
Simflex: um avaliador de sistemas flexíveis de manufatura

Denis Borenstein
João Luiz Becker

Sistemas Flexíveis de Manufatura (do inglês *Flexible Manufacturing Systems* — FMS) são, basicamente, sistemas com alto grau de utilização de automação e informatização da produção, nos quais máquinas multifuncionais são interligadas por sistema automático de transferência de materiais, sendo todas as decisões tomadas por um computador central. Essa denominação provém de sua capacidade de dotar a manufatura de grande flexibilidade, viabilizando economicamente a produção de lotes de baixo e médio volumes.

Trata-se de inovação tecnológica utilizada em vários países da Europa, nos Estados Unidos e no Japão. Porém, em geral os resultados obtidos não têm correspondido às expectativas, em decorrência da dificuldade de serem arranjados em um sistema único vários subsistemas complexos, como robôs, máquinas de controle numérico, veículos automatizados etc.

A vantagem competitiva oferecida, em tese, pelo conceito de FMS é muito grande. Será inevitável para os países industrializados da América Latina considerar sua adoção. No entanto, espelhada nas dificuldades ocorridas em outros países, será imprescindível profunda análise de tais sistemas antes de sua implementação.

Neste trabalho descreve-se uma ferramenta de análise do impacto de implementação de FMS em sistemas reais, durante sua fase de planejamento. Trata-se de um simulador, denominado **Simflex**, capaz de emular em laboratório todos os fenômenos que ocorrem no interior de um FMS, avaliando sua potencialidade de sucesso através dos dados de seu desempenho.

Este texto está organizado da seguinte forma: inicialmente é feita uma descrição completa do conceito de FMS, mostrando suas vantagens e analisando-o criticamente, assim como discutindo as barreiras entre sua concepção teórica e sua implementação prática; a seguir é apresentado o sistema Simflex, concentrando-se em sua composição atual; e, finalmente, é dado um exemplo de utilização do sistema, cujo maior objetivo é oferecer ao leitor uma de suas potencialidades.

Estudo desenvolvido com
o apoio da Capes.

Recebida em março/92

Denis Borenstein é Professor da Universidade Federal de Pelotas.

João Luiz Becker é Professor do Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA

A automação e a informação vêm se disseminando na área de manufatura. Assim, é natural o surgimento de sistemas produtivos que delas se utilizam para atingir o objetivo de compatibilização com o mercado, principalmente na fabricação de lotes de médio e baixo volumes.

O primeiro desses sistemas foi a linha rígida automatizada, basicamente uma linha de montagem no estilo fordista em que operadores humanos foram substituídos por máquinas automatizadas. Contudo, foi o grande desenvolvimento da microeletrônica que possibilitou o surgimento de sistemas mais adequados às exigências da nova estrutura de mercados. Neste sentido, pode-se considerar o FMS como o estado atual da arte em termos de sistemas de manufatura automatizados e informatizados.

Célula de manufatura

O conceito de FMS foi criado na Universidade de Trondheim, Noruega, a partir do de células de manufatura (Korem, 1983). Para melhor percepção da evolução desses conceitos é necessário entender alguns aspectos sócio-econômicos da Noruega. O país é composto por população pequena e dispersa, característica desejável por questões de segurança nacional. Problemas econômicos nas áreas rurais levavam grande massa de desempregados a procurar ocupação nas indústrias instaladas nos maiores centros. Razões econômicas, aliadas às de segurança nacional, induziram o governo norueguês a contratar os serviços daquela universidade, a fim de evitar esse deslocamento populacional. A solução encontrada foi projetar minifábricas (ou células de manufatura) e instalá-las nas áreas rurais.

As operações de manufatura eram divididas em células, cada uma podendo ser considerada uma fábrica. Cada célula era responsável pela manufatura de uma família específica de peças, determinada pelos princípios de tecnologia de grupo. Essas células eram interconectadas por uma rede de transporte de materiais e componentes.

Após a consolidação dessa fase, com os objetivos iniciais de estancar o êxodo rural totalmente atingidos, começou a ser observado que, em função dos altos salários noruegueses e a fim de tornar a indústria competitiva no mercado mundial, a produtividade desses sistemas deveria ser extremamente alta. Tais fatores conduziram ao segundo conceito: prover cada minifábrica com a mais alta tecnologia disponível.

Assim, cada célula passou a ser constituída por várias (de duas a cinco) máquinas de controle numérico arrumadas em círculo em volta de um robô. O robô faz todas as operações de transporte dos componentes e materiais, além da preparação das máquinas para as operações necessárias. A execução e a coordenação das várias operações são realizadas por um computador celular que poderá ou não estar ligado a um computador central. Esse conjunto pode funcionar 24 horas por dia e os trabalhadores só serão necessários para a realização de tarefas como programação de computadores, planejamento da produção, escalonamento, manutenção, tratamento térmico dos componentes necessários, montagem dos materiais nos sistemas de transporte etc.

Conceito de FMS

A incorporação de várias células de manufatura em um grande sistema, no qual a produção de componentes é controlada por um computador central, pode ser considerada como o conceito básico de FMS. Esta designação é proveniente da alta flexibilidade provida por esse sistema, em termos de pequeno esforço e reduzido tempo requerido para a manufatura de um novo produto.

O FMS pode ser considerado como um sistema automatizado de produção em lotes. Conseqüentemente, apresenta todos os problemas tradicionais associados ao controle dos mesmos: escalonamento de tarefas, nível de utilização de capital e desempenho em termos de produtividade (*lead-time*, *work-in-process* etc.). As principais diferenças entre os *job-shops* convencionais e o conceito de FMS são:

- as funções humanas são automatizadas, inclusive as relacionadas com a tomada de decisões;
- as máquinas apresentam disposição celular;
- os tempos das atividades baixam de meses ou semanas para horas.

Situação atual dos sistemas flexíveis de manufatura

De acordo com Tchijov & Sheinin (1989), o conceito de FMS tem sido aplicado a grande variedade de sistemas de produção em lotes, nas mais diversas áreas da indústria metal-mecânica. Os autores estimaram que existiam cerca de 500 FMS em operação no mundo no final de 1986, espalhados pelos países da Europa, nos EUA e no Japão.

A literatura sobre automação industrial apresenta descrições desses sistemas, geralmente limitadas a detalhes técnicos e dados operacionais, mencionando

os benefícios com relação aos sistemas convencionais, embora o número de informações disponíveis seja bastante limitado. Tal situação foi ratificada por Tchijov & Sheinin (1989) após a análise de cerca de 400 sistemas. Concluíram que somente 11,25% possuíam dados confiáveis sobre a redução no *lead-time*. O mesmo ocorria para os demais parâmetros de desempenho: 6,5% para a redução no tempo de *set-up* e 8,25% para a redução no de processamento.

Yto (1982) concluiu, em detalhada análise de 119 sistemas, que somente seis englobavam níveis de flexibilidade compatíveis com os investimentos realizados. A maior parte dos sistemas estudados trabalhava com número limitado de *mix* de produtos — frequentemente com dois ou três. O panorama apresentou-se mais alentador na pesquisa de Tchijov & Sheinin (1989): em 222 casos levantados, a média de produtos fabricados situou-se em torno de 14. Em 57% dos casos a flexibilidade era representada por menos de 30 produtos, sendo que um terço desses FMS produzem menos de dez produtos diferentes.

Esses dados são importantes para afastar a idéia comumente aceita e propalada de que todos os sistemas existentes suportam a produção de grande variedade de componentes ou produtos, limitados apenas pelas restrições de peso e dimensões projetadas.

Aliando essas informações à constatação de esse conceito existir há cerca de 30 anos (Infotech, 1980), assim como às previsões feitas em 1978 quanto às barreiras tecnológicas já estarem vencidas a partir de 1985 (Collins, 1980), conclui-se que esse tipo de sistema apresenta problemas quanto ao seu real desempenho.

NECESSIDADE DE UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE

Tendo por base o exposto no tópico anterior, pode ser constatada a grande distância existente entre a concepção teórica de FMS e a sua operacionalização, ficando esta muito aquém do esperado e colocando em dúvida as vantagens apregoadas. Esses problemas decorrem de dois fatores, a seguir analisados.

Dificuldade de preparação dos conceitos da nova engenharia produtiva existentes no âmbito dos FMS

A percepção e o entendimento dos recentes conceitos oriundos da nova formação dos mercados ocorrem, geralmente, dentro de processo caracterizado por grandes problemas ocasionados pelo conservadorismo existente na área de produção.

Assim, a maior parte das modernizações industriais tem sido realizada através de simples substituição de

equipamentos, sem haver questionamento da organização como um todo. Permanecem na estrutura produtiva os mesmos vícios da organização fordista, como a produção de grandes volumes de bens, minimizando os custos unitários, mas não tirando proveito da flexibilidade, o maior benefício trazido por sistemas complexos como o FMS.

Segundo Meredith & Hill (1987), uma das grandes causas para a falha de sistemas avançados de manufatura é a falta de completo entendimento da tecnologia envolvida, antes de sua implantação. Esses sistemas complexos demandam extenso planejamento. Não só a tecnologia a ser empregada deve ser analisada ao extremo, mas também os seus efeitos na organização como um todo.

Assim, o critério decisivo não é o grau de inovação tecnológica, mas a capacidade de inovação e de criatividade desenvolvida na produção. Inovação e criatividade só serão plenamente obtidas com a perfeita percepção dos conceitos de flexibilidade e integração, apresentados como fundamentais dentro do novo contexto em que se encontra a engenharia produtiva.

Métodos econômicos de análise que justifiquem a implantação do sistema

A análise econômica de um FMS é complexa. Geralmente, os argumentos financeiros baseiam-se em fatores que não levam em conta parâmetros de extrema relevância, priorizando os de mais rápida identificação. Os métodos econômicos disponíveis, como custo-benefício, mostram-se inadequados para a análise das vantagens da implantação de um sistema dessa natureza. A quantificação dos custos é relativamente fácil de ser acessada, mas o mesmo não ocorre com relação à quantificação dos benefícios, em especial dos intangíveis como a flexibilidade. De acordo com Meredith & Hill (1987), é imprópria a utilização de justificativas financeiras de análise, baseadas sobretudo na redução de custos, em decisões envolvendo aspectos estratégicos, como no caso dos FMS. Esses aspectos exigem, por suas características, análise de longo termo, ponto que os métodos econômicos convencionais não conseguem captar. Percebendo as dificuldades para a análise econômica de sistemas automatizados, Hasegawa (1985) expôs a necessidade de utilização de métodos de análise multicritérios — como a Análise de Valor de Risco —, extremamente complexos e que exigem conhecimento representativo do sistema a ser estudado.

Os fatores citados são os principais limitantes da expansão do conceito de FMS. A busca de ferramenta

de análise capaz de diminuir seus efeitos no processo de tomada de decisão desse sistema é condição fundamental para sua implementação, com menores riscos e incertezas.

SISTEMA SIMFLEX

O sistema Simflex é um simulador computacional de sistemas flexíveis de manufatura. Foi desenvolvido em Turbo Pascal 5.0 (Borland, 1988) e ocupa espaço de memória de 140 Kbytes em disco, sendo compatível com qualquer microcomputador da linha IBM-PC.

O sistema está totalmente desenvolvido e em funcionamento, mas deve ser considerado como um protótipo, pois encontra-se em processo de validação. Para maiores detalhes ver Borenstein (1991).

Atributos do sistema Simflex

Foi abordada, anteriormente, a dificuldade de analisar de maneira objetiva os benefícios trazidos por sistema como o FMS e, portanto, a de justificar sua implementação fora do âmbito tecnológico. Isto é reforçado pelos fracassos ocorridos com sua implantação em países da Europa e nos Estados Unidos.

Os modelos de simulação apresentam-se como representações ideais, senão únicas, desses sistemas de manufatura, pela capacidade de agregar eventos estocásticos e pela forma dinâmica como manipulam-os. Contudo, a falta de profissionais com conhecimentos simultâneos em simulação e FMS transforma essa constatação em uma barreira adicional, ao invés de em uma solução.

Essas dificuldades agravam-se em países da América Latina, onde os dois conceitos ainda não foram introduzidos de maneira sistemática e nos quais é iminente a instalação de sistemas como os FMS, para que continuem mantendo seus produtos competitivos no mercado internacional. Assim, devem ser idealizadas ferramentas que suplantem essas dificuldades e, ao mesmo tempo, familiarizem os usuários.

Nesse sentido, o sistema Simflex foi desenvolvido para ser um modelo genérico de simulação (Carrie, 1988). Ele é apresentado de forma tal que os parâmetros do sistema (quantidade de máquinas, células, tarefas, arranjos de maquinaria etc.) a modelar podem ser alterados pelo usuário através dos dados de entrada, sem a necessidade de modificações nas rotinas componentes do modelo. Isto evita, completamente, qualquer programação por parte do usuário, permitindo que ele se preocupe somente com a modelagem do sistema a ser analisado.

O sistema Simflex é, portanto, um protótipo paramétrico de simulação. Permitirá emulações sobre

processos que ocorrem no sistema de produção antes e durante sua implementação, questionando sua natureza, e também criará condições para sua variabilidade e repetição, para melhor ser observado em suas causas, suas conseqüências e seu desempenho. Apresenta as características a seguir descritas, que o dotam como avaliador desses sistemas:

- permite ao usuário a modelagem de inúmeros sistemas distintos, tanto em seu arranjo como no mix de produtos, oferecendo modelo flexível para sistema que oferece este conceito como sua maior vantagem;
- oferece resultados que possibilitam análise precisa do sistema analisado;
- facilidade de manipulação pelo usuário, de maneira a permitir seu uso por pessoal que desconheça simulação e técnicas refinadas de programação.

Estrutura do sistema Simflex

O sistema Simflex foi estruturado, basicamente, em três módulos:

- diálogo;
- execução;
- relatório.

Na figura 1 é apresentado o inter-relacionamento desses módulos. Eles são independentes, a fim de possibilitar ao usuário o acesso individualizado a cada um.

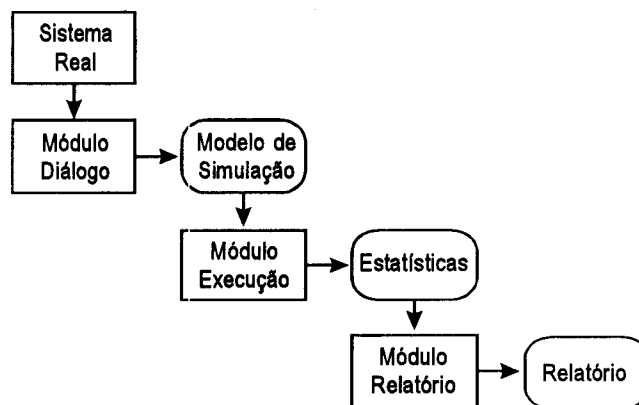


Figura 1: Módulos do Sistema Simflex

Módulo diálogo

O módulo diálogo tem como função gerar, em termos conciliadores, um modelo compatível com o módulo execução, a partir de informações fornecidas pelo usuário, obtidas durante a modelagem do sistema. Basicamente, o módulo diálogo padroniza os modelos do usuário, a fim de compatibilizá-los com a estrutura lógica do módulo execução.

O produto final dessa interação usuário-módulo diálogo é a criação de diversos arquivos em padrão ASCII, contendo os atributos das entidades do sistema, entre outros:

- quantidade e localização das máquinas;
- número de tarefas existentes no sistema;
- roteamento das tarefas, ou seja, qual máquina executará qual operação;
- tempos de operação das máquinas.

A base de interação é feita através de várias telas, contendo de duas a seis perguntas, organizadas segundo critérios lógicos do modelo e amigáveis ao usuário.

Módulo execução

O módulo execução é o corpo central do simulador, tendo como função a emulação do sistema idealizado pelo usuário e definido com o auxílio do módulo diálogo. Durante a simulação serão coletadas estatísticas de desempenho do sistema, como:

- porcentagem de utilização das máquinas e dos manipuladores;
- tempo médio de processamento das tarefas;
- tempo médio de espera das tarefas, quando em fila;
- número médio de tarefas em fila, para cada uma das entidades permanentes do sistema.

Adicionalmente, o sistema é capaz de administrar quebras não esperadas.

Módulo relatório

O módulo relatório gera um arquivo contendo as estatísticas calculadas pelo módulo execução, devidamente formatadas para facilitar sua compreensão. O

resultado mais importante na análise de um FMS é a taxa de utilização de cada estação de trabalho (ou máquina), pois apresentar alto valor é condição fundamental para a viabilidade econômica do sistema de manufatura (Warnecke & Gerecke, 1977). Destacam-se, entre outros resultados fornecidos pelo programa:

- o tempo de espera das tarefas, quando em estado passivo (em filas alojadas nos *buffers* do sistema);
- a taxa de tarefas produzidas pelo sistema, no tempo de simulação;
- as taxas de utilização do sistema de transferência e dos manipuladores;
- o número médio de tarefas em fila para cada uma das entidades permanentes do sistema.

O objetivo principal é fornecer ao usuário dados suficientes para que possa comparar sistemas alternativos, permitindo-lhe escolher aqueles com boa utilização de todos os componentes, segundo critérios previamente estabelecidos.

EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA SIMFLEX

É apresentado a seguir um exemplo de utilização do sistema Simflex, baseado em problema proposto por Melman & Livny (1986).

Formulação do problema

O FMS exposto por esses autores é composto por 12 células com uma máquina em cada uma. Na figura 2 apresenta-se o *layout* do sistema.

Apenas quatro tipos diferentes de máquinas compõem o sistema: máquina A nas células 1, 2 e 3; máquina B nas 4, 5 e 6; máquina C nas 7, 8 e 9; e máquina D nas 10, 11 e 12. O sistema é capaz

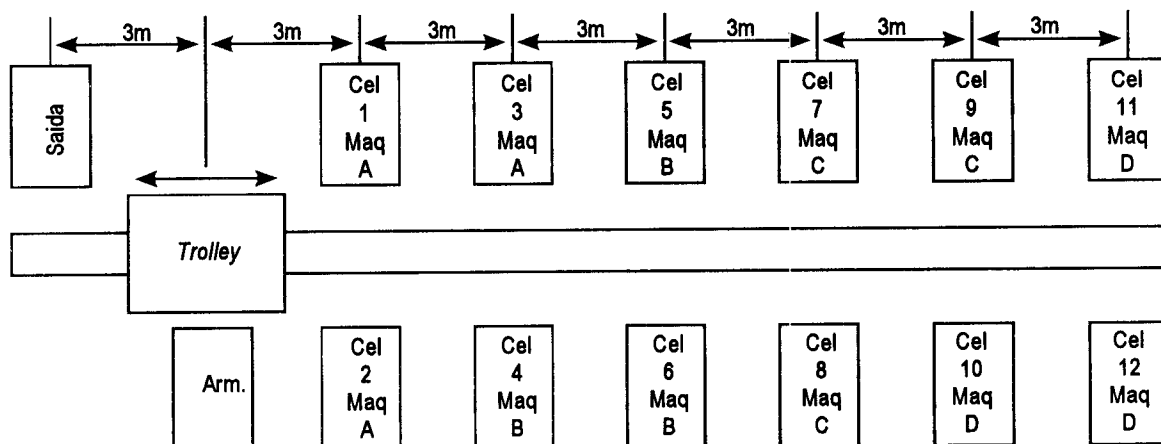


Figura 2: FMS Apresentado por Melman & Livny

de fabricar três produtos diferentes, cada um com quatro operações distintas nas diversas máquinas. No quadro 1 pode ser observado o seqüenciamento dos produtos, bem como os respectivos tempos de operação. Para simplificar esta exposição foi considerado que o tempo de preparação das máquinas é constante e igual a 0,3 minutos. Deve ser ressaltado que esta simplificação não corresponde a uma limitação do sistema Simflex.

Quadro 1

Seqüenciamento e Tempos de Operação

Máquina	Produto	Seqüência	Tempo de Operação (min)
A	1	1	40
	2	2	30
	3	3	25
B	1	2	30
	2	3	25
	3	1	20
C	1	3	20
	2	1	25
	3	2	30
D	1	4	15
	2	4	15
	3	4	15

O foco de atenção da análise recaiu na velocidade do trolley. Sete conjuntos de corridas de simulação foram realizados, variando-se a velocidade do trolley de 4 a 16 m/min. Para cada velocidade arbitrada foram rodadas dez replicações independentes, visando à avaliação da variabilidade dos resultados. Em cada corrida foram medidos os parâmetros de desempenho do sistema, com o objetivo de determinar a velocidade mais apropriada.

Arbitrou-se que no início de cada corrida nenhuma célula estivesse ocupada por alguma tarefa. As tarefas foram solicitadas ao sistema aleatoriamente, ao longo do tempo, segundo distribuição uniforme entre 10 e 20 minutos. As regras de prioridade para o transporte do trolley, a capacidade do buffer celular e o armazenamento central são elementos fundamentais para a definição do sistema. Neste trabalho foi adotada a estratégia FIFO.

Todas as corridas de simulação foram executadas para período de 10 mil minutos, equivalente a sete dias de operação contínua do sistema (24 horas por dia). Em um PC-AT o tempo máximo de execução das corridas foi de 6 minutos.

Resultados

Os resultados estão resumidos nas figuras 3, 4 e 5. Devido à estabilidade atingida pelo sistema após simulação de 10 mil minutos, os resultados das diferentes replicações realizadas não apresentaram variações significativas. Nas figuras constam os resultados de apenas uma replicação. Depreende-se, facilmente, ser a velocidade de 6 m/min para o trolley a que possibilita ao sistema melhor desempenho.

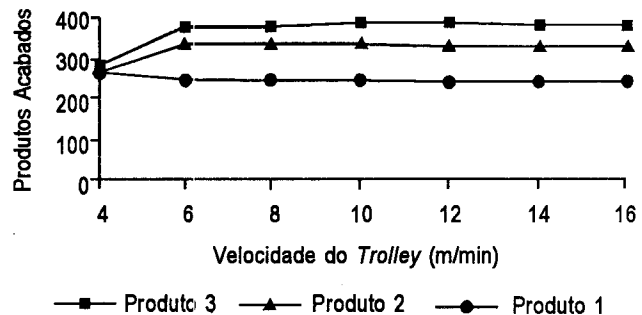


Figura 3: Número de Produtos Acabados Versus Velocidade do Trolley

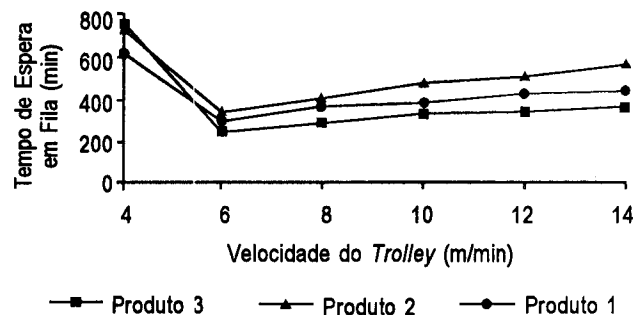


Figura 4: Tempo de Espera em Fila Versus Velocidade do Trolley

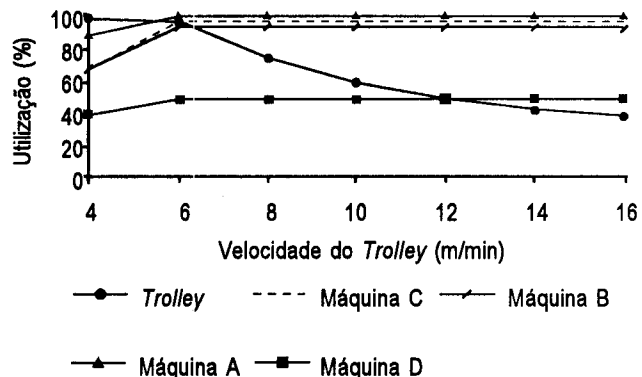


Figura 5: Utilização dos Equipamentos Versus Velocidade do Trolley

Quanto ao número de produtos acabados, percebe-se que velocidades superiores a 6 m/min não trazem benefício adicional. Por outro lado, apenas o produto 1 teria sua produção levemente aumentada caso a velocidade escolhida fosse de 4 m/min. Neste caso, contudo, os produtos 2 e 3 teriam seus volumes de produção extremamente reduzidos.

Fica evidente, também, analisando-se a figura 4, que a velocidade de 6 m/min minimiza o tempo de espera em fila para todos os produtos. É interessante observar que o aumento na velocidade do *trolley*, acima de 6 m/min, faz aumentar essa espera. Com efeito, existindo filas extensas no sistema, o tempo economizado no transporte das tarefas componentes de cada produto transfere-se para o tempo de espera nas filas de processamento.

O grande mérito do sistema Simflex é fornecer estimativas de desempenho de sistemas avançados de manufatura em laboratório.

É igualmente nítida a vantagem relativa da velocidade de 6 m/min para o *trolley*, com relação à utilização dos equipamentos, como observa-se na figura 5. Não há ganhos na taxa de ocupação das máquinas a partir dessa velocidade, exceto obviamente para o *trolley*. Todas, menos a máquina D, apresentam taxa de ocupação acima de 85%, recomendável para sistemas avançados de manufatura, conforme Warnecke & Gerecke (1977). Redimensionamento da quantidade de máquinas do tipo D seria possível. Neste caso, é recomendável nova simulação.

Uma das características dos FMS é a possibilidade de serem estabelecidas prioridades diferenciadas de utilização de equipamentos. O sistema analisado possui diversas células equivalentes, com máquinas idênticas (ver figura 2). A primeira modelagem realizada (recém-analisada) pressupõe que estando ocupadas todas as células capazes de realizar determinada operação de uma tarefa, uma delas deveria ser priorizada, segundo regra preestabelecida. Por exemplo, a operação 2 do produto 2 tem como prioridade a célula 2. No quadro 2 pode ser observado o número médio de operações em fila por célula, supondo-se ser de 6 m/min a velocidade do *trolley*.

Quadro 2

Número Médio de Operações em Fila por Célula

Célula	Número Médio em Fila
1	205,792
2	68,045
3	3,545
4	0,215
5	0,221
6	33,653
7	0,332
8	94,333
9	103,096
10	0,006
11	0,005
12	0,007

Chama a atenção a variabilidade do tamanho das filas entre as células equivalentes. O sistema foi remodelado na tentativa de melhor distribuí-las, adotando-se a seguinte regra para as prioridades: quando todas as células capazes de realizar determinada operação de uma tarefa estiverem ocupadas, a prioridade recairá na com menor quantidade de tarefas em fila.

O sistema Simflex é um simulador computacional de sistemas flexíveis de manufatura.

No quadro 3 constam os resultados obtidos para o sistema modificado. Como previsto, a variabilidade do tamanho das filas desapareceu.

Entretanto, alguns parâmetros de desempenho do sistema modificaram-se profundamente. Por exemplo, a quantidade de produtos acabados reduziu-se de 328 para 256, no caso do produto 2 (22%), e de 387

Quadro 3

Número Médio de Operações em Fila por Célula no Sistema Modificado

Célula	Número Médio em Fila
1	108,521
2	107,936
3	108,147
4	12,740
5	12,691
6	12,832
7	82,242
8	82,477
9	82,387
10	0,013
11	0,013
12	0,014

para 255, no do produto 3 (34%), apesar de o número de produtos do tipo 1 ter permanecido inalterado, em torno de 246. O tempo médio de espera em fila aumentou para os três produtos, ou seja, de 295,703 para 423,918, no caso do produto 1 (43%); de

336,684 para 446,273, no do produto 2 (33%); e de 248,780 para 374,821, no do produto 3 (51%).

Pensava-se, quando da remodelação do sistema, que a melhor distribuição das operações entre as filas das diversas células tenderia a oferecer melhor desempenho. Contudo, a simulação demonstrou que a expectativa não correspondia à realidade, pois o congestionamento generalizado das filas fez a produção fluir com menor velocidade pelo sistema.

COMENTÁRIOS FINAIS

O grande mérito do sistema Simflex é fornecer estimativas de desempenho de sistemas avançados de manufatura em laboratório, evitando experimentações com protótipos, extremamente caras e complexas. Seus resultados, analisados sob critérios previamente estabelecidos, permitirão aos usuários tomar decisões com base em múltiplos atributos, alguns de caráter estratégico e organizacional, de difícil mensuração sem o auxílio de ferramenta de análise.

Nesse sentido, pode-se afirmar que o Simflex se encaixa como elemento fundamental dentro de um processo de tomada de decisão sobre a implementação de FMS, fornecendo instrumento capaz de acessar aspectos intangíveis (flexibilidade, qualidade etc.), vitais a esse tipo de sistema, e evitando decisões baseadas somente em fatores técnicos e de custos contábeis de mensuração imediatista. ♦

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORENSTEIN, D. *Modelo de simulação computacional de sistemas flexíveis de manufatura*. Porto Alegre, 1991. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BORLAND. *Turbo Pascal reference guide, version 5.0*. EUA, Borland International, Inc., 1988.
- CARRIE, A. *Simulation of manufacturing systems*. EUA, John Wiley & Sons, 1988.
- COLLINS, J.A. Numerical control and flexible manufacturing systems. *Infotech Invited Papers*, Reino Unido, Séries 8, p.59-87, 1980.
- HASEGAWA, Y. Evaluation an economic justification. In: NOF, S.Y. (ed.). *Handbook of industrial robotics*. EUA, John Wiley & Sons, 1985. p.665-687.
- INFOTECH. *Factory automation analysis*. Reino Unido, Séries 8, n.6, 1980.
- KOREM, Y. *Computer control of manufacturing systems*. EUA, McGraw-Hill Book, 1983.
- MELMAN, M. & LIVNY, M. Distributed system simulation of a flexible manufacturing system. JSST INTERNATIONAL CONFERENCE. *Proceedings*, Japão, 1986. p.61-69.
- MEREDITH, J. & HILL, M. Justifying new manufacturing systems: a managerial approach. *Sloan Management Review*, Summer, p.49-61, 1987.
- TCHIJOV, I & SHEININ, R. Flexible manufacturing systems (FMS): current diffusion and main advantages. *Technological Forecasting and Social Changes*, v.35, p.277-293, 1989.
- WARNECKE, H. & GERECKE, E. Modelling and simulation of automated manufacturing processes. In: OSHIMA, Y. (ed.). IFAC INTERNATIONAL SYMPOSIUM. *Proceedings*, Japão, 1977.
- YTO, Y. Present status and trends in flexible manufacturing systems. *Journal of Japan Society of Mechanical Engineers*, v.85, n.761, 1982.