

As novas tecnologias de automação: desenvolvimento, atributos e implicações de sua adoção em termos de escalas*

*Raul Luís Assumpção Bastos***

Na década de 70, observou-se nas economias capitalistas uma ruptura do padrão de crescimento que nelas vigorou desde o Pós-Segunda Guerra Mundial. Entre as interpretações propostas da crise, uma está ligada ao esgotamento do paradigma tecno-econômico que deu suporte a um processo de crescimento quase inédito na história do capitalismo. Esse paradigma tinha como principais características econômicas a utilização intensiva de energia barata, o crescimento estável dos mercados e das escalas de produção, o crescimento da produtividade do trabalho e, a ele associado, dos salários reais, contribuindo para a gestação de mercados de consumo de massa nas principais economias capitalistas.

No âmbito microeconômico, esse paradigma tecno-econômico era caracterizado, de modo geral, por uma tendência à dominância de firmas de grande porte. O porte das firmas era um elemento decisivo para a obtenção de economias de escala, as quais favoreciam a incorporação de tecnologias de automação nos processos produtivos, pois estas só poderiam justificar-se economicamente na medida em que viabilizassem uma redução dos custos unitários de produ-

* Este artigo é uma versão adaptada do primeiro capítulo da Tese de Doutorado do autor, **Novas Tecnologias, Trabalho e Competitividade: Um Estudo de Firms de Automação Industrial de Base Microeletrônica**, apresentada em dezembro de 1998 no Instituto de Economia da UFRJ. O autor gostaria de expressar sua gratidão ao seu orientador, Professor José Ricardo Tauile, bem como aos Professores Adriano Proença, Cláudio Salm, Paulo Bastos Tigre e Rogério Valle, que integraram a banca examinadora, pelas críticas e comentários. Por sua vez, gostaria de também agradecer aos colegas Clarisse C. Castilhos, Guilherme G. F. Xavier Sobrinho, Ilaine Zimmermann, Maria Isabel Herz da Jornada, Sheila S. Sternberg e Walter A. Pichler pelas críticas e sugestões a uma versão preliminar do trabalho. Os erros e omissões porventura remanescentes são de inteira responsabilidade do autor.

** Economista, Técnico da FEE e Professor do Departamento de Economia da PUC-RS.

ção através da produção de grandes volumes. Essas tecnologias de automação eram denominadas rígidas pelo fato de se constituírem de máquinas especializadas, tendo as mesmas, desse modo, pequeno alcance em termos tanto da variabilidade de tamanho dos lotes como do espectro de produtos fabricados.

A partir dos anos 70, os elementos estruturais do paradigma tecno-econômico até então dominante começaram a demonstrar suas debilidades. Passou-se a observar, nas economias capitalistas, um aumento da incerteza e uma crescente instabilidade nos mercados, os quais pouco se coadunavam com as características daquele padrão de desenvolvimento. De certa forma, pode-se constatar uma mudança nas normas de concorrência intercapitalista, as quais trazem consigo elementos qualitativamente novos para a determinação do desempenho competitivo de firmas e indústrias. Esses elementos estão associados a aspectos como a flexibilidade e a integração dos processos produtivos, as economias de escopo, a customização e a possibilidade de ocupar nichos de mercado.

Este artigo tem como objetivo fazer uma caracterização das tecnologias que contribuíram para o início da constituição de uma nova base técnica nas economias capitalistas desde meados da década de 70. Como é reconhecido, grande parte da revolução tecnológica ora em curso está associada à incorporação nos processos produtivos de novas formas de automação com atributos qualitativamente distintos daqueles observados nos equipamentos oriundos da base técnica eletromecânica. Tendo por base essa referência, o artigo foi assim organizado: após esta introdução, na seção 1, procura-se esboçar o processo de evolução da automação rígida à flexível, apontando-se os aspectos que têm feito com que o desenvolvimento desta última represente um avanço em termos tecno-econômicos relativamente à primeira. Na seção 2, analisam-se os principais atributos da automação de base microeletrônica, destacando suas implicações tecno-econômicas para o desempenho competitivo de firmas e indústrias. Na seção 3, sistematizam-se os argumentos centrais a respeito de um tema bastante controverso, o dos impactos da adoção das novas formas de automação em termos de escalas; para tanto, faz-se uma síntese de alguns trabalhos considerados representativos no tratamento dessa questão. Por último, na seção conclusiva, são feitas, de forma breve, alguns comentários finais sobre os tópicos tratados no artigo.

1 - Da eletromecânica à microeletrônica: o desenvolvimento das novas formas de automação

Pode-se afirmar que a automação dos processos produtivos, em um sentido amplo, está presente na história do capitalismo desde a Revolução Industrial na Inglaterra, a partir do último quarto do século XVIII. A crescente incorporação de máquinas em substituição ao trabalho vivo na indústria permitiu revolucionar a base técnica da economia capitalista, que, na época, representava o que havia de mais avançado do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico.¹

A partir das primeiras décadas do século XX, com a constituição da base técnica eletromecânica, presenciou-se um novo desenvolvimento na incorporação de máquinas nos processos produtivos. Talvez o exemplo mais representativo de automação em moldes clássicos tenha sido o uso de máquinas dedicadas na indústria automobilística do início deste século, o qual favoreceu um salto em termos de produtividade do trabalho em comparação com os processos de produção até então dominantes naquela indústria (WOMACK, JONES, ROOS, 1992, p.23-25).

Essas formas de automação se combinavam de uma maneira muito adequada com a produção em grande escala de bens padronizados, pois delas não era exigida nenhuma — ou muito pouca — flexibilidade nos processos produtivos. Após a Segunda Guerra Mundial, a difusão dessas tecnologias mostrou-se perfeitamente compatível com mercados com crescimento relativamente estável, pois delas se demandava principalmente a capacidade de reduzir — através das economias de escala — os custos unitários de produção. Nesse sentido, pode-se argumentar que essas formas de automação estavam em consonância com os elementos do padrão de eficiência produtiva das principais economias capitalistas desse período histórico, contribuindo para a redução do preço das mercadorias e, com isso, para a constituição de mercados de consumo de massa em diversos países (AGLIETTA, 1979).

Não obstante, deve-se destacar que uma limitação das tecnologias de automação vinculadas à base técnica eletromecânica era a grande rigidez que as mesmas impunham ao processo produtivo, pois sua viabilidade econômica era condicionada pelo tamanho das escalas de produção e pela necessidade de

¹ Sobre o desenvolvimento da maquinaria na Revolução Industrial inglesa, ver Mantoux (s. d.) e o capítulo Maquinaria e Grande Indústria de Marx (1984).

uma certa invariância dos tipos de mercadorias fabricadas. Assim, a esse respeito, já destacava um trabalho dos anos 50:

“Uma das principais desvantagens técnico-comerciais é que a automatização da maquinaria na maioria das indústrias é viável somente para a produção em grandes séries. Devido ao alto custo de sua instalação e ajustamento, não é factível comercialmente recorrer a equipamentos automáticos, a menos que exista uma possibilidade de produzir em massa o mesmo produto por um longo período... O risco de mudança nos gostos, necessitando um ajustamento da maquinaria logo após a sua instalação, desencoraja as gerências a introduzirem a automação” (EINZIG *apud* KAPLINSKY, 1984, p.69).²

A partir do início dos anos 70, esse paradigma tecno-econômico entrou em crise, sendo muitos os sinais do seu esgotamento (PEREZ, 1985; CORIAT, 1992). Aqui interessa destacar que alguns aspectos que caracterizarão as novas normas de concorrência intercapitalista irão colocar em evidência os limites das tecnologias de automação rígida enquanto um elemento fundamental para a determinação do desempenho competitivo de firmas e indústrias. Assim, o aumento da instabilidade econômica e da volatilidade dos mercados colocaram em questão a exclusividade das economias de escala como elemento definidor do desempenho competitivo de firmas e indústrias, passando também a terem peso crescente aspectos relacionados às economias de escopo e à capacidade de resposta à demanda (PIORE; SABEL, 1984; CORIAT, 1988). Pelo menos no que se refere às indústrias que estavam mais claramente associadas com a produção em massa — cujo exemplo clássico, uma vez mais, é o da produção de automóveis —, as tecnologias de automação rígida tinham pouco a oferecer, pois apresentavam certo grau de inconsistência com os elementos que estavam contidos nas novas normas de concorrência.

Para a superação das limitações apresentadas pelas tecnologias de automação rígida em face da afirmação das novas normas de concorrência contribuiu o processo de constituição de uma nova base técnica nas economias capitalistas desde meados dos anos 70 (PEREZ, 1985; CORIAT, 1992). Tal processo está associado às inovações, ao dinamismo e ao crescimento da indústria eletrônica nas últimas décadas. Estas, ao viabilizarem o desenvolvi-

² Essa citação foi livremente traduzida do original em inglês pelo autor deste trabalho. Tal observação é válida para as demais citações de trabalhos publicados no Exterior e que constam neste artigo.

mento da microeletrônica e, particularmente, de microprocessadores (*chips*), permitiram que se reduzisse sensivelmente o custo de processamento e armazenamento de informações. Esses aspectos contribuíram para que aumentasse o ritmo de difusão das tecnologias oriundas da indústria eletrônica para toda a estrutura produtiva, bem como para a gestação de novas formas de automação com atributos diferenciados daqueles da automação rígida (EDQUIST; JACOBSSON, 1988; TAUILE, 1988; ARCANGELI; DOSI; MOGGI, 1991; CIBORRA, 1993).

De acordo com Perez (1985, p.454), a microeletrônica constitui-se no fator-chave do novo paradigma tecno-econômico por reunir os seguintes atributos: preço relativo baixo e descendente; oferta aparentemente ilimitada; potencial para influenciar de forma ampla toda a estrutura produtiva; e uma capacidade reconhecida, em face de um conjunto inter-relacionado de inovações técnicas e organizacionais, para reduzir os custos e alterar a qualidade do capital, do trabalho e dos produtos. Nesses termos, a microeletrônica ocuparia no presente paradigma tecno-econômico uma posição semelhante àquela do petróleo e da petroquímica no paradigma da produção em massa do Pós-Segunda Guerra Mundial.

No que se refere às novas formas de automação, estas vêm sendo viabilizadas pela microeletrônica através da incorporação de microprocessadores à estrutura física dos equipamentos (CORIAT, 1988, 1989). Esse fato permitiu que ocorresse, pode-se assim dizer, uma mudança na "inteligência" das máquinas, tornando-se possível programá-las e reprogramá-las para diferentes seqüências de operações industriais (PEREZ, 1985, p.445). É a transição da automação de base eletromecânica para a microeletrônica que está propiciando, em certa medida, um salto qualitativo de um sistema de produção rígido para outro de natureza mais flexível.

De certa forma, as restrições impostas pela rigidez da base técnica anterior foram respondidas através do avanço do progresso técnico, desde os anos 70, com a microeletrônica, oportunizando que se utilizassem reservas de produtividade até então não exploradas (CORIAT, 1988, p.29). Assim, a automação de base microeletrônica tem uma série de implicações relevantes para o desempenho competitivo das firmas, permitindo que alguns problemas historicamente existentes na produção industrial pudessem ser enfrentados adequadamente.

No Quadro 1, foram compilados diversos problemas encontrados na produção em série (*batch manufacturing*) que a automação flexível contribui para resolver ou minorar. Para uma leitura desse quadro, deve-se enfatizar, uma vez mais, que, notadamente na base técnica eletromecânica, existe um *trade-off* entre o tamanho das séries (ou lotes) e a variedade dos produtos que é factível manufaturar com uma dada tecnologia; assim, um aumento do volume de produção implica uma redução na variedade de produtos que podem ser fabricados e vice-versa.

Quadro 1

Problemas associados à produção em série

- Baixa utilização das máquinas devido aos tempos de *set-up*.
- Níveis elevados de estoques de matérias-primas, de produtos em processo e bens finais.
- Grandes *lead times* de produção.
- Problemas para introduzir novos produtos.
- Performance precária de entrega.
- Controle de qualidade precário.
- Elevados níveis de refugo.

FONTE: BESSANT, J., HAYWOOD, B. (1988). Islands, archipelagoes and continents: progress on the road to computer-integrated manufacturing. **Research Policy**. Amsterdã : North Holland, v.17, p. 351.

No que se refere aos equipamentos de automação industrial de base microeletrônica que permitiram dar esse salto de qualidade em termos de capacidade produtiva, dentre os mesmos podem-se destacar: o controle numérico/controlador numérico computadorizado (CN/CNC); o controlador lógico-programável (CLP); os robôs; e o projeto auxiliado por computador (*computer aided design* – CAD).³

Controle numérico/controlador numérico computadorizado - de acordo com Kaplinsky (1984, p.61), os principais progressos, na segunda metade do século XX, que estão viabilizando a difusão da automação na esfera de manufatura se inserem no domínio dos instrumentos de controle. Conforme esse autor, foi através do desenvolvimento da tecnologia de CN que ocorreu, contemporaneamente, o processo de automação nessa esfera produtiva. Assim,

“Em 1952, o Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) exibiu seu primeiro modelo de uma máquina-ferramenta de controle numérico. Este foi continuamente desenvolvido até que, em 1960, máquinas

³ Uma análise bastante completa de equipamentos de automação industrial pode ser conhecida em Sima (1995).

ponto-a-ponto estavam disponíveis para uma grande gama de usos, freqüentemente incluindo instrumentos automáticos de mudança de ferramentas. O ano de 1959 viu a primeira introdução da eletrônica no sistema de controle, e este veio a rapidamente suplantando os sistemas mais velhos baseados em válvulas" (KAPLINSKY, 1984, p.62).

Para o desenvolvimento do CN, é necessário criar um programa que permita a definição, por uma rota abstrata, das tarefas da máquina, a qual independa da intervenção de um trabalhador. A partir daí, o usuário deve aplicar essa linguagem abstrata de operar máquinas para definir suas necessidades (KAPLINSKY, 1984, p.62).

Outro aspecto importante para o desenvolvimento do CN foi a constituição de uma linguagem unificada de *software* por volta de 1960, ainda que mais de 40 variantes estivessem em desenvolvimento (KAPLINSKY, 1984, p.63). A variante que se tornou dominante denomina-se Ferramentas Programadas Automaticamente (Automatically Programmed Tools — APT) e foi também criada pelo MIT entre 1965 e 1969, com um posterior aperfeiçoamento pelo Instituto de Pesquisas de Illinois.

A tecnologia de CN começou a se difundir a partir da década de 70, quando se tornaram disponíveis microprocessadores cujos custos e preços eram mais acessíveis (BESSANT, 1991, p.88). Nesse contexto, foi desenvolvido o CNC propriamente dito; em termos de avanço tecnológico, este representou a possibilidade de integração de funções nas máquinas-ferramentas, como, por exemplo, as de mudanças de ferramentas e de manipulação de partes.

Em face desses aspectos, o CN vem sendo crescentemente utilizado na esfera de manufatura. Por exemplo, nos instrumentos de controle necessários ao *set-up* da seqüência de operações tanto de máquinas individuais como de toda a linha de produção, a difusão dos sistemas eletrônicos está avançando no sentido de tornar os eletromecânicos obsoletos; semelhantemente, nas atividades de inspeção — com certa ênfase na própria indústria eletrônica —, estão sendo introduzidos equipamentos de testes automáticos que operam de acordo com a lógica do CN (KAPLINSKY, 1984, p.63).

Controlador lógico-programável - é um equipamento desenvolvido com o objetivo de controlar processos industriais, podendo ser utilizado tanto em indústrias de processo contínuo como naquelas que operam com produção em série. De acordo com a Associação Americana de Fabricantes de Eletrônica (AAFE), o CLP é definido como

"(...) [uma] aparelhagem eletrônica digital com memória programável capaz de armazenar instruções que realizem funções específicas como

lógica, sequência, temporização, contagem e cálculos aritméticos para o controle de máquinas e processos" (AAFE *apud* DINA, 1987, p.84).

Assim, o CLP pode ser entendido como um equipamento que examina os diferentes tipos de sinais oriundos de sensores acoplados em uma máquina e/ou instalação e, de acordo com o programa que está sendo utilizado, coloca em funcionamento os instrumentos de comando da mesma (DINA, 1987, p.84, 85). O CLP depende dos seguintes componentes para ser colocado em funcionamento: uma unidade central de processamento; uma memória para o programa; os módulos com os sinais de entrada e saída; uma fonte de alimentação; e um dispositivo de programação, incluindo monitor de vídeo e teclado (DINA, 1987, p.85).

Comparados com os equipamentos eletromecânicos de relés para controle de máquinas, os CLPs apresentam inúmeras vantagens: ocupam menos espaço, são mais seguros e, acima de tudo, possuem a qualidade de poderem ser reprogramados sem a necessidade de mudança em sua própria estrutura física (DINA, 1987, p.85). Esse conjunto de aspectos, sem dúvida alguma, contribuiu para que ocorresse um aumento da intensidade de sua difusão desde os anos 70.

Robôs - embora não exista unanimidade em sua definição, os critérios utilizados pela Associação de Robótica Industrial do Japão são bastante úteis (CORIAT, 1989, p.40). A classificação da associação japonesa envolve cinco diferentes tipos de robôs, os quais apresentam complexidade tecnológica crescente: manipuladores, robôs sequenciais, robôs com aprendizagem, robôs com CN e robôs inteligentes. É necessário ressaltar, todavia, que esse esquema classificatório é considerado muito abrangente, pois inclui, na definição de robô, os manipuladores, o que é um tanto discutível (CORIAT, 1989, p.41).

De acordo com Coriat (1989, p.41), o robô pode ser desagregado em dois conjuntos de técnicas: o primeiro, envolvendo suas partes mecânica, hidráulica e elétrica, reúne as funções de movimento e manipulação; o segundo, englobando as partes eletrônica e de informática, abrange as funções de tratamento de informações e, portanto, de comando de suas ferramentas. Se as técnicas associadas ao movimento e/ou manipulação podem ser consideradas fundamentais para o funcionamento dos robôs, para o desenvolvimento desse tipo de equipamento de automação industrial tem sido decisiva a incorporação da eletrônica e da informática. Tanto a eletrônica como a informática contribuíram para que esses equipamentos avançassem em termos de captação do comportamento de variáveis físico-químicas e de sua conversão em sinais elétricos por meio de sensores, por um lado; por outro, o tratamento das informações e a sua transmissão para as ferramentas têm se desenvolvido pela incorporação de microprocessadores à estrutura mecânica, os quais tornam viável a tomada de

decisão e o comando dos equipamentos (CORIAT, 1989, p.42).⁴ Conforme as suas funções, os robôs podem ser agrupados da seguinte forma: transferência, montagem e projeção (CORIAT, 1989, p.44-47). Os robôs de transferência — também denominados *pick and place* — são utilizados, basicamente, para deslocar peças entre diferentes postos de trabalho, adaptando-se muito bem a operações simples e repetitivas; os robôs de montagem, pelo fato de possuírem ferramentas, têm o atributo de poder modificar as peças, estando muito adaptados à produção em grande escala; por último, os robôs de projeção — ou de trajetória contínua — executam operações que se distribuem de maneira contínua sobre um determinado objeto (por exemplo, o processo de pintura de parte de um automóvel através da utilização de uma pistola), sendo seus modelos mais avançados dotados de sensores que permitem modificações na trajetória de seus movimentos. É para o desenvolvimento desta última modalidade de robôs que a incorporação da microeletrônica tem contribuído, tornando esse tipo de equipamento mais flexível.

Projeto auxiliado por computador - foi através da reunião de três grupos de tecnologias de base eletrônica nos anos 70 — os minicomputadores, as mesas digitalizadoras e os monitores de vídeo — que o seu desenvolvimento se tornou factível (KAPLINSKY, 1984, p.44). Em termos de *hardware*, o CAD utiliza os seguintes equipamentos: um computador — a unidade central de processamento —, que controla o processamento, empreende os trabalhos aritméticos necessários e armazena as informações; a mesa digitalizadora, que converte os projetos em coordenadas numéricas; e um monitor, o qual permite ao projetista observar o projeto e proceder às alterações necessárias (KAPLINSKY, 1984, p.45).

No que diz respeito ao *software*, os requerimentos demandados pelo CAD podem ser assim resumidos: um sistema operacional, que especifica a rota na qual o computador executa as suas tarefas, e um *software* básico de gráficos, que tenha a capacidade de projetar linhas, círculos, arcos, retângulos, etc. sobre a tela (KAPLINSKY, 1984, p.46). Adicionalmente, a utilização do CAD para projetar requer *softwares* aplicativos mais complexos, para os quais já existe uma grande variedade de modelos.

⁴ Como destaca Coriat (1989, p.43), vários desses aspectos — principalmente aqueles ligados aos sensores — ainda se encontram em um estágio inicial de desenvolvimento tecnológico.

2 - Os principais atributos da automação de base microeletrônica: flexibilidade e integração

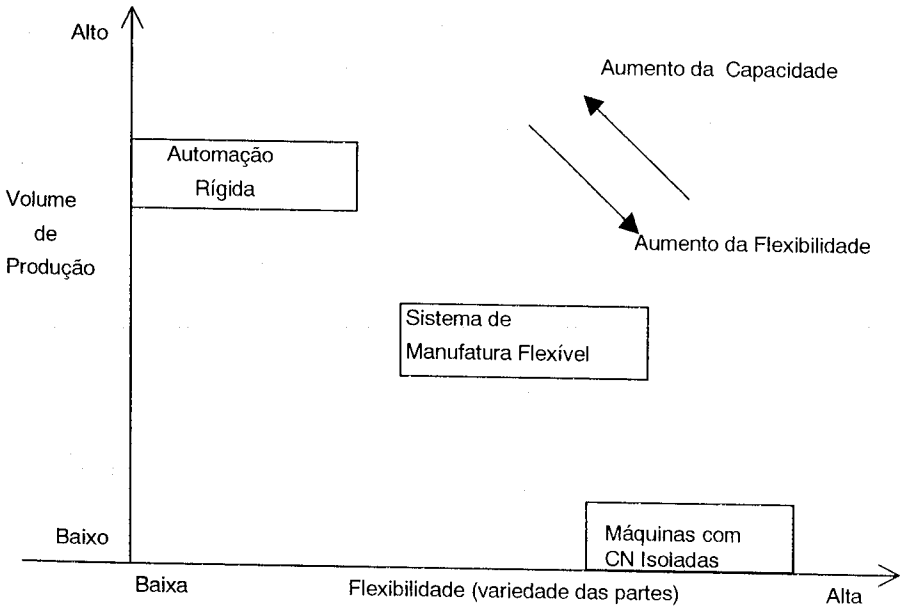
Como foi possível perceber na seção anterior deste trabalho, a automação industrial de base microeletrônica apresenta atributos qualitativamente distintos das formas de automação vinculadas à base técnica eletromecânica. A incorporação da microeletrônica e da informática aos novos equipamentos, tornando-os programáveis, permitiu que uma série de avanços fossem obtidos em termos de produtividade, qualidade e escopo.

O primeiro atributo claramente destacável das novas formas de automação está associado à **flexibilidade** que estas proporcionam em vários aspectos nas diferentes esferas organizacionais no interior de uma firma (BESSANT, HAYWOOD, 1988; BESSANT, 1991; CAINARCA, COLOMBO, MARIOTTI, 1989; 1993; CAULLIRAUX, 1990; CIBORRA, 1993; CORIAT, 1988; 1989; KAPLINSKY, 1984; MILGROM, ROBERTS, 1990; RUSH, BESSANT, 1992; VICKERY, 1989). Esse atributo passou a ter muita relevância a partir dos anos 70, em face de o aumento da instabilidade e da incerteza nos mercados ter alterado sensivelmente as normas de concorrência intercapitalista, fazendo com que a flexibilidade passasse a se constituir em um aspecto crucial na determinação da competitividade de firmas e indústrias (PIORE, SABEL, 1984; CORIAT, 1992).

Nesse sentido, as novas tecnologias de automação contribuíram para que fossem alargados os limites produtivos anteriormente determinados pela base técnica eletromecânica. Em termos comparativos, a Figura 1 permite que se elabore mais detalhadamente essa observação, ao fazer um contraponto entre as diversas formas de automação, volume de produção e variedade de partes fabricadas. Conforme se pode nela constatar, a automação rígida combina-se com mais consistência com grandes volumes de produção e com pequena variedade de partes fabricadas, sendo incompatível com volumes de produção médios ou pequenos; por sua vez, as novas formas de automação coadunam-se mais satisfatoriamente com volumes médios ou pequenos de produção e com graus médios ou elevados de variedade. É em função desses aspectos que a automação industrial de base microeletrônica tornou factível que se avançasse sobre os limites tecno-econômicos anteriormente impostos pelas formas clássicas de automação, indo ao encontro dos elementos nucleares das novas normas de concorrência.

Figura 1

Campos de aplicação das várias formas de automação



FONTE: Adaptado de: CIBORRA, C. (1993). Technological change in the work place. In: INTERNATIONAL LABOUR OFFICE. **On business and work**. Genebra : ILO. p.86.

Quanto às diferentes formas de flexibilidade para a qual contribui a automação de base microeletrônica, existem diversos critérios para elaborá-las para posterior aplicação no estudo de seus impactos tecno-econômicos. As tipologias propostas por Bessant (1991) e Coriat (1988) são bastante sugestivas, sendo ambas apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2

Principais tipos de flexibilidade associados à automação
de base microeletrônica

BESSANT

Flexibilidade de produto - a habilidade para introduzir e produzir novos produtos e serviços, ou para modificar os existentes. Nesse contexto, a flexibilidade de alcance refere-se ao alcance dos produtos ou serviços que a empresa está apta a produzir, enquanto a flexibilidade de resposta se refere ao tempo necessário para desenvolver ou modificar o produto e o processo para iniciar a nova produção.

Flexibilidade de combinação - a habilidade para mudar a combinação de produtos ou serviços que estão sendo feitos. Aqui, a flexibilidade de alcance refere-se ao espectro de produtos que a companhia pode produzir dentro de um dado período de tempo, enquanto a flexibilidade de resposta diz respeito ao tempo necessário para ajustar a combinação de produtos que estão sendo feitos.

Flexibilidade de volume - a habilidade para mudar o volume de produto agregado. Aqui a flexibilidade de alcance refere-se ao nível absoluto de produto que a companhia pode obter para uma dada combinação, enquanto a flexibilidade de resposta se refere ao tempo tomado para mudar o nível de produto.

CORIAT

Flexibilidade de mix de produtos - refere-se à possibilidade de fabricar simultaneamente um conjunto de produtos com características de base comum.

Flexibilidade de processo - diz respeito à possibilidade de acrescentar ou suprimir uma peça do processo.

Flexibilidade de mudança de projeto - capacidade de modificar rapidamente o processo para mudar as características a serem dadas a uma peça.

Flexibilidade de volume - capacidade do sistema de adaptar-se às flutuações de volume de produção de uma peça, modificando os ritmos e os tempos de transição e ocupação das ferramentas.

Flexibilidade de rotação - dada uma situação de máquina bloqueada, em pane ou saturada, o sistema automaticamente tem a capacidade de redirecionar uma peça para uma máquina e um espaço de trabalho livres e prontos para serem acionados.

FONTE: Adaptado de: BESSANT, J. (1991). **Managing advanced manufacturing technology**: the challenge of the fifth wave. Oxford : NCC Blackwell. p.81, 82.

CORIAT, B. (1988). Automação programável: novas formas e conceitos de organização da produção. In: SCHMITZ, H., CARVALHO, R., orgs. **Automação, competitividade e trabalho**: a experiência internacional. São Paulo : Hucitec. p. 88).

Conforme se pode observar no Quadro 2, existe semelhança entre as tipologias de Bessant e Coriat no que se refere à flexibilidade de combinação (ou *mix*) e à flexibilidade de volume; por sua vez, a flexibilidade de produto de Bessant — na acepção de *response flexibility* — aproxima-se da flexibilidade de mudança de projeto de Coriat; as demais formas de flexibilidade são próprias a cada um dos autores. Assim, chega-se a uma gama de diferentes tipos de flexibilidade, tendo por base o esquema proposto pelos autores para sua análise.

Um aspecto a ressaltar com relação ao Quadro 2 diz respeito às noções de flexibilidade de alcance (*range flexibility*) e de flexibilidade de resposta (*response flexibility*) utilizadas por Bessant (1991, p.81).⁵ A primeira refere-se à série de modificações que podem ocorrer no processo de produção — por exemplo, a planta **A** é mais flexível do que a planta **B**, caso ela possa fazer um número maior de diferentes tipos de produtos, produzir em diferentes níveis de utilização de capacidade ou reagir melhor a diferentes demandas de entrega. A segunda noção de flexibilidade diz respeito à facilidade com que a mudança pode ser realizada no que se refere a custos, tempo e transformações em uma empresa.

Segundo Bessant (1991, p.81), a flexibilidade de resposta está mais associada a elementos de curto prazo da conduta da firma, como os meios que ela diretamente utiliza para promover a flexibilidade em um mercado ou de um produto particular. Por sua vez, a flexibilidade de alcance está mais vinculada a elementos de longo prazo da conduta da firma, como as decisões de investir em equipamentos, trabalho e organização da produção. É também destacada a existência de uma espécie de *trade-off* entre essas duas formas de flexibilidade, na medida em que o aumento de uma delas pode reduzir a outra.

"(...) uma planta pode investir em uma cara manufatura flexível, que dá a ela flexibilidade de resposta na medida em que o investimento é projetado para permitir uma rápida mudança de produtos. Todavia ele é projetado somente para trabalhar circunscrito a uma família de produtos, o que efetivamente restringe a flexibilidade de alcance. Em termos de um amplo *portfolio* de produtos, o investimento pode mesmo tornar a firma menos flexível, porque o alcance geral da flexibilidade é reduzido." (BESSANT, 1991, p.81).

⁵ Conforme Bessant (1991, p.81) explicita, as noções de flexibilidade de alcance e de flexibilidade de resposta foram originalmente concebidas por Slack, N. (1987). Flexibility of manufacturing systems. **International Journal of Operations and Production Management**, v.7, n.4, p.35-45. Esse trabalho não consta da bibliografia do presente artigo por não ter sido diretamente utilizado na sua elaboração.

Esses diferentes tipos de flexibilidade associados à automação de base microeletrônica têm sido fundamentais para que as firmas possam enfrentar os desafios colocados pelos novos parâmetros presentes nos processos competitivos. A possibilidade de programação aberta pelos novos equipamentos tornou justificáveis investimentos que, sob condições de maior incerteza e de instabilidade da demanda observadas desde os anos 70, não teriam sido factíveis quando referidos à automação de base eletromecânica. O atributo da flexibilidade das novas formas de automação contribuiu para que esse fluxo de investimentos em capital fixo se tornasse não só economicamente viável, mas também relevante para que as firmas pudessem ter em sua conduta uma maior aderência aos aspectos centrais contidos nas novas normas de concorrência, quais sejam, as economias de escopo, a possibilidade de produzir de forma customizada, de ocupar nichos de mercado e de responder mais rapidamente à demanda.

Conforme Coriat (1992, p. 126-128), a flexibilidade associada às novas formas de automação permite que se gestem vantagens dinâmicas quando de sua adoção. Tais vantagens dinâmicas estão relacionadas com a possibilidade colocada pelas novas tecnologias de ajustamento do ciclo de vida dos produtos, com isso favorecendo uma renovação mais rápida dos modelos sem necessariamente requerer novos investimentos, o que não era factível quando se utilizavam máquinas dedicadas. Assim, torna-se possível uma economia de capital fixo, sendo a magnitude da mesma dimensionada pelo quanto as máquinas podem ser recicladas, pelo seu ritmo de obsolescência e pela alteração nos modelos.

Esses aspectos são particularmente relevantes em um ambiente no qual o aumento da incerteza sobre o comportamento dos mercados, bem como quanto à duração do ciclo de vida dos produtos, fragiliza a posição de uma firma que decida investir em equipamentos dedicados (CORIAT, 1992, p. 13-136). Em tal contexto, a flexibilidade das novas tecnologias proporciona às firmas, no decorrer do tempo, mudanças em termos tanto do processo produtivo quanto da variedade de produtos, o que se consubstancia em uma superioridade econômica em relação às antigas formas de automação. Adicionalmente, essas economias podem ser reforçadas ao longo do tempo, na medida em que houver, por parte das firmas, um processo de aprendizado para a mudança, o qual é estimulado pelo caráter programável da automação de base microeletrônica.

O segundo atributo de grande relevância da automação industrial de base microeletrônica é a possibilidade de **integração** das diferentes etapas do processo de produção e das esferas organizacionais de uma firma (KAPLINSKY, 1984; PEREZ, 1985; BESSANT, HAYWOOD, 1988; CORIAT, 1988; TAUILE,

1988; BESSANT, 1991; RUSH, BESSANT, 1992; FJERMESTAD, CHAKRABARTI, 1993; COLOMBO, MOSCONI, 1995). No que se refere especificamente ao âmbito da produção, os objetivos centrais da integração são os de buscar uma redução nas porosidades do processo de trabalho, uma elevação do grau de utilização dos equipamentos e uma melhor gestão da circulação de matérias-primas e insumos. Conforme argumenta Coriat (1988, p.27),

“A tendência de uma integração mais intensa das seqüências e das operações de produção nasceu diretamente dos princípios de economia de tempo taylorista e fordista. Trata-se de eliminar, ao máximo, os ‘tempos mortos’ de produção, reduzindo os tempos gerais de circulação (alimentação-transferência) e buscando elevar, numa mesma fração de hora, os tempos de ocupação efetiva da maquinaria, dos manipuladores, ou dos homens para o segmento de tarefas não automatizadas”.

Ao elaborar os efeitos da integração sobre o grau de utilização da maquinaria — ou seja, do capital fixo —, Coriat (1988, p.28) procura destacar os avanços por ela suscitados sobre o que ele designa de “tempos ocultos” (ou improdutivos). Assim, esse autor argumenta que inovações ligadas à utilização de sistemas de carregamento automatizados e à programação das máquinas permitem que uma ou mais operações venham a ser executadas ao mesmo tempo, o que não era factível até então, reduzindo o intervalo de tempo entre a mudança, o posicionamento e a operação das máquinas. É nesse sentido que a integração estaria representando uma inflexão na lógica taylorista de racionalização produtiva, uma vez que procura se valer muito mais de uma intensificação da utilização do capital fixo do que do ritmo de trabalho.

Vale a pena destacar essa possibilidade aberta pela automação flexível de redução dos custos unitários de capital através da intensificação da utilização dos equipamentos, principalmente no que se refere à produção de séries pequenas ou médias (KAPLINSKY, 1984, p.74, 75). Isso é favorecido, basicamente, pelo seguinte conjunto de fatores: (a) na medida em que os trabalhadores são poupados de tarefas perigosas, o ritmo de produção pode ser aumentado significativamente; (b) com a incorporação de sistemas de carregamento automatizados, muitas firmas se tornam aptas a utilizarem os equipamentos no segundo e no terceiro turno de trabalho, aumentando o seu grau de utilização; (c) os gastos com capital de giro — fundamentalmente, com matérias-primas — podem ser sensivelmente reduzidos pela utilização de sistemas de controle, e a constituição de células de manufatura flexíveis — ainda que seja este um aspecto mais relacionado com a mudança organizacional — também permite uma significativa redução nos estoques em processo.

Justamente a respeito deste último aspecto, Coriat (1988, p.30) argumenta que o outro efeito distintivo da integração se associa à economia nos fluxos de circulação de materiais e insumos no processo produtivo. Assim, por meio dos recursos da informática e de sistemas de controle, podem ser conectados os postos de trabalho e o setor fornecedor de peças e insumos em uma firma, tornando viável racionalizar o sistema de abastecimento segundo as necessidades dos demandantes em cada fase do processo fabril. Nesse caso, o principal efeito da integração, ao propiciar uma melhoria no fluxo de materiais e uma redução dos estoques em processo, é o de permitir avanços em termos de economia de capital circulante. Como enfatiza Coriat (1988, p.31), aqui se pode identificar, por um lado, uma continuidade com a racionalidade fordista de aumentar o encadeamento das diversas etapas do processo produtivo por meio de sistemas de carregamento automatizados; todavia, por outro lado, pode-se também perceber uma ruptura com essa mesma lógica, na medida em que se procura obter tais melhorias principalmente através da gestão dos fluxos de materiais — ou seja, do capital circulante — e não por meio da intensificação do ritmo de trabalho.

Como uma ilustração empírica dos efeitos da automação flexível sobre alguns dos aspectos acima arrolados, os resultados compilados pelo estudo de Bessant (1991, p.106, 107) são bastante sugestivos. Assim, para uma amostra de 50 firmas no Reino Unido utilizando sistemas de manufatura flexível, observou-se, em média, uma redução de 74% em *lead times*, de 60% dos estoques em processo e um aumento de 54% no grau de utilização dos equipamentos; na Suécia, para uma amostra de 20 firmas que utilizavam sistemas de manufatura flexível, alcançou-se, em média, uma redução de 69% em *lead times*, de 60% dos estoques em processo e um aumento de 64% no grau de utilização dos equipamentos. Em outra pesquisa na Alemanha, por sua vez, em uma amostra de 60 firmas também utilizando sistemas de manufatura flexível, constatou-se que 57% delas obtiveram redução em *lead times*, 30% conseguiram aumento na variedade de produtos e 57% obtiveram redução no *downtime* das máquinas.

Retomando o tratamento analítico da integração, podem ser identificados quatro estágios de incorporação dos computadores em uma firma associados a graus crescentes de integração, conforme sugerido por Kaplinsky (1984, p.99, 100). O primeiro tem por objetivo resolver problemas específicos ou suprir determinado departamento de uma informação particular; nesse caso, ainda que a nova tecnologia seja superior à sua antecessora, o caráter de sua incorporação mostra-se limitado na medida em que é pontual — freqüentemente, o que se necessita são informações combinadas e não isoladas de várias atividades. Quanto ao segundo estágio, este caracteriza-se pelo fato de que as informa-

ções podem ser armazenadas em uma base de dados centralizada; ainda que isso proporcione melhorias, suscita problemas relacionados com a atualização dos dados para diferentes usuários, bem como pelo fato de que nem todos os dados são de uso comum para todos, o que deteriora a qualidade e o acesso às informações. O terceiro estágio, baseado em sistemas interativos de minicomputadores, permite a difusão de formas mais simples de automação no interior de uma mesma esfera de atividade; aqui, embora se torne factível eliminar inconsistências e pôr as informações à disposição de vários usuários situados nesse mesmo âmbito, ainda se está algo distante dos benefícios que poderiam ser proporcionados pela automação que integrasse as diferentes esferas de uma firma (coordenação, projeto e manufatura). Para se atingir o quarto — e ainda virtual — estágio do processo de integração, seria necessário, portanto, avançar e reconhecer a firma como um sistema unificado, e não como um somatório de atividades separadas.

Mesmo sem trabalhar em termos prospectivos, Rush e Bessant (1992, p.5) destacam, já no presente, as possibilidades abertas à integração pela utilização do CAD, na medida em que o mesmo torna viável a convergência de uma série de tarefas em projeto e desenho; associado a esse aspecto e não menos importante, o CAD permite que os desenhos possam ser atualizados automaticamente quando da realização de alterações nos parâmetros anteriormente empregados na sua elaboração, com uma economia sensível de tempo e trabalho. Por outro lado, Rush e Bessant (1992, p.5, 6) ressaltam que o CAD, ao utilizar informação codificada em uma linguagem eletrônica semelhante à das máquinas com CNC, torna factível a integração com a esfera de manufatura; nesse sentido, um projeto gerado por CAD também fornece as instruções para colocar em funcionamento uma máquina — em realidade, é desse tipo de integração que tratam os sistemas CAD/CAM (*computer aided design/computer aided manufacturing*).

Alguns exemplos de resultados obtidos com a integração foram compilados por Kaplinsky (1984, p.101-103), podendo ser assim resumidos: (a) no planejamento da produção, tendo sido estabelecida uma base de dados unificada em termos de CAD, foi possível que a mesma fosse acessada por inúmeros usuários, o que não apenas permitiu uma difusão mais ampla da informação na firma, como também proporcionou um aumento na rapidez da elaboração da versão final dos desenhos — inclusive, reduzindo a necessidade de realização de várias versões preliminares e incompletas dos mesmos —; (b) no que se refere à economia de peças e materiais, uma firma obteve, através da otimização do projeto, uma redução de 50% no número de partes de uma máquina, outra firma conseguiu, com a utilização do CAD, uma redução de 50% no consumo

da prata, em um processo de produção em que essa matéria-prima correspondia a 30% dos custos diretos, e, por último, um usuário de placas de metal obteve, uma vez mais com o CAD, uma redução de 40% para 26% em suas perdas, o que equivalia à sua despesa anual total com salários; e (c) várias firmas identificaram, com a utilização do CAD, uma redução na necessidade e nos custos de fabricação de protótipos — por exemplo, uma firma incorreu em uma despesa de US\$ 100 mil na construção de um instrumento eletrônico para uma aeronave, o qual não coube em seu *cockpit*, tornando necessário um novo projeto, o que poderia ter sido evitado pela utilização de um CAD adequado desde o início do processo.

3 - As novas formas de automação e seus efeitos sobre as escalas: aspectos de uma controvérsia

Um aspecto que tem sido debatido com certa recorrência a respeito do impacto da adoção das novas tecnologias se relaciona com os seus possíveis efeitos sobre as escalas. Muito dessa discussão se originou do trabalho de Piore e Sabel (1984), em função desses autores terem identificado um regime econômico, denominado de especialização flexível e centrado na aglomeração de pequenas empresas, como uma possível alternativa para a superação da crise que atingiu as economias capitalistas desde os anos 70.⁶

Inicialmente, é necessário explicitar de que maneira aqui interferem as novas tecnologias. Piore e Sabel (1984, p.258-263) procuram demonstrar que as novas tecnologias se constituiriam em uma precondição para que a especialização flexível se tornasse viável como trajetória tecnológica. Assim, as novas formas de automação, na medida em que são programáveis e incorporam certo grau de flexibilidade aos equipamentos, tornam economicamente eficiente a produção em pequenas séries, o que não era factível sob a trajetória tecnológica anterior, associada à produção em massa. Em um ambiente econômico caracterizado por maior grau de volatilidade nos mercados a partir dos anos 70, esses atributos das novas tecnologias seriam elementos a favorecer as pequenas e médias empresas (PMEs) nos processos competitivos.

⁶ Deve-se ressaltar que Piore e Sabel (1984, p.265-268) tratam de quatro variantes de especialização flexível; portanto, a aglomeração de pequenas empresas é apenas uma das formas que a especialização flexível pode assumir.

Reforçando tal argumentação, Bessant (1991, p.85) chega a sugerir que a evolução industrial poderia demonstrar que o tradicional *trade-off* entre flexibilidade e eficiência na dimensão custos seria uma questão do passado. Segundo esse autor, a incorporação de novas tecnologias — bem como de novas formas de organização — propicia que “(...) o tradicional viés em favor das grandes firmas hábeis em explorar as economias de escala possa ser desafiado por pequenas firmas produzindo produtos especializados direcionados para nichos de mercado particulares (...)”. Nessa mesma linha de raciocínio, Kelley e Brooks (1991, p.109) destacam que a adoção da automação programável

“(...) tem sido aclamada como assinalando uma mudança fundamental no paradigma tecno-econômico que promete reduzir notavelmente as economias de escala que têm orientado (*driven*) o *design* e a organização da indústria desde o começo da revolução industrial”.

Tal argumentação também encontra respaldo nas observações contidas no trabalho de Dosi (1988, p.1153). De acordo com esse autor, o processo de transição da automação de base eletromecânica à microeletrônica teria como conseqüências um aumento da eficiência da produção em pequena escala, bem como uma provável redução da relevância das economias de escala relacionadas com o tamanho da planta. Isso estaria a representar uma ruptura com a trajetória tecnológica associada à base técnica eletromecânica, para a qual tinha uma grande importância a exploração sistemática das economias de escala e de padronização das mercadorias através da incorporação da automação rígida.

Por outro lado, no que se refere aos efeitos do comportamento da demanda sobre a estrutura industrial, o estudo de Mills e Schumann (1984) procura demonstrar, em termos teóricos, que existe uma tendência para que as firmas de menor porte se apropriem de uma maior parte das variações aleatórias na demanda comparativamente às grandes firmas. Isso deve-se a que as pequenas firmas utilizam tecnologias mais flexíveis, bem como à percepção de que elas têm maior capacidade de responder com rapidez às variações da demanda, com isso contra-arrestando a vantagem competitiva das grandes firmas em termos de custos obtida com as economias de escala.⁷

⁷ A evidência empírica do estudo de Mills e Schumann (1984) vai ao encontro da argumentação acima desenvolvida. Trabalhando com uma amostra de estabelecimentos industriais da economia norte-americana no período 1970-80, esses autores comprovam a idéia de que as pequenas firmas (estabelecimentos) se apropriam mais do que proporcionalmente das variações na demanda.

Em termos históricos, caberia, inicialmente, observar que alguns trabalhos identificaram, na passagem dos anos 70 para os 80, em diversas economias desenvolvidas, um aumento da participação das pequenas empresas na estrutura industrial (AUDRETSCH, 1994; CARLSSON, 1994; CARLSSON, AUDRETSCH, ACTS 1994; CLAY, CREIGH-TYDE, 1994; JULIEN, CARRIERE, 1994). Como foi nesse contexto que se iniciou a constituição da nova base técnica nessas economias, tal constatação poderia, em princípio, sugerir a validade da interpretação originada em Piore e Sabel (1984) a respeito do impacto das novas tecnologias sobre as escalas.

Todavia as questões suscitadas pelo trabalho de Piore e Sabel (1984) a respeito da relação entre novas tecnologias, escalas e PMEs necessitam ser trabalhadas em diferentes planos. A esse respeito, é particularmente interessante a sugestão apresentada por Alcorta (1994), que propôs que se desdobrasse a análise dos efeitos das novas tecnologias sobre as escalas em três dimensões: a do **produto**, a da **planta** e a da **firma**.

No que se refere às escalas em termos de **produto**, o argumento básico é o de que as novas tecnologias permitem uma mudança relativamente rápida da sequência de operações das máquinas por meio da programação, tornando viável uma maior diferenciação dos produtos, com redução de custos em uma série de itens — tempo de fabricação, estoques, transporte, etc. (ALCORTA, 1994, p.759). Em face desses aspectos, as novas tecnologias permitiriam uma redução do tamanho médio das escalas de produto.

A evidência coletada em vários estudos para diferentes indústrias respalda o argumento de que as novas tecnologias têm um efeito redutor sobre os tempos de *set-up* e de *downtime* das máquinas e, portanto, dos custos unitários de produção e do tamanho das escalas em termos de produto (ALCORTA, 1994, p.759-760). A respeito desses aspectos, diversos exemplos são ilustrativos dos efeitos das novas tecnologias: na indústria metalúrgica japonesa, algumas fábricas conseguiram reduzir o tempo de *set-up* de 1 hora a 1 hora e meia para poucos minutos, por meio da utilização de sistemas eletrônicos de paletes, os quais minoraram o *downtime* das máquinas. Na firma japonesa Toyota, entre os anos 70 e 80, os tempos de *set-up* para forja e fundição na seção de estamparia caíram de um intervalo entre 100 e 200 minutos para 10 minutos e de 60 minutos para quatro minutos, respectivamente, tendo havido no mesmo período uma redução do tamanho médio dos lotes de 5.000 para 500. Na indústria gráfica, os tempos de *set-up* de uma prensa mecânica reduziram-se de 45 minutos para 10 minutos, em face de um investimento em uma nova tecnologia, o qual representou um gasto que equivalia a um décimo da economia nos tempos de *set-up* no seu primeiro ano de utilização; ainda no que se refere à indústria gráfica, a

impressão de uma publicação requeria, no início dos anos 70, 10 mil exemplares de capa dura e 100 mil sob a forma de brochura, tendo essas quantidades se reduzido para algo próximo de 1.000 exemplares no final dos anos 80, com a incorporação das novas tecnologias (ALCORTA, 1994, p.759-760).

Quanto aos efeitos das novas tecnologias sobre as escalas em termos de tamanho das **plantas**, Alcorta (1994, p.760) sintetiza da seguinte forma os argumentos que têm sido elaborados a esse respeito: o primeiro aspecto está relacionado com a percepção de que níveis mais elevados de renda pessoal têm suscitado uma maior demanda por diferenciação dos produtos, fazendo com que plantas que possuam equipamentos dedicados tenham a possibilidade de conviver cronicamente com a subutilização de sua capacidade produtiva, o que termina por afetar a sua rentabilidade; noutro aspecto, em face de uma certa imprevisibilidade na duração dos ciclos de vida dos produtos no presente, é maior o risco de se investir em equipamentos especializados comparativamente aos flexíveis, pois as firmas não têm claro o horizonte temporal necessário para recuperar seus investimentos. Esses aspectos estariam a sugerir que, potencialmente, as novas tecnologias têm efeitos que conduzem à redução das escalas na dimensão ora analisada.

A evidência empírica produzida por algumas pesquisas estaria a corroborar essa conclusão (ALCORTA, 1994, p.760). Assim, estudos sobre a indústria metalúrgica dos Estados Unidos, do Reino Unido, da Alemanha Ocidental, da Itália e do Japão evidenciaram um aumento da participação das pequenas firmas no emprego total, bem como uma redução do tamanho médio das empresas em termos de emprego nessa indústria. Na medida em que a indústria metalúrgica tem apresentado uma utilização crescente de máquinas-ferramentas com CNC e de robôs, poder-se-ia concluir que as novas tecnologias têm um efeito redutor sobre as escalas em termos de tamanho das plantas.

Todavia o trabalho de Alcorta (1994, p.760-761) levanta algumas objeções a esse tipo de evidência. Assim, a introdução de tecnologias que sejam poupadoras de trabalho e que permitam uma elevação de sua produtividade pode implicar redução do tamanho médio das plantas em termos de emprego, mas não necessariamente no que diz respeito à sua capacidade produtiva. Por outro lado, mesmo que se aceitasse o emprego como um indicador satisfatório para mensurar o tamanho das plantas — o que é passível de questionamento —, a redução observada poderia não ser obrigatoriamente uma decorrência da incorporação de novas tecnologias, mas, sim, a resultante da externalização de algumas etapas dos processos produtivos sob a forma de subcontratação, bem como de fatores de natureza institucional.

Nesse sentido, é interessante a constatação que pode ser feita a partir da evidência empírica produzida pelo trabalho de Carlsson (1994, p.101, 102). Nesse

estudo, pode-se observar a evolução, entre o final dos anos 60 e primeiros anos da década de 80, do tamanho médio dos estabelecimentos industriais em termos de emprego e de produto nas economias da Bélgica, da Dinamarca, da Finlândia, da Alemanha, da Itália, do Japão, da Suécia, do Reino Unido e dos Estados Unidos. Excetuando-se a Suécia e a Alemanha, verifica-se nesses países, a partir da metade dos anos 70, uma redução do tamanho médio do estabelecimento industrial em termos de emprego; entretanto, e este é o aspecto a ser ressaltado, em termos de produto, percebe-se uma tendência à elevação do tamanho médio do estabelecimento industrial — excetuando-se o Reino Unido. Tal evidência contribui para mostrar as limitações de se trabalhar com dados que relacionam emprego e estrutura industrial para analisar os possíveis efeitos da adoção das novas formas de automação.

Os resultados empíricos dos estudos compilados por Alcorta (1994, p.761) vão no sentido de que as novas tecnologias têm um efeito ou neutro, ou de aumento das escalas em termos de tamanho da planta. Assim, na indústria automobilística, nos anos 70, a escala considerada satisfatória de uma planta era de 250 mil veículos/ano; ao longo dos anos 80, após a incorporação por essa indústria de uma série de novas tecnologias, como máquinas-ferramentas com CNC, sistemas CAD/CAM e robôs (isto sem mencionar inovações organizacionais, como, por exemplo, o *Just-in-Time*), uma planta tecnologicamente atualizada nos Estados Unidos ou na Europa tem, em média, uma capacidade produtiva que se situa no intervalo 250-300 mil veículos/ano. Por sua vez, na indústria de autopeças, um estudo sobre uma das fábricas da firma sueca Volvo constatou que, após a substituição de equipamentos convencionais por tornos com CNC, robôs e com a incorporação de sistemas de transporte automatizados (*automated guided vehicles* — AGVs) e de um computador central, houve uma redução de 54 para 41 no número total de máquinas, e o número de operários reduziu-se de 90 trabalhando em dois turnos para 40 trabalhando em três turnos; concomitantemente, a capacidade produtiva da fábrica foi aumentada em 33%. Já na indústria de bicicletas, observou-se uma tendência ao aumento das escalas: enquanto nos anos 70 era necessário que uma planta tivesse uma capacidade produtiva de 100 mil unidades/ano, nos anos 80 a escala mínima considerada eficiente estava próxima a 250 mil unidades/ano.

Em indústrias que produzem pequenas séries, a incorporação da automação de base microeletrônica abriu a oportunidade de integrar diferentes seqüências de operações e de manufaturar formas mais complexas (ALCORTA, 1994, p.761). Nesse caso, um estudo sobre pequenas firmas nas indústrias eletrônica, de instrumentos e de maquinaria no Reino Unido evidenciou que, entre os anos 70 e 80, houve uma tendência ao aumento ou à manutenção das escalas; isso

deveu-se ao fato de que as novas máquinas utilizadas nos processos produtivos possuíam maior capacidade e eram mais caras do que as antigas, implicando a necessidade de produzir mais para garantir a competitividade (ALCORTA, 1994, p.762).

Na dimensão em análise dos efeitos das novas tecnologias sobre as escalas, Alcorta (1994, p.762) ainda explora algumas relações a ela subjacentes em termos de custos. De acordo com esse autor, os estudos sobre a incorporação das novas tecnologias reconhecem, de modo geral, uma redução dos custos do trabalho para um dado nível de produto. Nesse sentido, observa-se uma diminuição do emprego em diversas áreas, como produção, manutenção, controle de qualidade e de atividades de escritório, na medida em que avança o processo de automação. Não obstante (e esse aspecto deve ser enfatizado), as reduções no custo do trabalho não são proporcionais às verificadas no emprego, pois os postos de trabalho que são mantidos demandam novas qualificações e atribuições, fazendo-se necessário gastos com treinamento e com contrapartidas salariais; dessa forma, um estudo da OECD (TECNOLOGY..., 1992, p. 107-109) identificou uma associação positiva entre a incorporação de novas tecnologias e os gastos com treinamento dos trabalhadores.

Quanto aos custos com a utilização de insumos, a evidência de uma série de estudos também sugere que estes são reduzidos (ALCORTA, 1994, p.762-763). Nesses termos, são constatadas reduções nas perdas devido à utilização mais eficiente dos recursos, e na rejeição dos produtos devido a problemas de qualidade, bem como são observadas economias em termos de estoques, espaço e energia (a respeito desses aspectos, ver, também, exemplos já elencados na seção 2 deste artigo).

Não obstante, outros tipos de custos, principalmente associados aos gastos com capital fixo, mostram elevação com a incorporação das novas tecnologias para um dado nível de produto (ALCORTA, 1994, p.763). Assim, por exemplo, um estudo identificou que o custo médio de uma máquina-ferramenta com CNC era entre 50% e 100% superior ao de uma máquina convencional passível de ser por ela substituída. Dessa forma, a incorporação das novas tecnologias sugere um esforço maior em termos de investimento.

Esta última constatação conduz Alcorta (1994, p.763) a argumentar que, em face de o aumento dos custos com capital fixo tender a mais do que compensar as economias alcançadas nos demais itens de custos, fica colocada para as firmas a necessidade de expandirem os níveis de produção e, com isso, obterem uma redução dos seus custos unitários. A evidência estaria a sugerir que essa é a maneira como elas estão procurando se ajustar ao aumento nos custos de capital fixo com a incorporação das novas tecnologias. Sintetizando

suas conclusões a respeito do efeito das novas tecnologias sobre as escalas em termos de tamanho das plantas, Alcorta (1994, p.763) argumenta que

“Em suma, as novas tecnologias parecem ser mais rápidas, eficientes e confiáveis, e podem estar aptas a operar por longas horas, expandindo, dessa forma, a capacidade. Além disso, por reduzirem os tempos de *set-up* e expandirem a variedade, as novas tecnologias admitem o aumento no produto total da planta mesmo após as economias de escopo reforçarem as economias de escala no nível da planta”.

No que se refere ao impacto das novas tecnologias sobre as escalas no âmbito da **firma**, diversos aspectos contidos no estudo de Alcorta (1994, p.763) estão a sugerir efeitos no sentido de aumentá-las. Isso decorre, basicamente, da percepção de que as novas formas de automação demandam maiores gastos em capacitação tecnológica e *marketing*, os quais, para serem amortizados, conduzem as firmas a uma elevação de suas escalas de produção.

Atendo-se aos custos com o desenvolvimento de novos produtos, o fato de as novas formas de automação terem reduzido os seus ciclos de vida faz com que se tornem necessários, por parte das firmas, esforços redobrados para acelerar o ritmo de sua criação, com isso minimizando a subutilização da capacidade produtiva (ALCORTA, 1994, p.763). Por outro lado, na medida em que a flexibilidade passa a se constituir em um parâmetro nuclear dos processos concorrenciais, o esforço permanente de renovação da pauta de produção das firmas torna-se um aspecto crucial para garantir suas posições nos mercados.

Quanto aos requerimentos em termos de tecnologia de processo, podem ser elencados diversos pontos para os quais as novas formas de automação demonstram exigências renovadas (ALCORTA, 1994, p.763-764). Os esforços podem ser localizados, por exemplo, no trabalho demandado para colocar em operação as novas tecnologias, o qual compreende iniciativas em termos de instalação dos novos equipamentos e de mudanças na própria organização da produção — nesse sentido, o processo de pré-instalação de um sistema de fabricação flexível pode requerer um trabalho de mais de um ano para minimizar futuras falhas e erros. São também demandados consideráveis esforços para a integração entre as esferas de projeto e manufatura, os quais exigem elevados investimentos por parte das firmas.

Tais observações parecem estar em consonância com os resultados do estudo de Kelley e Brooks (1991, p.120) sobre a adoção da automação programável na indústria de transformação norte-americana, nos anos de 1986 e 1987. Esses autores concluíram em sua pesquisa que as pequenas firmas têm

uma menor probabilidade de introduzir as novas tecnologias por carecerem de recursos internos apropriados, bem como em função de trabalharem com escalas cujo tamanho não torna factível a obtenção de sinergias derivadas do acesso a diferentes mercados e que se manifestam sob a forma de economias de escopo, as quais estão ao alcance das grandes firmas.

Por sua vez, o trabalho de Alcorta (1994, p.764) reconhece na indústria de máquinas-ferramentas, com a incorporação das novas tecnologias, um aumento dos custos com P&D e *marketing* associado a maiores escalas no âmbito da firma. Até a década de 70, as firmas dessa indústria operavam em bases locais ou regionais com volumes de produção considerados pequenos, estando o seu desenvolvimento tecnológico concentrado nas áreas de mecânica e metalurgia. Diferentemente, nas décadas de 80 e 90, as partes eletroeletrônicas ganharam peso crescente na estrutura de custos das firmas do setor, as quais, concomitantemente, se tornaram importantes usuárias de sistemas CAD/CAM, de máquinas-ferramentas com CNC e de sistemas de manufatura flexíveis.

De acordo com Alcorta (1994, p.764-765), diversos aspectos contribuem para o aumento das escalas na indústria de máquinas-ferramentas. Dentre esses, podem-se destacar: (a) a existência de economias de escala significativas em termos de projeto e produção das partes eletrônicas do *hardware* e do *software* para as unidades de CNC; (b) os produtores de máquinas-ferramentas freqüentemente são os primeiros a utilizarem suas próprias inovações, o que requer iniciativas em termos de adaptação e modificação dos produtos, as quais se expressam em um esforço intenso de aprendizagem enquanto usuários das novas tecnologias; e (c) na medida em que as novas tecnologias tornam factível aumentar a variedade de produtos, tem-se incorrido em maiores gastos e custos com *marketing* na indústria ora analisada.

Como decorrência desses argumentos a respeito do impacto das novas formas de automação no nível da firma, Alcorta (1994, p.765) conclui que

“Em resumo, a adoção das novas tecnologias pode criar algumas pressões para aumentar as escalas no nível da firma. Existem notáveis aumentos na produtividade dos recursos e nas economias de escopo, enquanto muito do pessoal de P&D, *marketing* e serviços pode ser usado para uma maior variedade de produtos. Mas esses ganhos têm sido acompanhados, particularmente nos casos onde tecnologias mais complexas e avançadas estão sendo usadas ou onde produtos e processos estão sendo radicalmente transformados ao mesmo tempo, pelo aumento dos custos fixos com P&D e *marketing*. No nível da planta, custos mais elevados implicam maiores volumes de produto para ser eficiente. Obter isso pode ser feito ou pelo aumento do produto

das plantas existentes, ou através da criação de outras plantas de tal forma que os custos sejam 'diluídos' sobre o produto agregado total".

É interessante cotejar essas conclusões com alguns aspectos desenvolvidos no trabalho de Coriat (1992), pois a abordagem desse autor permite, de modo geral, reforçar muitos pontos aqui apresentados a respeito dos efeitos das novas tecnologias sobre as escalas.⁸ Nesse sentido, o primeiro aspecto destacado por Coriat (1992, p.104, 105) é o de que o custo de aquisição e de manutenção das novas tecnologias é superior ao das tecnologias convencionais, sendo a economia de trabalho por elas propiciada insuficiente para contrabalançar o incremento dos custos de capital. Assim, a incorporação das novas tecnologias não deixaria de conduzir à necessidade de uma escala mínima de produção da parte de seus usuários para ser eficiente, a qual, em muitos casos, está fora de alcance para as pequenas firmas.⁹

Pode-se também destacar o contraponto elaborado por Coriat (1992, p.119-126) sobre a relação entre economias de escopo e de escala suscitada pela incorporação da automação flexível.¹⁰ Nesse sentido, ele procura demonstrar que as novas tecnologias propiciam às firmas, por meio das economias de escopo, uma produção mais variada, o que as torna, em alguma medida, multiprodutoras. Todavia essa percepção não o impede de avançar na idéia de que a estrutura de custos de uma firma que se vale das novas tecnologias está tão associada ao aumento do volume de produção — ou seja, às escalas — quanto à composição de seu produto — ou seja, ao escopo. Dessa forma, esse autor estaria, em realidade, sugerindo a hipótese de que as novas tecnologias indicam a existência de uma correlação positiva entre economias de escala e de escopo.

Caberia recuperar como Coriat (1992, p.146) trata as questões apresentadas no trabalho de Piore e Sabel no que se refere aos efeitos das novas formas de automação sobre as escalas. Inicialmente, deve-se ressaltar que Coriat reelabora a noção de especialização flexível, tornando-a mais restrita e a deno-

⁸ Essa comparação não deixa de ser interessante também pelo fato de o estudo de Alcorn (1994), extremamente completo, não fazer menção às contribuições de Coriat (1992) a respeito do tema.

⁹ A respeito das limitações que o porte das firmas coloca à incorporação das novas formas de automação, ver, também, as evidências contidas em Kelley e Brooks (1991, p.111-112) e Harrison (1994, p.53-74).

¹⁰ Sobre o conceito de economias de escopo, ver Panzar e Willig (1981) e Bailey e Friedlaender (1982). Em termos formais, reconhece-se que há economias de escopo quando é válida a desigualdade: $C(M1, M2) < C(M1, 0) + C(0, M2)$, a qual indica que o custo de produzir conjuntamente as mercadorias M1 e M2 por uma firma é inferior ao de produzi-las separadamente.

minando de princípio. Assim reelaborado, o princípio da especialização flexível pode ser sintetizado como estando assentado nas economias de escala e — mais importante — na procura sistemática de obtenção de economias de escopo, o que favorece o ajustamento com certa rapidez às variações da demanda e torna viável a uma firma de pequeno ou médio porte concorrer com uma grande firma que produz mercadorias homogêneas ou pouco diferenciadas com máquinas especializadas. É preciso ressaltar que a vantagem competitiva da pequena ou média firma que incorpora a automação flexível tem como condições de sua existência ciclos de vida razoavelmente curtos dos produtos ou demandas por produtos com certo grau de diferenciação, pois, do contrário, o estímulo à produção de grandes séries não seria inibido.

É nessa perspectiva que Coriat (1992, p. 151-153) procura desenvolver suas ressalvas críticas à especialização flexível. De acordo com esse autor, a hipótese nuclear da concepção de Piore e Sabel de especialização flexível — ainda que não explicitada — é a de que não há, no presente contexto histórico, produtos cuja demanda seja crescente e suficientemente estável para que as economias de escala tornem viável a dominância da produção em grandes volumes. A confirmação dessa hipótese, entretanto, é muito improvável, o que coloca limites à contribuição dos pesquisadores norte-americanos.

Nesse sentido, Coriat (1992, p. 153) procura destacar que a validade do princípio da especialização flexível está circunscrita a mercados de tamanho estável e cuja demanda tem sua composição em mudança constante. Caso essas condições não sejam verificadas simultaneamente, a produção de grandes séries continuaria a ser economicamente mais efetiva. Portanto, no âmbito microeconômico, pode-se reconhecer que existe espaço para que opere o princípio da especialização flexível, ainda que este seja limitado.¹¹ Dessa forma, Coriat (1992, p. 153) conduz sua argumentação no sentido de concluir que

“(...) parece razoável reter a existência do que temos decidido designar, de maneira restritiva, como princípio de especialização flexível. Este está efetivamente presente e é mobilizável em algumas configurações da concorrência, dos ciclos de vida dos produtos e das características da demanda”.

¹¹ A abordagem de Piore e Sabel (1984) também reúne elementos macroeconômicos, a ponto de esses autores fazerem referência à especialização flexível como uma alternativa de desenvolvimento à produção em massa. Todavia tais aspectos fogem do escopo das questões tratadas por este trabalho.

4 - Considerações finais

Neste artigo, foi feita uma caracterização sucinta das novas formas de automação associadas à base técnica microeletrônica. Conforme se procurou delinear, a automação de base microeletrônica possui atributos claramente distintos daquela de base eletromecânica. Tais atributos — fundamentalmente, a flexibilidade e a integração — têm permitido um salto qualitativo na produção capitalista neste último quarto do século XX. Assim, sua adoção tem se mostrado um elemento a condicionar o desempenho de firmas e indústrias nesse novo ambiente.

No que se refere à polêmica sobre os impactos da adoção da automação flexível sobre as escalas, foram apresentados argumentos e evidências que demonstram que se deve ter uma postura cautelosa com relação a essa questão. Ou seja, se, por um lado, a automação de base microeletrônica abre novas oportunidades tecnológicas, por outro, a sua incorporação cria uma série de requisitos que se constituem em barreiras à adoção para firmas de pequeno porte.

No âmbito destas considerações finais, caberia ainda referir uma contribuição de Dosi (1988, p.1155), o qual chama atenção para um ponto cujo desdobramento se reconhece como relevante para as questões aqui tratadas. A idéia básica está associada à percepção de que as relações tecno-econômicas se manifestam com intensidades desiguais na estrutura industrial, implicando que os diversos setores tenham distribuições heterogêneas de tamanho das firmas (ou plantas). Em outras palavras, o que está sendo sugerido por Dosi é que as relações entre rigidez e flexibilidade, entre economias de escala e de escopo, com os possíveis *trade-offs* que encerram, seriam próprias a cada setor industrial, constituindo-se em condicionantes da distribuição por tamanho das firmas (ou plantas) e, especialmente, da importância das de pequeno porte. Nesses termos, para a compreensão dos impactos potenciais da difusão das novas formas de automação, faz-se necessário identificar e hierarquizar os elementos que são mais relevantes em termos tecno-econômicos para os diversos setores da indústria.

Bibliografia

- AGLIETTA, M. (1979). **A theory of capitalism regulation** - the US experience. Londres : NLB.
- ALCORTA, L. (1994). The impact of new technologies on scale in manufacturing

- industries: issues and evidence. **World Development**, Oxford : Pergamon, v.22, n.5, p.755-769.
- ARCANGELI, F., DOSI, G., MOGGI, M. (1991). Patterns of diffusion of electronics technologies: an international comparison with special reference to Italian case. **Research Policy**, Amsterdã : North-Holland, v.20, n.6, p.515-529.
- AUDRETSCH, D. (1994). Small business in industrial economics: the new learning. **Revue d' Économie Industrielle**, Paris : CNRS, n.67, p.21-39.
- BAILEY, E., FRIEDLAENDER, A. (1982). Market structure and multiproduct industries. **Journal of Economic Literature**, Nashville : American Economic Association, v.20, n.3, p.1024-1048.
- BESSANT, J. (1991). **Managing advanced manufacturing technology**: the challenge of the fifth wave. Oxford : NCC Blackwell.
- BESSANT, J., HAYWOOD, B. (1988). Islands, archipelagoes and continents: progress on the road to computer-integrated manufacturing. **Research Policy**, Amsterdã : North Holland, v.17, p.349-362.
- CAINARCA, G., COLOMBO, M., MARIOTTI, S. (1989). An evolutionary pattern of innovation - the case of flexible automation. **Research Policy**, Amsterdã : North Holland, v.18, p.59-86.
- CAINARÇA, G., COLOMBO, M., MARIOTTI, S. (1993). Computer-based automation and the governance of vertical transactions. **Industrial and Corporate Change**, Oxford : Oxford University, v.2, n.1, p.73-89.
- CARLSSON, B. (1994). Industrial dynamics and the role of small plants in swedish manufacturing industry, 1968-1988. **Revue d' Économie Industrielle**, Paris : CNRS, n.67, p.89-102.
- CARLSSON, B., AUDRETSCH, D., ACTS, Z. (1994). Flexible technology and plant size US manufacturing and metalworking industries. **International Journal of Industrial Organization**, Amsterdã : North Holland, v.12, n.3, p.359-372.
- CAULLIRAUX, H. (1990). **Estratégias de produção e automação**: formulação e análise. Rio de Janeiro : PUC. (Tese de doutorado).
- CIBORRA, C. (1993). Technological change in the work place. In: INTERNATIONAL LABOUR OFFICE. **On business and work**. Genebra : ILO.
- CLAY, N., CREIGH-TYDE, W. (1994). SMEs and employment in the european community: na industrial perspective. **Revue d' Économie Industrielle**, Paris : CNRS, n.67, p.71-88.

- COLOMBO, M., MOSCONI, R. (1995). Complementary and cumulative learning effects in the early diffusion of multiple technologies. **Journal of Industrial Economics**, Oxford : Basil Blackwell, v.43, n.1, p.13-47.
- CORIAT, B. (1988). Automação programável: novas formas e conceitos de organização da produção. In: SCHMITZ, H., CARVALHO, R., orgs. **Automação, competitividade e trabalho**: a experiência internacional. São Paulo : Hucitec.
- CORIAT, B. (1989). **A revolução dos robôs**. São Paulo : Busca Vida.
- CORIAT, B. (1992). **El taller y el robot** - ensayos sobre el fordismo y la producción en masa en la era de la electrónica. Mexico : Siglo XXI.
- DINA, A. (1987). **A fábrica automática e organização do trabalho**. Petrópolis : Vozes.
- DOSI, G. (1988). Sources, procedures, and microeconomics effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, Nashville : American Economic Association, v.26, n.3, p.1120-1171.
- EDQUIST, C., JACOBSSON, S. (1988). **Flexible automation** - the global diffusion of new technology in the engineering industry. Oxford : Basil Blackwell.
- FJERMESTAD, J., CHAKRABARTI, A. (1993). Survey of the computer-integrated manufacturing literature: a framework of strategy, implementation and innovation. **Technology Analysis and Strategic Management**, Oxford : Carfax, v.5, n.3, p.251-271.
- HARRISON, B. (1994). Are small firms the technology leaders? In: —. **Lean and mean** - the changing landscape of corporate power in the age of flexibility. Nova Iorque : Basic Books.
- JULIEN, P.-A., CARRIÈRE, J.-B. (1994). L'efficacité des PME et les nouvelles technologies. **Revue d'Économie Industrielle**, Paris : CNRS, n.67, p.121-134.
- KAPLINSKY, R. (1984). **Automation**: the technology and society. Londres : Longman.
- KELLEY, M., BROOKS, H. (1991). External learning opportunities and the diffusion of process innovation to small firms: the case of programmable automation. **Technological Forecasting and Social Change**, Nova Iorque : Elsevier, v.39, n.1-2, p.103-125.

- MANTOUX, P. (s.d.). **A revolução industrial do século XVIII**. São Paulo : EDUSP/Hucitec.
- MARX, K. (1984). **O capital**. São Paulo : Nova Cultural. (Os Economistas).
- MILGROM, P., ROBERTS, J. (1990). The economics of modern manufacturing: technology, strategy, and organization. **American Economic Review**, Nashville : American Economic Association, v.80, n.3, p.511-528.
- MILLS, D., SCHUMANN, L. (1984). Industry structure with fluctuating demand. **American Economic Review**, Nashville : American Economic Association, v.75, n.4, p.758-767.
- PANZAR, J., WILLIG, R. (1981). Economies of scope. **American Economic Review**, Nashville : American Economic Association, v.71, n.2, p.268-272.
- PEREZ, C. (1985). Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries. **World Development**, Oxford : Pergamon, v.13, n.3, p.441-463.
- PIORE, M., SABEL, C. (1984). **The second industrial divide** - possibilities for prosperity. Nova Iorque : Basic Books.
- RUSH, H., BESSANT, J. (1992). Revolution in three-quarter time: lessons from the diffusion of advanced manufacturing technologies. **Technology Analysis and Strategic Management**, Oxford : Carfax, v.4, n.1, p.3-19.
- SIMA, A. (1995). Tecnologias CIM: equipamentos utilizados no controle de sistemas produtivos. In: COSTA, L., CAULLIRAUX, H., orgs. **Manufatura integrada por computador**. Rio de Janeiro : Campus.
- TAUILE, J. (1988). Automação microeletrônica e competitividade: tendências no cenário internacional. In: SCHMITZ, H., CARVALHO, R. orgs. **Automação, competitividade e trabalho**: a experiência internacional. São Paulo : Hucitec.
- TECHNOLOGY and the economy - the key relationship (1992). Paris : OECD.
- VICKERY, G. (1989). Advanced manufacturing technology and the organization of work. **STI Review**, Paris : OECD, n.6, p.105-146.
- WOMACK, J., JONES, D., ROOS, D. (1992). **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro : Campus.

Abstract

This paper is aimed at characterizing the forms of automation that led to the development of the microelectronics technical base in modern capitalist economies. It shows that the microelectronics automation has clearly distinctive attributes compared to the eletromechanical automation. Those attributes — basically, flexibility and integration — have allowed a qualitative transformation of the capitalist production throughout the last quarter of the twentieth century. Thus, the introduction of new forms of automation has proved to be an element that affects the performance of firms and industries. Regarding the effects of the microelectronics automation in the scales of businesses, it is recognized that it opens opportunities for small firms. However these opportunities should not be overestimated, since its introduction in the production process demands investment and capabilities that not always are at easy reach of small firms.