenção eletrônica.

Em vista do baixo custo relativo da mão-de-obra nacional e dos altos juros do capital no Brasil, e pelo fato de a demanda raramente justificar a operação das MFCN em três turnos, a automatização poucas vezes é viável, em termos econômicos, entre nós. Outrossim, ela pressupõe a preparação de elementos humanos e a constituição de uma infra-estrutura de planejamento e suprimentos, medidas essas onerosas e delicadas, porém indispensáveis para o êxito econômico da automação.

Se não for, entretanto, efetuada a automação progressiva e racional das nossas operações produtivas, a tecnologia nacional afastar-se-á cada vez mais da que floresce nos países industrializados, ficando irremediavelmente comprometido nosso futuro econômico.

Anexo

Notas técnicas sobre MFCN

1. POSIÇÃO DO CONTROLE NUMÉRICO NA MODERNA TECNOLOGIA

Em 1958, os visitantes do Massachusetts Institute of Technology – MIT, em Boston, assistiam às demonstrações de nova máquina, parecida com uma fresadora vertical convencional. Em poucos minutos, a partir de um pedaço de chapa, fabricava um cinzeiro, sem intervenção do operador, a não ser para a alimentação inicial e a retirada da peça acabada.

Tratava-se de modelo experimental da primeira máquina operatriz de controle numérico. Sua novidade técnica consistia na realização de uma série de operações de usinagem, incluindo remoção de metal segundo perfis geométricos complexos, sem intervenção humana. Isso, através de instruções programadas, contidas numa fita perfurada.

Anos antes, a automação já tinha alcançado a indústria automobilística, na fabricação de peças e na linha de montagem. Existiam, por exemplo, numerosas fábricas de velas de automóveis, lâmpadas, rolamentos, engrenagens, motores e inúmeros outros componentes, inteira ou predominantemente automatizadas: máquinas "de transferência" removiam automaticamente o bloco de motor de uma operação para a seguinte na linha de fabricação; outras máquinas "indexavam" o motor, isto é, posicionavam-no rigorosamente debaixo da mandriladora de cabeçote múltiplo, que se abaixava, em perfeita sincronia, para perfurar simultaneamente uma dezena de orifícios de válvulas no bloco do motor.

Mas a automação não tinha chegado ainda ao setor mais nobre da fábrica, à oficina, à ferramentaria. Na linha de fabricação ou montagem, a automação deslocava operários semiqualificados, engajados em operações simples, predominantemente braçais. Agora, um autômato era capaz de executar operações muito complexas, como, por exemplo, dar uma forma exata a uma pá de turbina, com maior precisão e velocidade que o torneiro mais hábil.

Ademais, os comandos enviados às máquinas automáticas das décadas anteriores eram de natureza hidráulica, pneumática, mecânica ou elétrica. A nova máquina de controle numérico usava comandos eletrônicos. O fato de ser acionada por meio de uma fita programada interpretada por um "cérebro" acoplado ao torno permitia que a máquina pudesse executar extensa variedade de tarefas e produzir muitas peças diversas; os mecanismos automáticos do passado não tinham, ao contrário, nenhuma versatilidade.

Finalmente, outra inovação fundamental era a inclusão, no mecanismo de instrução da máquina, de um sistema de *feedback* (retroalimentação), permitindo à ferramenta medir, controlar e corrigir sua posição em relação ao programa de corte traçado.

As características de informação, decodificação e controle colocaram a nova máquina a par com os desenvolvimentos da ciência, então emergente, da cibernética.

Hoje, as MFCN incorporaram progressos recentes da eletrônica, substituindo, em particular, os transistores da década dos 60 por pastilhas (*chips*) de silício, nas quais são embutidos circuitos eletrônicos miniaturizados. É o chamado CNC, comando numérico computorizado, com microprocessador.

Por sua vez, existem estágios de automatização mais avançados que os descritos. Como exemplo de máquinas mais automatizadas, citemos o computador de terceira geração, digamos, o IBM, série 370. É capaz de escolher entre serviços a serem executados, seqüenciando e enca-

deando sua realização; avisa aos operadores quanto a erros por eles cometidos, indicando sua natureza e sugerindo correções; executa simultaneamente uma dezena de tarefas variadas e complexas.

Pilotos automáticos de aeronaves, foguetes, veículos espaciais e, mesmo, bombas "inteligentes" representam passo ainda mais avançado de automatização, correspondendo a sistemas auto-adaptativos ou autocorretivos, isto é, que computam seus erros e corrigem seu curso em função dos erros cometidos. Robôs "sensoriais", isto é, capazes de ouvir, ver, sentir e/ou falar, representam o estágio atual mais avançado da automatização.

Sistemas de CN "adaptativos" ou "corretivos", chamados CNA, já foram usados comercialmente. Permitem à própria máquina perceber e corrigir o desgaste das ferramentas, o que é vantajoso para grandes lotes, ou para peças de porte ou dureza considerável.

O controle numérico deve ser encarado também dentro do contexto geral da automação, que abrange a computorização administrativa, o processamento de texto, o controle dos processos, a robotização e a integração administrativo-técnica da fábrica, através do CAD-CAM, que está se divulgando rapidamente nos países industrializados.

O CAD (*computer-aided design*) consiste no desenho computorizado dos produtos, tais como edifícios, circuitos eletrônicos, aeronaves, navios, pontes, ferramentas, computadores e quaisquer outros objetos. Já é usado há cerca de 15 anos, inclusive no Brasil, em diversas empresas.

Sem o CAD, no método tradicional, o procedimento é o seguinte: o engenheiro do produto ou o projetista entrega o esboço básico ao desenhista de detalhe; este executa o desenho técnico; o projetista entrega essa versão inicial aos departamentos de vendas e produção para análise e sugestões; é feita a revisão do desenho original. O procedimento é demorado e sujeito a erros, pois os dados passam de mãos em mãos e todos os cálculos são manuais.

No CAD, o procedimento concentra-se no projetista, assistido por um computador. O desenho é realizado num terminal de vídeo, por meio de um "lápis eletrônico" ou de um programa. O computador, a qualquer momento, pode mostrar ao projetista os desenhos que ele executa, em três dimensões, em branco e preto ou colorido, sob os mais variados ângulos, em várias escalas e seções. As correções podem ser efetuadas instantaneamente, sem necessidade de refazer os desenhos totalmente. O computador efetua ainda todos os cálculos desejados de áreas e volumes, escreve cotas e legendas, indica tolerâncias e faz ampliações ou reduções na proporção desejada. Os desenhos são arquivados na memória do computador, podendo ser recuperados e reproduzidos hectograficamente ou por termofax a qualquer momento.

O CAM (*computer-aided manufacturing*) consiste no arquivamento de todos os desenhos componentes de um produto na memória do computador. A lista de componentes, por sua vez, origina, a pedido, a lista de materiais necessários para efetuar uma ordem de fabricação.

O computador, ademais, pode transformar os desenhos de uma peça numa fita perfurada, de comando numérico, instruindo uma MFCN a executar a peça, integrando, assim, o desenho e o ciclo produtivo da fabricação.

2. ALGUNS DETALHES TÉCNICOS SOBRE CONTROLE NUMÉRICO

Transcrevemos a seguir alguns detalhes técnicos, parcialmente extraídos do folheto da Romi (Indústrias Romi S.A. O comando numérico e sua aplicação. São Paulo, maio 1979) e acrescidos de informes obtidos de diversas fontes.

2.1 *O que é comando numérico*

No desenvolvimento histórico das máquinas, o homem sempre esteve procurando soluções que permitissem aumentar a produção, com qualidades superiores e a minimização do desgaste físico na operação (comando) das máquinas.

Assim, foram surgindo muitas soluções. No entanto, nenhuma oferecia, até recentemente, a flexibilidade necessária para o uso de uma mesma máquina na usinagem de peças de configurações diferentes e em lotes de reduzido número de peças.

Um exemplo dessa situação é o caso do torno. A evolução do torno paralelo universal levou à criação do torno revólver, do torno copiador, do torno automático e do torno com programação elétrica, os quais ganharam em produtividade e na qualidade do produto fabricado. Mas continuaram limitados na possibilidade de mudança fácil de tipo de trabalho.

A solução finalmente encontrada consiste em dotar as máquinas de um "cérebro" (comando numérico), que tem a faculdade de ler e transformar as instruções em comandos para os diferentes órgãos da máquina ou, em outras palavras, considerando-se a máquina como um todo, diríamos que esta "entende" um certo número de palavras e, desde que só estas sejam utilizadas, o homem pode comunicar-se com a máquina.

2.2 *Definição de Comando Numérico*

Como definição, pode-se dizer que o comando numérico é um equipamento eletrônico capaz de receber informações através de entrada de dados própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina operatriz, de modo que esta, sem a intervenção do operador, realize as operações na seqüência programada.

Para entendermos o princípio básico de funcionamento de uma máquina-ferramenta de comando numérico, devemos dividi-la em três partes:

1. Programação. Numa primeira divisão simplista, podemos dizer que a programação envolve o desenho da peça, o planejamento de usinagem e a máquina-ferramenta a ser utilizada. Por tratar-se de um detalhe complexo, esclarecemos em outro item os principais parâmetros que envolvem a programação.
2. Comando numérico. O comando numérico é composto de uma unidade de recepção de informações, que pode ser um leitor de fitas perfuradas ou magnéticas, cassetes ou discos magnéticos ou ser alimentada por uma central de computação; e uma unidade calculadora, onde as informações são processadas e transmitidas às unidades de força. O circuito que integra a máquina-ferramenta ao comando é denominado interface, a qual é projetada de acordo com as características mecânicas da máquina.
3. Máquina-ferramenta. O projeto da máquina-ferramenta deverá aproveitar os recursos operacionais oferecidos pelo comando. Quanto mais recursos oferecer, maior versatilidade ela terá.

2.3 *Tipos de comando*

O comando numérico está dividido em dois grandes grupos:

1. Comando numérico ponto-a-ponto. Neste caso, o comando garante o posicionamento, segundo os eixos geométricos de uma máquina, dentro do intervalo de precisão e repetibilidade previstas, porém em movimento rápido e sem uma trajetória predeterminada e controlada. É aplicado em furadeiras ou mandriladoras, onde o interesse básico consiste no posicionamento exato da peça para o trabalho.
2. Comando numérico contínuo. O comando numérico contínuo (de contornos ou de cursos) garante o posicionamento exato e controla a trajetória e o avanço, podendo os carros ter movimentação simultânea e perfeitamente conjugada de modo a se obter quaisquer ângulos ou perfis circulares com qualquer raio, requisitos importantes no trabalho dos tornos e fresadoras.

2.4 *Comandos numéricos com microprocessadores*

Assim como na aviação, os motores com pistão cederam lugar aos motores turbinados (os jatos), da mesma forma, na aplicação do comando numérico nas máquinas operatrizes de usinagem, a tendência atual reside na aplicação dos modernos CNC em substituição aos comandos constituídos e projetados para uma função específica. A grande diferença consiste em que, para o primeiro caso, isto é, para o CNC, existe um miniprocessador interno, que é o comando; portanto, se for necessário acrescer um recurso a mais ao sistema, será geralmente em forma de um programa. No segundo caso, ou seja, para os comandos numéricos comuns, um aumento de recurso implica aumento de circuitos eletrônicos e componentes, em outras palavras, através de um aumento físico do comando. Por outro lado, outra característica essencial dos CNC é sua capacidade elevada de arquivo de programa.

Os comandos numéricos computorizados começaram a ser usados por volta de 1970, sendo que hoje o uso do CNC é perfeitamente viável e economicamente vantajoso em todos os aspectos.

Os CNC começaram com a incorporação de um minicomputador. Hoje, os CNC já não adotam mais os minicomputadores, e sim os microprocessadores. O microprocessador leva à diminuição de custo, ao aumento da capacidade e à redução do tamanho.

2.5 *Comando numérico controlado por uma unidade central de computação*

Usado por algumas empresas no exterior, é um sistema de várias máquinas com CN, ligadas a um computador central, o qual pode atuar de duas formas:

1. Primeiro método. Nos chamados sistemas de arquivo de programa, o computador central tem em seu arquivo todos os programas feitos para as máquinas às quais está ligado. Estas máquinas, portanto, não possuem leitora de fitas, recebendo a informação do arquivo central, quando requisitada pelo operador. O programa vem à máquina de modo seqüencial, da mesma forma que no caso da entrada em fita, mas sem o pequeno tempo perdido na leitura dos blocos, visto que o acesso é instantâneo.

O comando pode controlar, deste modo, várias máquinas simultaneamente, operando com programas e peças diferentes. Cada máquina operatriz possui seu próprio CN sem leitora, conectado à central, que, por sua vez, pode estar em lugar remoto.

2. Segundo método. Comando numérico direto (DNC). Neste caso, um complexo sistema de máquinas está interligado a um computador central que, além de conter em arquivo todos os programas, ainda controla diretamente cada máquina, englobando, portanto, a unidade de entrada de dados e a unidade de controle. Neste caso, como todo o sistema da programação está diretamente dependente do computador, aumenta-se consideravelmente os recursos de programação, a versatilidade nas correções e a capacidade operativa. Da mesma forma, a unidade central pode estar situada em local remoto, sendo a ligação feita através de via telefônica ou satélite.

Este método foi aplicado em algumas empresas e existe a possibilidade de voltar a ser empregado mais largamente quando os grandes sistemas em fase de desenvolvimento estiverem em atividade.

Por outro lado, os modernos CNC permitem um acoplamento muito mais fácil que os CN comuns.

2.6 *Vantagens do comando numérico*

O comando numérico pode ser utilizado em qualquer tipo de máquina-ferramenta. Sua aplicação tem sido maior nas máquinas que executam diferentes operações de usinagem. Os tornos e centros de torneamento, lembremos, servem para usinar peças cilíndricas. As fresadoras e os centros de usinagem são usados para trabalhar peças não cilíndricas. Os centros de torneamento e usinagem distinguem-se de outras máquinas-ferramenta por sua maior robustez, rigidez e potência.

Basicamente, sua aplicação deve ser efetuada em empresas que utilizem as máquinas na usinagem de séries médias e repetitivas ou que usinam peças complicadas em lotes pequenos.

A compra de uma máquina-ferramenta não poderá basear-se somente na demonstração de economia, em comparação com o sistema convencional, pois o seu custo inicial ficará em segundo plano quando analisarmos as seguintes vantagens advindas da aplicação de máquinas CN.

1. Maior versatilidade do processo. O grau de versatilidade de uma máquina CN aumenta em função dos recursos do comando.

A flexibilidade do CN reside na gama de formas que se consegue obter através do uso das interpolações lineares e circulares, dispensando o uso de padrões.

Grande liberdade existe com relação ao posicionamento e ao percurso da ferramenta nos avanços rápido e de trabalho. Pode-se dividir o número de passadas da forma que o programador achar melhor, não se limitando a quantidades nem incrementos, nem aos cursos fixos impostos pelos sistemas mecânicos ou hidráulicos.

Em conseqüência, é viável o uso de ferramentas não especiais, quer na forma, quer nas dimensões, além do seu emprego dentro de parâmetros de corte passíveis de melhor controle.

À medida que o comando vai-se desenvolvendo e que são acrescidos novos recursos, mais versátil se torna a máquina. Citemos, como exemplos: corte de roscas, controle automático da velocidade de corte, etc.

2. Compactação do ciclo de usinagem. Devido à sua grande versatilidade, o ciclo que antes era feito em várias máquinas se efetua numa só. Decorrem desta vantagem, entre outras, as seguintes:

a) menor tempo de espera;
b) menor movimento da peça;
c) menor tempo na preparação da máquina;
d) menor quantidade de dispositivos e de ferramental;
e) menor controle de produção;
f) menor controle de qualidade.

3. Aumento na qualidade do serviço. Esta vantagem ocorre porque:

a) o sistema de posicionamento controlado pelo CN é de grande precisão;
b) existe a repetibilidade dentro dos limites próprios da máquina para todas as peças, uma vez feita a preparação para a primeira peça. A chance de se perder a primeira peça na preparação é reduzida a possibilidades mínimas;
c) independe-se de posicionamento efetuado com desengates mecânicos ou manuais;
d) maior controle do desgaste das ferramentas;
e) possibilidade de correção destes desgastes;
f) menor interação entre homem e máquina. As dimensões dependem quase somente do comando e máquina.

4. Rápida e econômica modificação no processo de usinagem quando da alteração do projeto. A engenharia de produto pode efetuar modificações significativas no projeto com as seguintes vantagens:

a) preservação de ferramentas ou dispositivos;
b) protótipos mais baratos e menos dispendiosos;
c) resposta mais rápida sobre o produto projetado ou modificado;
d) maior velocidade na modificação do produto final, em face das exigências de mercado.

5. Uso racional de ferramentas. Em face dos recursos do comando/máquina, os quais executam as formas geométricas da peça, as ferramentas não necessitam de projetos especiais.

a) seleção infinitesimal dos avanços;
b) profundidade de corte perfeitamente controlável;
c) redução na gama utilizável de ferramentas;
d) velocidade de corte dentro das especificações, devido à troca automática de velocidades.

6. Simplificação dos dispositivos. Devido à grande versatilidade das máquinas CN com relação a contornos e posicionamento, os dispositivos empregados são geralmente muito mais simples que os usados em sistemas convencionais.

7. Redução do refugo. Praticamente inexiste refugo de peças, pois todos os parâmetros que envolvem sua manufatura independem do operador. Mas devem ser observadas as eventuais correções devidas ao desgaste das ferramentas.

8. Maior segurança para o operador. Devido à participação indireta do operador na usinagem, os riscos de acidentes são praticamente reduzidos a zero.

9. Redução na fadiga do operador. É uma conseqüência natural do item anterior, já que a função princi-

pal do operador é trocar peças e efetuar eventuais correções.

10. Economia na utilização de operários qualificados. Conforme visto nos itens anteriores, a interferência do operador é mínima; portanto, não há necessidade de operários especializados.

11. Rápido intercâmbio de informações entre os setores de planejamento e produção, pois, quando se executa a usinagem da peça pela primeira vez, o programador participa da operação. Caso haja acertos a serem executados, estes são feitos imediatamente.

12. Menor estoque de peças, em razão da rapidez de fabricação. Desde que a matéria-prima esteja disponível, o estoque pode ser minimizado, pois as operações do CN podem ser realizadas de imediato.

13. Facilidade na confecção de perfis simples e complexos sem a utilização de modelo. Graças aos recursos do comando/máquina, modelos podem ser executados com rapidez e economia sem interferência humana. Há maior liberdade no desenho.

14. Uso racional do arquivo de processos. Um fator comprovado no uso do CN é a relativa facilidade no arquivamento e localização do processo de usinagem e da fita.

2.7 *Recursos do comando numérico*

2.7.1 *Definição*

Recurso de um CN, por definição, é a capacidade de comandar uma operação da máquina, em substituição à ação direta do operador, de um dispositivo ou de um componente da própria máquina.

Recursos são, também, os diversos componentes do comando, que o tornam mais versátil, fácil de operar ou comunicativo com o operador, tais como:

1. Troca de ferramenta automática, em substituição à ação direta do operador.

2. Possibilidade de se obter contornos em fresamento ou torneamento, substituindo a ação de um operador.

3. Possibilidade de corte de rosca em tornos, que substitui a ação dos mecanismos do recâmbio e caixa de rosca.

4. Versatilidade, devido à possibilidade de operar em polegadas ou em milímetros.

5. Facilidade de operação, graças a pontos de referência fixos, que permitem "zerar" a máquina a qualquer instante.

6. Melhor comunicação, pois mostradores ativos durante toda a execução revelam, a cada instante, todas as condições atuantes.

2.7.2 *O conjunto da "máquina operatriz e CN"*

Um conjunto de "máquina CN" é composto geralmente de três unidades principais, a saber:

1. Parte mecânica – formada pela máquina operatriz propriamente dita, incluindo motores elétricos, sistemas hidráulicos e pneumáticos, sistemas de refrigeração, transportadores de cavacos, etc.

2. Interface – é o sistema elétrico que distribui e comanda os diversos elementos da máquina, tais como: motor principal do eixo árvore, motor da bomba refrigerante, motores das bombas hidráulicas; comanda também a abertura e o fechamento de válvulas solenóides atuantes em sistemas hidráulicos e pneumáticos.

3. Comando eletrônico – é o comando numérico que recebe as informações em seu painel e atual no "interface", que, por sua vez, transmite à máquina as operações requeridas.

O CN atua, nos motores de avanço, através de uma unidade de força de comando própria, para os motores responsáveis pelo movimento dos carros.

2.8 *Noções de programação*

2.8.1 *Conceitos de programas*

Entre as inúmeras vantagens do CN aplicado a máquinas operatrizes, pode-se citar, também, a relativa facilidade de programação, muito embora exija um estudo minucioso, detalhado e completo.

Um programa é uma seqüência lógica de eventos necessários para a execução de uma peça; deve ser escrita em códigos próprios, de modo que o CN os interprete e emita os sinais necessários para que a máquina execute a operação programada.

Um programa é composto basicamente de três tipos de funções:

a) funções preparatórias;
b) funções de posicionamento;
c) funções complementares, que explicitam à máquina o que, onde e como fazer.

2.8.2 *Linguagem da máquina*

Normalmente, o programa para CN é escrito em fita perfurada. A fita é padronizada, tendo uma polegada de

largura, com capacidade de oito canais de informações e um canal especial de arraste da leitora, o qual não possui função informativa.

Cada canal é definido no sentido do comprimento da fita e a linha é definida no sentido perpendicular ao canal. Uma linha comporta no máximo oito furos, além do furo menor de arraste, localizado entre os canais três e quatro.

Um dígito é escrito em uma linha, combinando convenientemente os furos nos canais. O método é regulamentado por normas, sendo as mais usadas a EIA-RS-244A e EIA-RS-358 (ASC-II-ISO). Nos tornos Romi, equipados com comando GE-1050TZ, é possível trabalhar nos dois sistemas, com identificação imediata do código, sem pré-seleção.

2.8.3 *Funções preparatórias*

São funções que dizem à máquina o que fazer, "preparando-a" para executar um tipo de serviço (deslocamento) ou para receber um tipo de informação. São elas, para as máquinas citadas no subitem 2.8.2 deste anexo:

G01 – Interpolação linear
G02 – Interpolação circular (sentido horário)
G03 – Interpolação circular (sentido anti-horário)
G04 – Função permanência
G33 – Roscamento
G90 – Programação em coordenadas absolutas
G91 – Programação em coordenadas incrementais
G92 – Determinação da origem do sistema de coordenadas absolutas
G94 – Admitir programa de avanço em mm/minuto
G95 – Admitir programa de avanço em mm/rotação

2.8.4 *Funções de posicionamento*

Para definir o lugar onde executar o serviço, utiliza-se usualmente o sistema de coordenadas cartesianas. No caso do torno, todas as medidas das peças podem ser dadas em dois eixos, um que define os comprimentos e o outro que define os raios da peça. O primeiro coincide com a linha de centro do eixo árvore e o segundo é o eixo perpendicular a este, tendo o ponto de origem (cruzamento) variável, conforme escolha do programador.

Dependendo do tipo de trabalho e do CN, poderemos utilizar os sistemas de coordenadas absolutas ou incrementais.

No sistema de coordenadas absolutas, estabelecemos um ponto de origem fixo "zero" (intersecção dos eixos *X* e *Z* escolhidos). Todos os pontos do plano *X* e *Z* ficam determinados em função das coordenadas em relação ao "zero".

No sistema de coordenadas incrementais, cada ponto tem suas coordenadas originadas do ponto que o precedeu.

2.8.5 *Funções complementares*

Para receber a informação de avanço na unidade de mm/rot ou mm/min, a máquina deve ser preparada através de uma fita-padrão antes de memorizar a fita desejada.

A função "F" define para a máquina o valor do avanço de trabalho dos carros, sendo que, no caso de movimentos rápidos simultâneos, o valor programado refere-se à resultante dos movimentos.

[1] Boon, Gerard K. Collaborative Research Project: "Micro-chips in the metal industry of Latin America and the future international division of labour". Holland, The Technology Scientific Foundation, 1981.

[2] Até fins de 1980, o total de máquinas NC existentes no Brasil era de 649, de acordo com levantamentos efetuados pela Sobracon – Sociedade Brasileira de Comando Numérico.

A título de comparação, até 1978, existiam cerca de 54 mil máquinas NC nos EUA e 14 mil na RFA. E certos informes asseguram que o Japão produz hoje 10 mil unidades NC por ano.

BIBLIOGRAFIA

American Machinist. *Fewer, more productive machines*, New York, McGraw-Hill, 1978.

Ashburn, Anderson. *The 1980 machine-tool standings*. American Machinist, Feb. 1981.

BNDE – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico. *Diagnóstico sobre máquinas-ferramenta*. 1977.

Childs, James J. *Principles of numerical control*. 2. ed. New York, Industrial Press, 1969.

Davis, S. *Electronics grabs bigger share of the process control industry*. Electronic Business, Oct. 1978.

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. *Evolução tecnológica da indústria de máquinas-ferramenta no Brasil*. 1980.

Greene, Alice M. *The Subtle shifts in the NC market scene*. Iron Age, Mar. 5, 1979.

Indústria e Desenvolvimento. FIESP, *14* (9), set. 1981.

IPEA. *A Indústria de máquinas-ferramenta*. abr. 1980. (Código BNDE 253 e 230.)

Jacobsson, Staffan. *Strategy problems in the production of numerically controlled lathes in Argentina*. Sweden, Research Policy Institute, University of Lund, 1981.

Lopes, F. A. et alii. *A Indústria brasileira de bens de capital*. Rio de Janeiro, IBRE/FGV, 1980.

Machado, A. *Comando numérico em máquinas-ferramenta*. Escola de Engenharia de São Carlos, s.d. mimeogr.

Magalhães, Emmanuel Silva. *A Evolução da indústria de máquinas-ferramenta no Brasil*. Tese de mestrado, Universidade de Brasília. s.d. Orientador: F. R. Versiani.

Marx, Thomas G. *Technological change and the structure of the machine tool industry*. MSU Business Topics, Winter 1979.

Mazzuchelli, F. *A Expansão inconclusa: bens de capital no Brasil*. Campinas, Unicamp, 1977.

McLean, Mick. *The Electronic industry*. Paris, Technical Change and Economic Policy, Organisation for Economic Co-operation and Development, 1980.

Mecânica Brasileira S.A. – Embramec. *Estudo sobre máquinas-ferramenta*. 1976.

Nasbeth, L. & Ray, G. F. *The Diffusion of new industrial process*. London, Cambridge University Press, 1974.

OCDE. *The Machine tool industry*. Paris, 1980. Sector report.

Patil, S. M. *Technological perspectives in the machine tool industry and their implications for developing countries*. Unido/IS 226, 1981.

Peçanha Cardoso, Paulo R. *Situação do controle numérico no Brasil*. Rio, Embramec, 1980.

Quem é quem na economia brasileira. *Visão*. São Paulo, 1976, 1979, 1980, 1981.

Real, Bernard. *The Machine tool industry*. Paris, Technical Change and Economic Policy, Organisation for Economic Co-operation and Development, 1980.

Máquinas e Ferramentas. São Paulo, Novo Grupo, maio 1981.

Rothwell, R. & Zegveld, N. *Technical change and employment*. London, Francis Pinter, 1979.

Seplan. Bens de capital, São Paulo (estado). Aspectos estruturais do desenvolvimento da economia paulista. 1978.

Stemmer, Caspar Erich. Estágio atual do comando numérico no Brasil. *Máquinas e Ferramentas, 2* (22), maio 1981.

Tauile, J. R. *A Difusão de MFCN no Brasil e algumas implicações para o desenvolvimento econômico*. FEA/UFRJ, dez. 1981. mimeogr.

———. *A Situação do comando numérico no Brasil*. FEA/UFRJ, 1981. (Relatório de Pesquisa n.º 1.)

Tipton, Henry. *Computer power surges forward*. Metalworking Production, Oct. 1980.

Tironi, L. F. *Bens de capital: política e desenvolvimento econômico*. Unicamp, 1979.

Vidossich, F. *A Indústria de máquinas-ferramenta no Brasil*. Brasília, IPEA-IPLAN, 1974.



RBE, uma revista da Fundação Getulio Vargas.

Lá você fica sabendo das últimas pesquisas no campo econômico, em âmbito nacional e internacional.

Lá você aprende os novos métodos e tudo o que se está aplicando no momento nessa área