

Um Estudo Empírico Sobre a Correlação entre Automação Flexível e Flexibilidade de Manufatura

Marcio Zukin

Paulo R. T. Dalcol

Depto. de Engenharia Industrial, PUC/Rio

Rua Marquês de São Vicente, 225 – CEP 22453-900

Rio de Janeiro, RJ

marzukin@rdc.puc-rio.br

prtd@rdc.puc-rio.br

Resumo

Este artigo discute os resultados de um estudo recente envolvendo 16 empresas líderes do setor de bens eletrônicos de consumo no Brasil. São analisadas as relações entre automação flexível e variáveis tais como: percepção gerencial da flexibilidade; variedade de produtos; frequência de mudança nos processos das máquinas e aumento da variedade de produtos. O objetivo é verificar se os gerentes, que percebem a importância da flexibilidade de manufatura, estão usando flexibilidade efetivamente ou não, procurando, assim, explorar a utilização da flexibilidade em um setor industrial dinâmico de um país de industrialização recente.

Palavras-chave: avaliação de flexibilidade, automação flexível, flexibilidade de manufatura, análise de correlação.

Abstract

This paper discusses the results of a recent study involving 16 leading firms in the consumer electronics industry in Brazil. It analyzes the relationship between flexible automation and variables such as: managerial perception of flexibility; variety of products; machine changeover and increase in range of products. The objective of this paper is to find out whether managers, perceiving the importance of manufacturing flexibility, are using flexibility effectively or not, in order to shed some light on flexibility utilization in a dynamic industrial sector of a newly industrialized country.

Keywords: flexibility assessment, flexible automation, manufacturing flexibility, correlation analysis.

1. Introdução

Flexibilidade de manufatura está se tornando uma vantagem competitiva importante e um fator essencial para a viabilidade de longo-prazo de muitas empresas. Existe grande evidência na literatura de que muitas organizações estão considerando, cada vez mais, a importância da flexibilidade da manufatura segundo uma perspectiva estratégica juntamente com qualidade e custos. Por outro lado, além de alta qualidade e baixos custos, os clientes estão demandando respostas rápidas, *customização* extensiva, frequentes inovações e uma ampla variedade de produtos. Estamos, sem dúvidas,

vivendo uma época de rápido progresso tecnológico, com permanente obsolescência de equipamentos de produção, menores ciclos de vida de produtos, mercados fragmentados e com condições voláteis, onde a competição ocorre principalmente em variedade de produtos e velocidade no mercado (Slack, 1987; Bessant, 1991; Stecke & Raman, 1995; Tan, et al., 1996; Rho, et al., 1994).

O presente artigo parte dos resultados de uma investigação empírica sobre 16 organizações líderes do setor de bens eletrônicos de consumo no Brasil. O objetivo da investigação era verificar como este grupo de produtores percebia os benefícios de desempenho associados à flexibilidade de manufatura e como eles estavam utilizando

práticas para melhorá-la. Um arcabouço de referência foi elaborado e revelou que os gerentes deste segmento industrial percebem a importância da flexibilidade de manufatura, mas não utilizam práticas de flexibilidade na mesma proporção (Zukin & Dalcol, 2000). Uma das razões deste fato, indicada pelos próprios gerentes, era o baixo nível de automação flexível de suas fábricas. Assim, neste trabalho procura-se verificar a existência de correlação entre automação flexível e algumas variáveis de flexibilidade, bem como se a percepção gerencial de flexibilidade em geral leva à implementação de automação flexível. O objetivo, portanto, é entender como ocorrem, na prática, algumas das diversas relações possíveis entre as inúmeras variáveis que compõem a flexibilidade de manufatura, procurando não forçar o estabelecimento de relações de um ponto de vista acadêmico e teórico.

2. Modelo e Perguntas de Pesquisa

Existem poucas pesquisas empíricas sobre a correlação entre variáveis relacionadas à flexibilidade de manufatura e, além disso, está em curso um debate sobre o efeito da automação flexível na flexibilidade de manufatura da firma. Daí a necessidade de se avaliar a relação entre automação flexível e flexibilidade de manufatura.

Flexibilidade de manufatura começou a ser reconhecida como essencial, na fabricação de lotes médios e pequenos, já no início da década de 50 (Diebold, 1952). Contudo, só foi no final da década seguinte que ocorreu sua extensão para a produção em larga escala sem sacrificar a eficiência (Sethi & Sethi, 1990). O desenvolvimento de Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS), no início da década de 70, foi um fator chave para trazer a eficiência da produção em massa para a produção em lotes de múltiplos produtos.

O conceito geral de automação flexível inclui integração por computador, tecnologia da informação e processo de manufatura automatizado, que são todos implementados de modo a obter flexibilidade estratégica

e de manufatura. Integração por computador refere-se basicamente à Manufatura Integrada por Computador (CIM) e inclui equipamentos de computação e programas projetados especificamente para melhorar o processo de mudança nas máquinas. Tecnologia da Informação (TI) compreende Sistemas de Informação (SI) e programas associados à melhoria da eficácia de operações como integração por CAD/CAM, Sistemas de Informação para planejamento da produção e controle e SI multifuncional. Processo de manufatura automatizado é um conceito que é mais aberto e menos rigoroso que integração por computador e consiste no uso de equipamentos de chão de fábrica em geral como máquinas CNC, células flexíveis de manufatura e sistemas flexíveis de manufatura.

A Figura 1 delinea as relações examinadas neste artigo. A flexibilidade de manufatura foi considerada como sendo “variedade de produtos” e “inovação com novos produtos” (parte mais a direita da Figura 1), que são variáveis de flexibilidade relacionadas a mudanças externas à empresa e mais perceptíveis pelos clientes. É geralmente considerado que automação flexível, por meio de mudanças frequentes nos processos das máquinas, melhora esses tipos de flexibilidade de manufatura, principalmente em um setor dinâmico e intensivo em capital como é o de bens eletrônicos de consumo. Porém, antes disso, os gerentes precisam perceber a importância estratégica da flexibilidade, de modo a implementar automação flexível. Em outras palavras, a automação flexível deve ser usada em organizações que sabem que flexibilidade e respostas rápidas são imperativos cruciais e têm o desejo de mudar o que for necessário para implementá-las. Foram desenvolvidas quatro perguntas de pesquisa que estão marcadas na Figura 1 e listadas na Tabela 1.

Para a primeira pergunta de pesquisa, a percepção gerencial da importância da flexibilidade de manufatura foi designada como um conjunto de variáveis independentes múltiplas, ou variáveis de previsão, e automação flexível foi especificada como um conjunto de variáveis dependentes ou variáveis de critério. O problema estatístico consistiu em

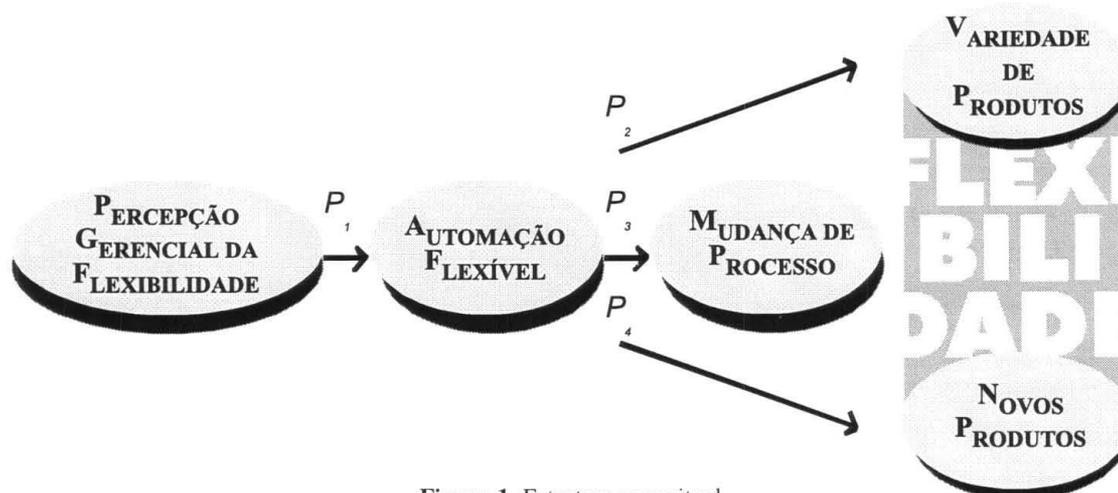


Figura 1. Estrutura conceitual

Tabela 1. Perguntas de pesquisa sobre a correlação entre variáveis de flexibilidade

Perguntas	Descrição
P_1	Quanto mais os gerentes perceberem a importância da flexibilidade de manufatura, maior será a automação flexível na empresa?
P_2	Quanto maior for a automação flexível na empresa, maior será a variedade de produtos produzidos pela empresa?
P_3	Quanto maior for a automação flexível na empresa, mais frequente será a mudança nos processos das máquinas da empresa?
P_4	Quanto maior for a automação flexível na empresa, maior será o número de novos produtos produzidos pela empresa?

identificar qualquer relação latente entre a percepção gerencial da importância da flexibilidade de manufatura e a implementação de automação flexível na firma.

Para as outras perguntas de pesquisa, a automação flexível foi designada como um conjunto de variáveis independentes múltiplas, ou variáveis de previsão, e frequência de mudança nos processos das máquinas,

variedade de produtos e número crescente de novos produtos foram especificados como um conjunto de variáveis dependentes ou variáveis de critério. O problema estatístico consistiu em identificar qualquer relação latente entre a automação flexível na firma e a flexibilidade de manufatura efetiva, do modo em que foi considerada a flexibilidade.

Geralmente, a percepção gerencial e a estratégia de negócio devem ter um impacto na flexibilidade de manufatura. Segue abaixo uma rápida discussão sobre cada pergunta de pesquisa, envolvendo esta questão.

P1: Percepção gerencial da importância da flexibilidade é correlacionada positivamente com automação flexível?

Foi considerado que se os gerentes percebem a importância da flexibilidade eles vão tentar melhorá-la nas suas firmas, implementando operações flexíveis. No seu estudo em fábricas de papel na América do Norte, Upton (1995) encontrou uma relação entre a percepção da importância da flexibilidade pelos gerentes e a flexibilidade efetiva da fábrica. Ele concluiu que fábricas onde os gerentes não assumiam a flexibilidade como uma meta clara e compreendida, eram muito menos flexíveis que as fábricas onde os gerentes transmitiam a importância da flexibilidade.

P2: A automação flexível é correlacionada positivamente com uma grande variedade de produtos?

A sabedoria convencional é de que a automação flexível melhora a flexibilidade operacional. Entretanto, na investigação empírica de Suarez, et al. (1996) em fábricas de placas de circuito impresso, foi revelado que um processo mais automatizado e mais novo na amostra estudada tende a ser associado com baixa flexibilidade em termos de variedade de produtos (*mix*). No seu estudo, Upton (1995) achou que existia pouca correlação entre o grau de integração por computador e o grau de flexibilidade operacional de uma fábrica. Xavier (1997) encontrou evidências que não confirmam a sua hipótese de que Tecnologia da Informação está correlacionada positivamente com flexibilidade. Este autor reconhece o fato de que Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMT) são um subconjunto da tecnologia da informação (AMT está incluída na definição de automação flexível utilizada nesta pesquisa) e que seria interessante utilizar o conceito de AMTs para operacionalizar o construto SI/TI, no seu estudo. Geralmente, é considerado que a própria tecnologia afeta o nível de flexibilidade, como pode ser observado em pesquisas anteriores (Martins and Svensson 1987, Gerwin and Tarondeau 1989, e Ranta, et al. 1992).

Nordahl and Nilsson (1996) afirmam que se pode esperar que a experiência da flexibilidade seja maior em empresas que tenham tecnologia avançada de manufatura.

P3: Automação flexível é correlacionada positivamente com mudança freqüente de processo das máquinas de uma firma?

Acredita-se que a implementação de automação flexível, por meio de integração por computador, tecnologia da informação ou processo automatizado, melhore a flexibilidade de manufatura por meio da redução dos tempos de *set-up*, freqüente mudança nos processos das máquinas e uma melhor utilização da capacidade de produção. Entretanto, Garrett (1986) alerta que a flexibilidade de manufatura é muito mais do que simplesmente comprar FMSs. Essa é uma idéia importante que foi corroborada por outros autores (Gustavsson 1984, Ranta and Albian 1988, e Stecke 1989). Portanto, desejou-se verificar se de fato a automação flexível tem uma relação com a mudança freqüente nos processos das máquinas e se desse modo ela pode melhorar a flexibilidade de manufatura da firma, relacionada a mudanças externas.

P4: A automação flexível é correlacionada positivamente com a produção de um número crescente de novos produtos?

Foi discutido que automação flexível melhora a resposta a oportunidades de mercado (Blois 1991, Weimer, et al. 1988). Uma firma que tem FMSs instalados será capaz de aumentar a mudança para novos produtos. Entretanto, Upton (1995) observou que o grau de integração por computador de uma fábrica (que estaria incluído no conceito de automação flexível em geral) não era propriamente associado nem com o aumento da variedade nem com a melhoria nos tempos de mudança para novos produtos. Suarez, et al. (1996) observaram que fábricas mais automatizadas tendem a ser menos flexíveis e estarem associadas a baixa flexibilidade em termos de mudança para novos produtos, apesar da natureza programável da maior parte do equipamento utilizado. Entretanto, espera-se que grandes investimentos na automação flexível aumentem a flexibilidade da fábrica.

3. Metodologia de Pesquisa

Os dados foram obtidos através de questionários, os quais passaram por um teste piloto para avaliar clareza, objetividade e abrangência. A pesquisa envolveu uma amostra de empresas do setor de bens eletrônicos de consumo e a taxa de resposta chegou a 80%. A amostra era composta de um igual número de multinacionais e firmas locais. Em todos os casos o diretor industrial, o gerente industrial ou o responsável pela função manufatura respondeu ao questionário.

O número de observações foi superior ao nível recomendado de 10 ou mais observações por variável (Hair Jr., et al. 1995). Como é um pequeno número de observações selecionadas, qualquer resultado deve ser interpretado com cautela devido ao fato de que as estatísticas de correlação usadas são instáveis.

Para avaliar a percepção gerencial da importância da flexibilidade foi solicitado aos gerentes que indicassem, em uma escala Likert de 5 pontos, de “não importante” a “extremamente importante”, o valor de uma série de 10 estratégias. Estas estratégias formavam dois grupos. O primeiro grupo continha seis estratégias consideradas favoráveis a uma preocupação com flexibilidade:

- oferecer uma variedade maior de produtos;
- aumentar a frequência de mudança de modelos de produtos;
- reduzir o *lead-time* do desenvolvimento de produtos;
- atender à demanda de um ambiente em constante mudança;
- formar equipes multifuncionais para desenvolvimento de produtos;
- reduzir o estoque em processo.

O outro grupo listava quatro estratégias consideradas contrárias a uma preocupação com flexibilidade:

- reduzir o custo dos produtos;
- aumentar a produtividade da mão-de-obra;
- aumentar a capacidade de produção;
- melhorar a qualidade dos produtos.

O grau de percepção das estratégias orientadas à flexibilidade foi então calculado ponderando aquelas seis estratégias. Da mesma forma, o grau de percepção das estratégias não orientadas à flexibilidade foi calculado ponderando as estratégias do segundo grupo. O indicador agregado da percepção da importância da flexibilidade foi obtido compondo os dois graus acima descritos.

Na análise de correlação, a utilização da flexibilidade pela firma foi avaliada por meio de quatro outras questões: variedade de produtos, frequência de mudança nos processos das máquinas, aumento de novos produtos e automação flexível, descritas abaixo:

Variedade de produtos: os três produtos principais da firma e quantos modelos diferentes de cada um eram produzidos.

Mudança nos processos das máquinas: porcentagem das máquinas que mudam para produzir outras peças, considerando apenas os três principais produtos, e qual a frequência mensal de realização dessas mudanças.

Mudança para novos produtos: porcentagem de crescimento do número de modelos diferentes do principal produto da firma nos últimos 5 anos.

Automação flexível: quantidade de máquinas CNC, células flexíveis e FMS existentes na fábrica.

Assim como em qualquer outra técnica multivariada, a análise de correlação deve ser sujeita a métodos de validação para assegurar que os resultados não sejam específicos somente aos dados da amostra e possam ser generalizados à população. Foram examinados os dados antes da aplicação da análise de correlação, de modo a obter uma compreensão básica dos dados e das relações entre as variáveis. O histograma não revelou a normalidade dos dados. Hair Jr., et al. (1995) mostram que esse método é problemático para pequenas amostras, onde a sua construção pode distorcer o retrato visual de tal modo que a análise torna-se inútil. Portanto, foram utilizados testes estatísticos para avaliar a normalidade dos dados, tal como um teste usual baseado no valor de assimetria, sendo possível assumir que todas as variáveis têm uma distribuição normal no nível de probabilidade “0,01”.

4. Resultados da Análise de Correlação

As perguntas de pesquisa entre variáveis de flexibilidade na investigação foram testadas pelo coeficiente de correlação Pearson, r , um índice sem dimensões que varia de “-1,0” a “1,0” inclusive, e reflete o valor da relação linear entre dois conjuntos de dados. A pergunta de pesquisa 1 procurava verificar a relação entre a percepção gerencial da importância da flexibilidade e a automação flexível da firma. Como está mostrado na Tabela 2 e na Figura 2, essas variáveis possuem um coeficiente de correlação de “0,37”, significativo no nível “0,01”. Portanto, a resposta para a pergunta de pesquisa 1 foi uma correlação positiva. Isto é, quanto mais um gerente der importância à flexibilidade de manufatura, maior será a automação flexível na firma.

A pergunta de pesquisa 2 supõe que o grau de utilização de automação flexível na firma tem uma relação direta com a variedade de produtos produzida pela empresa. Essa relação mostrou um coeficiente de correlação de “0,32”, significativo no nível “0,01”, apresentando uma correlação positiva. Portanto, a maior utilização de automação flexível tornará possível a produção de uma maior variedade de produtos e conseqüentemente a pergunta de pesquisa 2 teve uma resposta positiva.

A pergunta de pesquisa 3 supõe que a automação flexível e a mudança nos processos das máquinas são diretamente correlacionadas, mas o coeficiente de correlação de “0,10” não permite a aceitação dessa relação.

Portanto, uma maior automação flexível não parece significar uma mudança nos processos de máquinas mais fácil e freqüente e um tempo de *set-up* de máquinas menor. É importante notar que esse coeficiente de correlação não foi significativo no nível de probabilidade de “0,01”.

A pergunta de pesquisa 4 esperava uma relação positiva entre automação flexível e o número de novos produtos que a empresa pode produzir. Como indicado na Tabela 2 e na Figura 2, a automação flexível e o aumento na variedade de produtos que uma empresa pode produzir tem um coeficiente de correlação de “0,54”, significativo no nível “0,01”, apresentando uma boa correlação positiva.

Portanto, é muito provável que uma empresa que implemente automação flexível na sua fábrica será capaz de aumentar a sua variedade de produtos sempre que for necessário e a resposta à pergunta de pesquisa 4 foi positiva.

5. Conclusões e Considerações Finais

Os resultados da análise de correlação suportam a maior parte das perguntas de pesquisa formuladas nesse estudo e também uma grande parte da sabedoria convencional com relação à automação flexível. Especificamente, obteve-se um grande suporte para a influência da automação flexível na introdução de novos produtos.

Os resultados da investigação inicial indicavam que os gerentes na amostra percebiam a importância da flexibilidade de manufatura, mas estavam encontrando dificuldades em tornar suas firmas flexíveis. Embora altos

Tabela 2. Correlação entre automação flexível e outras variáveis de flexibilidade

Fatores	Correlação	Perguntas
Percepção gerencial da importância da flexibilidade e automação flexível	0,37	P_1
Automação flexível e variedade de produtos	0,32	P_2
Automação flexível e freqüência de mudança nos processos das máquinas	0,10	P_3
Automação flexível e número de novos produtos	0,54	P_4

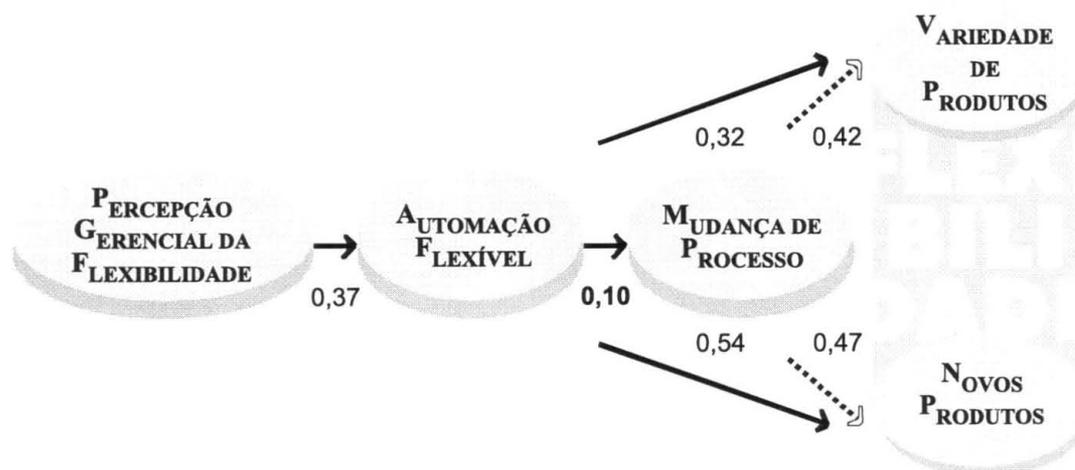


Figura 2. Correlação entre variáveis de flexibilidade dentro da estrutura conceitual

níveis de automação flexível possam fornecer vantagens em competitividade por qualidade e custo (que são necessárias de maneira crítica), poucas unidades na amostra estudada implementaram automação flexível de forma extensiva nas suas fábricas. Mesmo assim, pode-se ver claramente que a maior parte das perguntas de pesquisa foram aceitas e somente uma não foi confirmada, o que proporciona a oportunidade de investigar esse fato com maior profundidade.

Por meio da análise de correlação, não foi possível responder positivamente à pergunta de pesquisa que considerou a mudança nos processos das máquinas como sendo correlacionada à automação flexível (coeficiente de correlação de apenas “0,10”). Isso significa que uma firma que implementa automação flexível não se beneficiará necessariamente de uma mudança nos processos das máquinas mais freqüente, possivelmente por meio de tempos reduzidos de *set-up* das suas máquinas. Por outro lado, a automação flexível é significativamente correlacionada à flexibilidade de manufatura em termos de variedade de produtos e inovação por novos produtos (coeficiente de correlação de “0,32” e “0,54” respectivamente).

Pode parecer que uma firma irá obter flexibilidade de manufatura porque implementou automação flexível mas não por causa das vantagens de ter uma mudança nos processos das suas máquinas mais freqüente. Esse

resultado solicitou a verificação da relação entre a mudança nos processos das máquinas e a flexibilidade de manufatura. O resultado dos coeficientes de correlação entre essas variáveis revelou-se então positivo e significativo (“0,42” e “0,47”, ver Figura 2).

É possível encontrar várias razões para existir uma correlação positiva entre automação flexível e flexibilidade de manufatura e entre mudança nos processos das máquinas e flexibilidade de manufatura, mas não entre automação flexível e mudança nos processos das máquinas. Primeiramente, foi possível perceber que a correlação entre automação flexível e mudança nos processos das máquinas foi a única que não teve significância no nível “0,01” de probabilidade. Portanto, por causa da variância desses dados não foi possível obter uma análise representativa dessa informação. A outra razão pode significar que a flexibilidade de manufatura pode ser alcançada por meio de automação flexível em termos de flexibilidade de roteamento, processo, material, máquina ou de outro tipo que não incluía flexibilidade em termos de mudança nos processos das máquinas.

Uma razão interessante para tal poderia ser que a automação flexível é paralela e não em seqüência à mudança nos processos das máquinas, como foi elaborado na estrutura conceitual mostrada na Figura 1. Então, essas duas variáveis seriam paralelas e ambas correlacionadas à

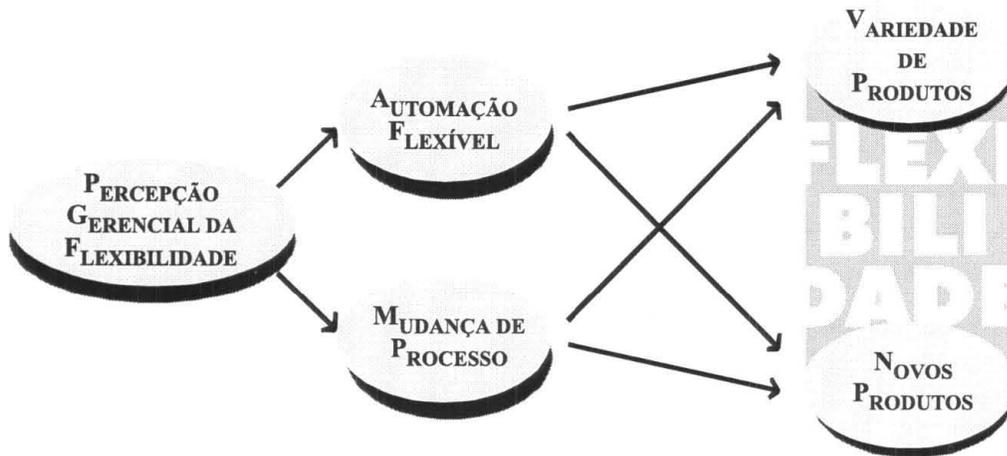


Figura 3. Estrutura conceitual com a automação flexível e a mudança nos processos das máquinas paralelos em relação à percepção gerencial da flexibilidade

flexibilidade de manufatura, mas elas seriam independentes entre si (Figura 3). Isso implicaria que existem outros meios de se obter mudança nos processos das máquinas mais frequente, que não seja por automação flexível.

Inúmeros procedimentos levariam à obtenção de mudança frequente nos processos das máquinas que não fosse por meio da automação flexível. É possível citar, como exemplos, um maior envolvimento dos trabalhadores, um arranjo físico da fábrica com células de manufatura, uma redução dos tempos de *set-up* através de técnicas de Troca Rápida de Ferramentas, um *design* do produto e das peças para produção com grande padronização, e assim por diante. Entretanto, como o vetor de desenvolvimento, do setor específico analisado neste trabalho, está intimamente associado à introdução de novas tecnologias de manufatura para ganhos de produtividade, seria necessário um estudo especialmente direcionado para verificar quais seriam estes procedimentos.

6. Referências Bibliográficas

BESSANT, J., *Managing Advanced Manufacturing Technology: The Challenge of the Fifth Wave*, NCC Blackwell Ltd. (1991).

BLOIS, K.J., "Trends in marketing and their implication for manufacturing," *International Journal of Technology Management*, Vol. 6, 3/4, pp. 385-394 (1991).

DIEBOLD, J., *Automation: The Advent of the Automated Factory*, Van Nostrand, New York, NY, (1952).

GARRETT, S.E., "Strategy First: A Case in FMS Justification," in *Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems* (Ann Arbor, MI), K.E. Stecke and R. Suri (Eds.), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 17-30 (1986).

GERWIN, D., and TARONDEAU, J-C., "International comparisons of manufacturing flexibility," in Ferdows, K. (Ed.), *Managing International Manufacturing*, Elsevier Science, North-Holland, Amsterdam, (1989).

GUSTAVSSON, S.O., "Flexibility and Productivity in Complex Production Processes," *International Journal of Production Research*, Vol. 22, Nº 5, pp. 801-808 (1984).

HAIR Jr., Joseph F, ANDERSON, Rolph E., TATHAM, Ronald L., and BLACK, William C., *Multivariate Data Analysis*, Fourth Edition, Prentice Hall, Inc., New Jersey (1995).

- MARTINS, J.G., and SVENSSON, M., *Profitability and Industrial Robots*, IFS Publications/Springer Verlag, Berlin (1987).
- NORDAHL, Hakan, and NILSSON, Carl-Henric, "Manager's perceptions of flexibility in manufacturing: a study in the Swedish engineering industry," *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 7, 4, pp. 22-33 (1996).
- RANTA, J, and ALBIAN, A., "Interactive Analysis of FMS Productivity and Flexibility," W.P.-88-098, IIASA, A-2361 Laxenburg, Austria (1988).
- RANTA, J., TCHIJOV, J., and DIMITROV, P., "Implementation strategies for CIM technologies: goals, costs and benefits of flexibility," in Ranta, J. Jaikumar, R., and Ettl, J. (Eds.), *Fewer and Faster: A Story of Technological, Organizational and Managerial Innovations in the Manufacturing Enterprise*, Harvard Business Monograph Series, Harvard Business Press, Boston, MA, Chapter 2 (1992).
- RHO, Boo-Ho, HAHM, Yong-Seok, and YU, Yung-Mok, "Improving interface congruence between manufacturing and marketing in industrial-product manufacturers," *International Journal of Production Economics*, Vol. 37, pp. 27-40 (1994).
- SETHI, Andrea Krasa, and SETHI, Suresh Pal, "Flexibility in Manufacturing: A Survey," *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 2, pp. 289-328 (1990).
- SLACK, Nigel, "Flexibility of Manufacturing Systems," *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 7, No. 4, pp. 35-45 (1987).
- STECKE, Kathryn E., "Algorithms for Efficient Planning and Operation of a Particular FMS," *International Journal of Flexible Manufacturing*, Vol. 1, pp. 287-324 (1989).
- STECKE, Kathryn E. and RAMAN, Narayan, "FMS Planning Decisions, Operating Flexibilities and System Performance," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 42, No. 8, pp. 12-16 (August 1995).
- SUAREZ, Fernando F., CUSUMANO, Michael A., and FINE, Charles F., "An empirical study of manufacturing flexibility in printed circuit board assembly," *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 223-240 (Jan.-Feb. 1996).
- TAN, Gek W., HAYES, Caroline C. and SHAW, Michael, "An Intelligent-Agent Framework for Concurrent Product Design and Planning," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 43, No. 3, pp. 297-306 (1996).
- UPTON, David M., "What Really Makes Factories Flexible?," *Harvard Business Review*, pp. 74-84 (July-August 1995).
- WEIMER, G. et al., "Integrated manufacturing VI: Strategic alliances make marketing and manufacturing an international game," *Automation*, Vol. 35, 11, pp. IM1-IM30 (1988).
- XAVIER, Guilherme G., "Investigating Flexibility and Information Technology as Key Elements for Competitive Advantage," *Produção*, Vol. 7, 2, pp. 159-175 (1997).
- ZUKIN, Marcio and DALCOL, Paulo R.T., "Manufacturing Flexibility: Assessing Managerial Perception and Utilization", *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 12, No. 1, pp. 5-23 (2000).