

MAM-6F (método para análise de materiais em seis fatores) – descrição dos fatores fabris.

Paulo Cesar Machado Ferrolli (UNIVALI – NFDesign): ferrolli@bc.univali.br

librelot@matrix.com.br

Réglis Helton Ferrali (UNIVALI): regisferrolli@matrix.com.br

fiodneto@eps.ufsc.br

Resumo

O método MAN-6F tem por objetivo auxiliar equipes de design de produtos industriais a escolherem o material que será utilizado em seus produtos. Quando se faz o design de um novo produto, uma das responsabilidades da equipe de projeto é a escolha de como será produzido esse produto. O meio fabril escolhido incorpora certas propriedades como: o tipo de material que o produto será confeccionado; o tipo de maquinário necessário para executar as operações; as habilidades necessárias do pessoal que vai trabalhar na parte fabril desse produto; as tolerâncias exigidas para uma boa funcionalidade do produto, e as condições oferecidas para a execução do trabalho, ou seja, o ambiente fabril (layout). Essas relações, agrupadas nesse artigo como fatores fabris, relacionam-se ainda com outros fatores, como os ergonômicos, estéticos, mercadológicos, estéticos e ambientais. Para isso, aborda seis áreas imprescindíveis para assegurar um projeto de alta qualidade: manufatura, economia, ergonomia, estética/estilo, mercado e meio-ambiente. Em publicações anteriores foi explicado os procedimentos que levaram a concepção do método. O objetivo desse artigo é concentrar-se em um dos campos de conhecimento necessários para o pleno entendimento do método, os fatores fabris e de manufatura.

Palavras-chaves: método; design; fatores fabris.

1. Introdução

A escolha dos materiais segundo os quais será confeccionado um produto é uma atividade extremamente complexa do projeto de novos produtos. Os materiais escolhidos irão influenciar, pelo menos, os seguintes fatores:

- produtivos: dentre os quais, as máquinas necessárias para a confecção, o tipo de layout utilizado e o nível de especialização necessário à mão-de-obra;
- ergonômicos e de segurança: índices de toxicidade emitidos, estudos antropométricos, usabilidade, etc.;
- econômicos: como por exemplo, o custo de aquisição da matéria-prima e os investimentos necessários;
- ecológicos: como a viabilidade de reciclagem ou reutilização para outros fins após o término da vida útil do produto e a necessidade da construção de estações de tratamento de efluentes, entre outros;
- mercadológicos: que inclui os fornecedores disponíveis, tecnologias usuais, tendências atuais, etc.; e
- estéticos: dentre os quais, os acabamentos superficiais, cores, texturas e as formas geométricas possíveis.

Naturalmente existe uma relação de interdependência entre os seis fatores apresentados, explicitada no ato de escolha dos materiais que irão compor um produto. Sendo produto definido como tudo aquilo que sai de um processo (Baxter, 1998), a escolha correta dos materiais utilizados nesse produto deve permitir o total atendimento das necessidades humanas que geraram sua concepção. Por exemplo: supondo-se um caso fictício, onde as necessidades dos consumidores pesquisados indicou um produto que aliasse conforto de

manuseio com boa qualidade superficial, um dos requisitos para projeto desse produto é a escolha de um material que permita a aplicação de tratamentos superficiais adequados, e garanta uma boa pega.

Em Agosto de 1999, no curso de Design Industrial da UNIVALI (Balneário Camboriú, SC), o método MAM-6F começou a ser concebido. A necessidade de um procedimento sistemático que ajude designers e equipes de projetistas a selecionarem, com convicção, os materiais que serão usados em seus produtos foi discutido por autores como Meredith & Mantel Jr. (2000), ao explicarem que o crescimento exponencial do conhecimento humano, a demanda crescente por serviços e produtos mais complexos e padronizados e a evolução da competição global pela produção de produtos e serviços vem impulsionando o design de novos produtos.

Conforme mostram Dimancescu & Dwenger (1997), um grande número de produtos lançados no mercado não conseguem obter o retorno esperado. Especialistas apontam uma série de causas de porque isso ocorre. Essas várias causas podem ser agrupadas em seis grandes grupos: problemas de fabricação do produto; problemas de origem social ou mercadológica; problemas ergonômicos e de segurança do produto; problemas de ordem econômica; problemas estéticos e de apresentação visual e problemas ecológicos.

Dentro desse enfoque, é consenso que, quando se projeta um novo produto ou quando se faz um redesign de um produto já existente, a não observância das influências imbutidas em um desses "problemas" de projeto pode gerar um produto final incompleto, ou seja, bem projetado do ponto de vista estético, mas com um custo muito alto, por exemplo.

Em publicações anteriores (Ferroli et. al., 2002) foram demonstrados os procedimentos que levaram a concepção do método e a estrutura básica que este apresenta. No entanto, para o bom desenvolvimento do MAN-6F é necessário que a equipe de projeto disponha de três itens: conhecimento da estrutura básica do método e de suas inter-relações; conhecimento da linha teórica que delimita cada um dos desdobramentos de cada um dos fatores presentes; e conhecimento do procedimento sistemático das etapas, com aplicação das listas de verificação e análises referentes a cada estágio do método.

Esse artigo tem por objetivo principal o preenchimento da lacuna referente a linha teórica delimitadora dos fatores fabris. Os demais fatores serão abordados em artigos futuros.

2. Fatores fabris e de manufatura

Conforme Ferreira et al. (2001), o contexto industrial está sofrendo mutações constantes, em virtude principalmente da diminuição do ciclo de vida e da grande complexidade que os produtos atuais apresentam.

O MAM-6F (Método para Análise de Materiais em seis Fatores) deverá ser aplicado após a etapa de geração de alternativas, independente da metodologia projetual utilizada. Com sua utilização, o principal objetivo é uma redução do tempo gasto no projeto. À princípio, a aplicação pode aumentar o tempo gasto na seleção dos materiais, mas isso será recompensado, pois evitar-se-á trocas de materiais em etapas posteriores. Ou seja, a aplicação do método é sugerida entre etapas onde possíveis problemas referentes ao produto em questão serão avaliados e sofrerão intervenções antes que a produção tenha início, reduzindo as possibilidades de retrabalho ou ajustes projetuais.

O modelo desenvolvido inspirou-se na relação de causa e efeito que existe entre os grupos de fatores econômicos, ergonômicos, mercadológicos, estético, ecológicos e fabris. Por isso, os elementos utilizados na análise do primeiro fator considerado (o fabril) são os mesmos utilizados na ferramenta de causa-efeito de Isikawa. Para buscar uma melhor compreensão, o item seguinte desse capítulo analisa o ambiente fabril de um produto.

3.1. Relação de causa e efeito no processo fabril de um produto

Naturalmente existe uma relação de causa e efeito entre os fatores que devem ser considerados para a análise de um processo de fabricação. O diagrama de Ishikawa em sua forma original já estabelece os relacionamentos diretos que podem ser considerados em um ambiente fabril: matéria-prima, máquina, medida, meio-ambiente, mão-de-obra e método.

Essa ferramenta é amplamente utilizada nas fábricas, no entanto, do modo como está sendo aproveitada, somente relaciona e analisa o que ocorre dentro da estrutura fabril, ou seja, no chão-de-fábrica. Dentro dessa abordagem a ferramenta é muito eficiente, pois demonstra claramente a mudança causada em um dos ramos da espinha-de-peixe, quando se altera outro, como ilustra o exemplo seguinte, que sugere a alteração no material (item matéria-prima), com o qual fabrica-se um produto: fabricar a carcaça de um equipamento, que até então era de aço carbono cromado (SAE 1020) por um tipo de plástico industrial, por exemplo, PA 6.6 Technyl®.

Ao se proceder essa modificação, certamente vai estar se alterando a forma de fabricação a ser empregada (item método). Logicamente que no processo anterior, existiam etapas como traçagem de chapas, corte com oxi-corte ou laser, dobramento de chapas (conformação mecânica), tratamentos superficiais (fosfatização, cromagem, pintura, etc.), soldagem, entre outros. Essas etapas não fazem mais sentido quando passou-se a utilizar-se materiais plásticos.

A mudança do material poderá levar à mudanças dimensionais, de tolerâncias (item medida). Certos ângulos, dobras, uniões, e assim por diante, diferem muito de material para material. Também não serão utilizadas muitas máquinas que antes faziam parte do layout fabril (item máquina). No lugar de máquinas de solda MIG e tanques de fosfatização aparecerão injetoras e extrusoras de plásticos. A substituição do maquinário, levará à exigência do aprendizado de comandos e sequências diferentes, levando a necessidade de imediato treinamento (item mão-de-obra). Do mesmo modo, a troca de máquinas, substituição de bancadas e fluxo de produtos inacabados promoverá alterações no layout fabril (item meio-ambiente), o que poderá modificar inclusive zonas de segurança e necessidade de uso de EPIs em algumas áreas, que antes não precisavam (ou o inverso).

3.2. Relação de causa e efeito – extrapolação para além do chão-de-fábrica

Até o momento, as modificações discutidas estão inseridas dentro do contexto fabril. No entanto, todos esses desdobramentos podem ser alinhados em um fluxo de análise, denominado Fatores Fabris/Manufatura, conforme ilustra a figura 1.

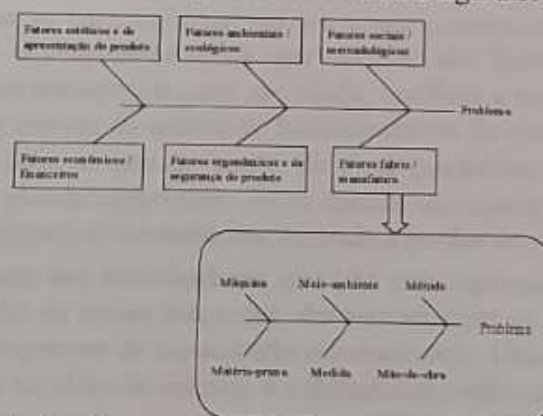


Figura 1. Desdobramento primário do processo fabril de produtos.

Essa relação foi baseada no modelo de Scherer & Ross (1990), que dentre outras proposições afirmam que a estrutura de uma indústria relaciona-se com o mercado (através do número e da distribuição de vendedores e compradores), pelo grau de diferenciação do produto, número

e características dos competidores, integração vertical da empresa, diferenciação de sua linha de produtos, relação de oferta e demanda, concentração dos fornecedores de matéria-prima utilizadas, modelo de produção adotado, vida útil do produto, características da política de marketing adotada, sazonalidade do produto, e assim por diante.

Dentro dessa realidade, observando-se a figura 1, pode-se notar que a mudança ocorrida no sistema fabril, resultado da alteração da matéria-prima com a qual o produto está sendo fabricado, poderá causar modificações de caráter estético, como por exemplo, o uso ou não das regras da *gestalt* (*fatores estéticos e de apresentação do produto*). Ou ainda, o novo material escolhido pode ter, no processamento, uma carga de emissões nocivas ao meio-ambiente diferente do material anterior, pode ser reciclável ou não, pode permitir o uso de subprodutos ou não, e assim por diante. Essas possibilidades fazem parte dos *fatores ecológicos / ambientais*.

A questão da segurança do usuário, visto sob o enfoque da toxicidade ou não da matéria-prima utilizada ou resultante de algum processo de transformação poderá ser bastante modificada (*fatores ergonômicos e de segurança do produto*). No momento em que as necessidades apontadas acima como troca de maquinário, treinamento da mão-de-obra, estudo de impacto ambiental, entre outros se faz presente, há, logicamente um custo (*fatores econômicos / financeiros*).

Existe ainda o problema da concorrência, da globalização, da política de marketing a ser adotada, da empresa a ser escolhida para o *benchmarking*, etc. (*fatores sociais / mercadológicos*). Esse capítulo apresenta, na sequência, o desdobramento e uma discussão mais aprofundada de cada um dos grupos de fatores apresentados na figura 1.

4. Conceituação dos fatores fabris e de manufatura

As considerações sobre o processo fabril de um produto constituem-se de etapa importantíssima para análise da equipe de projetistas de novos produtos. A maioria das fábricas tem um parque fabril montado, especializado em realizar certas operações. Um dos critérios básicos para o sucesso de um novo produto é um certo grau de inovação, o que vem geralmente acompanhado de alguma mudança estética, tecnológica ou de cunho social, por exemplo. Dessa forma, como mostrado na figura 1, os fatores fabris e de manufatura foram desdobrados em seis elementos:

- máquina: consideram-se aqui não somente as máquinas propriamente ditas, mas também os equipamentos, ferramental, dispositivos, containers, bancadas, utensílios, instrumentos de medição, ferramentas de corte, etc. usadas no parque fabril. Nesse item pode-se, por exemplo, confrontar-se as características de um torno convencional e de um torno CNC (Comando Numérico Computadorizado) em termos de hora-máquina, produtividade atingida, necessidade de manutenção, etc., ou ainda, verificar a necessidade de aquisição ou não de novas máquinas através da análise do balanceamento do sistema produtivo (existência ou não de gargalos). Sabe-se que do ponto de vista produtivo, nem sempre é vantajoso utilizar máquinas com grande capacidade. Se as demais não acompanharem o ritmo, pode-se gerar altos níveis de estoques intermediários, levando a perdas de caráter econômico.
- mão-de-obra: diz respeito aos trabalhadores que vão estar operando as máquinas. Havendo necessidade de aquisição de novas máquinas, deve-se analisar as capacidades da equipe de produção, estudando programas de capacitação e treinamento. Um dos graves problemas que ocorrem, especialmente no chão-de-fábrica, é a disparidade entre os investimentos realizados na aquisição de máquinas e equipamentos cada vez mais complexos (por exemplo) e o pouco investimento na qualificação dos operadores.
- medida: quanto mais "estreitas" forem as tolerâncias dimensionais de um produto, mais complexa é a sua fabricação, o que vai exigir máquinas mais rígidas, com ferramentas

construídas com materiais mais nobres, mais afiadas, mais modernas, etc. Stemmer (1994) mostra que, em operações de usinagem onde a tolerância é muito pouco flexível, as máquinas precisam ser automáticas, com grandes velocidades de corte e avanço, grande potência e extrema rigidez. Nessas máquinas normalmente usam-se ferramentas de corte de materiais mais caros, como as cerâmicas, *cermets*, diamante e metais duros revestidos com carbonitreto de titânio, por exemplo. Essas considerações passam a ser importantes na análise da viabilidade fabril de um produto. A terceirização é uma boa alternativa, porém nem sempre é a mais econômica. As dimensões de um produto devem ser cuidadosamente estudadas, desde a aquisição das matérias-primas (dimensões comerciais disponíveis), até as medidas finais, que influenciarão no custo do transporte e facilidade de exposição e venda.

- método: o método a ser empregado pode ser função da quantidade a ser produzida. Por exemplo, pode-se produzir uma mesma peça ou componente feito com plástico, tanto por usinagem quanto por modelagem (injeção). No entanto, Albuquerque (1999) explica que se forem construídas poucas peças, o custo do molde tornará o processo de injeção muito caro, preferindo-se então, usinar as peças. Caso contrário, a usinagem é que se tornará economicamente menos atrativa. Salles et al. (2001) explicam que o método empregado depende da quantidade a ser produzida, da forma desejada (complexidade), do grau de precisão desejado e sobretudo do material utilizado (o plástico industrial UHMWPE – Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular, por exemplo, não pode ser processado por métodos convencionais de injeção, sopro ou extrusão, devido ao seu baixo índice de fluidez).
- meio-ambiente: o ambiente do processo fabril tem influência direta na qualidade e produtividade dos lotes processados. Aborda-se aqui, desde o aspecto físico do chão-de-fábrica (cores das paredes, luminosidade, acesso ao ferramental, organização, visibilidade, etc.) até o aspecto psicológico (ambiente que prime pelo diálogo, burocracia limitada, higiênico, e assim por diante).
- matéria-prima: qualquer alteração do material que vai ser empregado para a confecção de um produto, exigirá uma reavaliação de todo o processo fabril. Mesmo materiais de um mesmo grupo, por exemplo, substituição de aço carbono SAE 1045 por aço inoxidável AISI 304 na lateral de um produto (ambos pertencem ao grupo de materiais denominado metais), promove modificações simples como o tipo de solda a ser empregado, o tipo de tratamento superficial a ser usado, a maneira de cortar a chapa, e assim por diante).

4.1. Correlacionamentos entre os fatores fabris

Percebe-se pois, que os fatores não são estanques. Pelo contrário, são interdependentes e, não somente na esfera desdobrada, também se relacionam com os demais: mercadológicos, ergonômicos, econômicos, estéticos e ecológicos. Teixeira (1999) fornece alguns critérios para a seleção de materiais como resistência (dimensionais, mecânica, ao desgaste), durabilidade, conhecimento dos processo de transformação (facilidade de fabricação, produtividade esperada, rendimento), disponibilidade do material e viabilidade de reciclagem. A empresa inglesa Tangram (www.tangram.co.uk), especializada na seleção de plásticos industriais para produtos, relaciona uma série de questões (*design questions*) para auxiliar essa tarefa, dividindo-as em 11 grupos:

- variáveis mecânicas: resistência à tração, compressão, cisalhamento, flexão, fadiga, alongamento;
- variáveis fabris: processos usuais de transformação como usinagem, estampagem, injeção;
- variáveis elétricas: condutibilidade, resistividade, constante dielétrica;
- variáveis térmicas: temperaturas máxima e mínima de operação, temperaturas para estocagem e transporte, temperatura para operações contínuas, dilatação;

- variáveis químicas: resistência a ácidos, a álcoois, a organismos orgânicos, a solventes, a corrosão;
- variáveis ópticas: claridade, lustro, índice de transparência;
- variáveis ambientais: usos "dentro e fora" da empresa (*indoor use e outdoor use*), contato com outros materiais, toxicidade;
- variáveis magnéticas: susceptibilidade, polarização;
- variáveis anti-chamas: estabilidade, integridade, temperatura de fulgor, emissões gasosas, toxicidade;
- variáveis de uso e atrito: resistência ao desgaste e ao uso, ao atrito, coeficientes de atrito estático e dinâmico; e
- variáveis acústicas: absorção de vibrações e níveis de ruídos.

A escolha do material, conforme visto, pode promover diversas modificações no ambiente fabril. Uma delas está relacionada com a mão-de-obra envolvida no processo. O grau de multifuncionalidade dos operários, analisado pela polivalência funcional, pode encorajar ou desanimar alterações mais inovadoras.

A polivalência da mão-de-obra afeta a escolha do tipo de layout da fábrica (relacionando-se diretamente com o meio-ambiente produtivo). Tubino (2000) mostra a diferença entre os tipos mais comuns de layout: departamental e celular, e o modo como essa escolha influencia o tipo de sistema de produção adotado (de puxar ou de empurrar a produção). O layout celular exige que os trabalhadores que operam uma célula produtiva sejam polivalentes, exercendo várias tarefas e operando máquinas distintas simultaneamente, conforme pode ser melhor observado na figura 2.

Para Tubino (1997) diversos fatores justificam o uso do layout do tipo departamental, amplamente utilizado nas empresas, dentre eles o conceito "contábil" de valor agregado, a facilidade de elaboração do layout, instabilidade da demanda e facilidade no trato com os funcionários. No entanto, o layout departamental apresenta grandes desvantagens em relação ao do tipo celular, onde utilizam-se os conceitos de produção de fluxo unitário, como os usados em linhas de montagens contínuas. O layout celular, através da redução dos *leadtimes* de fabricação dos itens, aumenta a flexibilidade do sistema produtivo e diminui a necessidade de estoque intermediário (estoque em processo) entre as células de manufatura.

Uma percepção errada que se faz normalmente quanto ao relacionamento do equipamento com a produção é a sua flexibilidade. Quando o produto é alterado, ou cria-se uma mudança no *mix* de produtos vendidos, o processo também tem de ser alterado e/ou sua capacidade revisada. Machado (1990) defende a informatização do maquinário alertando, no entanto, que centros de usinagens e sistemas flexíveis de manufatura não são realmente flexíveis, já que costuma-se dimensioná-los para serem econômica e fisicamente mais adequados para um determinado intervalo de tolerâncias, e a um conjunto de características de formato.

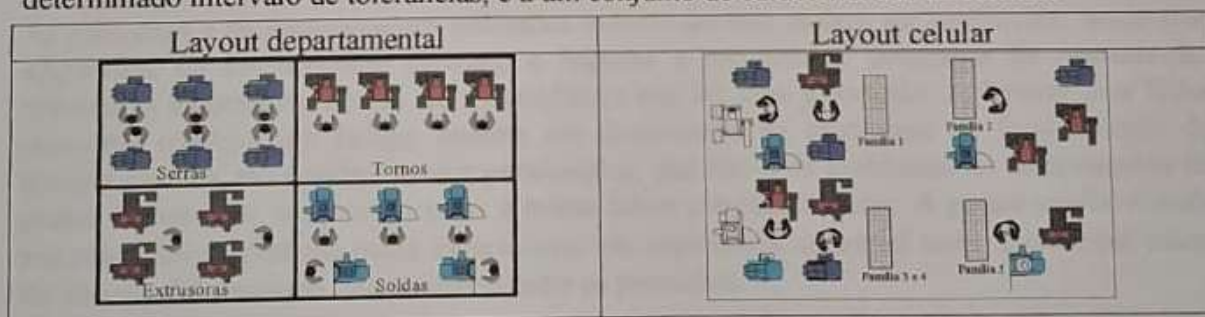


Figura 2. Layout departamental e layout celular. Fonte: Tubino (2000).

A relação entre tolerâncias dimensionais (medidas), máquinas e mão-de-obra é complexa. Conforme explicam Sousa et. al. (2001), altos investimentos realizados em tecnologia de

medição precisam estar escorados nos recursos humanos disponíveis. A atividade metroológica é fundamental para montar-se um padrão alto de qualidade e conforme pode-se observar na figura 3, as consequências de possíveis erros de medição pode ser a aprovação de peças ruins ou reprovação de peças boas. Na maioria dos casos, esses "erros" não são ocasionados pelo maquinário instalado e sim pelo ambiente (falta de estabilidade térmica, com fluxos de ar e máquina mal posicionadas – perto de fontes de calor, por exemplo) e pelos recursos humanos envolvidos (onde operadores sem qualificação podem obter resultados de medições sem confiabilidade).

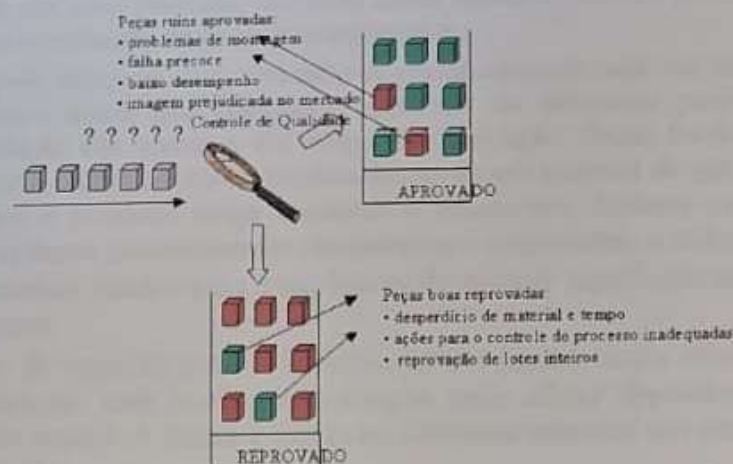


Figura 3. Consequências dos erros de medição. Fonte adaptada: Sousa et. al. (2001).

A importância do processo de medição vai desde a concepção do produto até o controle da produção. Segundo Parath & Sousa (2002), é importante que o sistema de medição usado garanta altos índices de flexibilidade, produtividade, informatização, precisão e confiabilidade. Para os autores, a atual TMC (Tecnologia de Medição por Coordenadas) não somente garante os requisitos comentados anteriormente, como também tem-se mostrado uma eficiente ferramenta de engenharia reversa, pois possibilita a digitalização precisa de superfícies com formas livres. Esse tipo de tecnologia é hoje muito usada em processamento de polímeros, devido à crescente exigência por apertadas tolerâncias dimensionais e à complexidade geométrica do ferramental de injeção e das peças injetadas.

O equipamento usado pelas fábricas, diz Harmon (1993), se corretamente adaptado para um produto e continuamente modificado, de modo a incrementar suas características de relacionamento entre qualidade e produtividade determinará, por si só, o custo da produção. Por isso, um planejamento a longo prazo para a compra de novos equipamentos e a melhoria dos existentes devem ser a essência da estratégia a ser adotada por uma empresa que pretenda atingir a excelência no processo fabril.

As máquinas e os equipamentos utilizados industrialmente podem ser confiáveis, desde que adquiridos de fornecedores capazes, e sujeitas a um correto programa de manutenção preventiva e corretiva. Porém, se a manufatura não for bem planejada, ou houver uma falha ocasional (ruptura por fadiga, queima em decorrência de problemas de fornecimento de energia elétrica, etc.) poderá causar paralisações, que vão criar problemas no cumprimento de prazos e execução dos cronogramas e metas fabris preestabelecidas. A pouca confiabilidade nas máquinas é apontada pelos especialistas em engenharia industrial como a principal causa do alto nível de estoque intermediário entre os processos.

Deve-se observar, sob esse aspecto, que um programa de manutenção mal elaborado e/ou executado, leva a prejuízos na qualidade do produto final, aumento dos custos resultantes de retrabalhos, altos índices de refugos, problemas de medidas quando as ferramentas utilizadas

nas máquinas estão desgastadas e, portanto, incapazes de atender as exigências dimensionais projetadas, e assim por diante.

Atualmente existem diversos meios de se estudar (virtualmente) as características dos processo de fabricação e, através desses, comparar as máquinas que serão necessárias, buscando sempre uma melhor relação de custo e benefício. Por exemplo, sabe-se que hoje é fundamental que se conheça o real custo de cada operação de manufatura, de cada componente, o que pode exigir que se estabeleça metas a serem atingidas. A “manufatura virtual” está cada vez mais presente, utilizada como forma de estudar processos e máquinas mais eficazes para a produção de peças e componentes.

A escolha do método adequado está tornando-se gradativamente cada vez mais complexo, em virtude dos projetos atuais que combinam materiais de diferentes propriedades, sempre objetivando a redução dos custos e do tempo de fabricação. Peças fundidas (metálicas) e moldadas (plásticas), costumam ser produzidas com mais material do que as próprias peças necessitam, porque o processo exige canaletas e condutores. Embora os condutores e as canaletas (coladas) sejam posteriormente recuperadas e reutilizadas, a redução ao mínimo do consumo dos materiais usados para esse fim pode reduzir significativamente o custo de energia dos processos.

No processamento de materiais plásticos, Garcia (2001) mostra vários métodos diferentes de moldagem por injeção, cada qual com aplicação mais eficaz dependendo dos tipos de materiais que serão usados. A figura 4 ilustra os diferentes métodos que podem ser aplicados no processo de injeção.

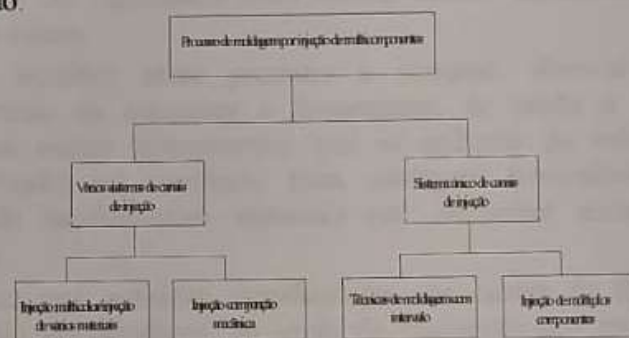


Figura 4. Processos de moldagem por injeção. Fonte: Garcia (2001).

Um estudo apresentado por Harmon (1993) mostra uma alteração no material do gabinete de um retroprojektor (antes metálico, para plástico). O gabinete feito de plástico moldado reduziu o número de componentes metálicos, na montagem, de 100 para 16 itens. A redução drástica do número de itens diminui o número de operações de fabricação necessárias, volume de compras, quantidade de ferramentas, dispositivos e máquinas necessárias (reduzindo consequentemente os custos de operação), reduz a incidência de erros e os custos para remediá-los.

Back & Forcellini (1999) comentam sobre a preocupação dos projetistas nos custos fabris, explicando que métodos como o DFA e DFM levam à racionalização de funções, de modo a permitir a substituição de “n” partes ou montagens (necessárias para a execução da referida função) por peças modulares.

Segundo Back & Forcellini (1999), o DFMA (Design for Manufacture and Assembly) surgiu na Europa, nos anos 70. O DFA foi criado primeiramente dentro do conceito de projeto para manufatura e montagem (DFMA) em virtude da necessidade de reprojetar produtos com o objetivo de automatizar a montagem, na época em que a automação da produção era a questão central das empresas em busca da competitividade, e havia muita dificuldade de se transmitir as necessidades presentes no chão-de-fábrica para os demais membros da equipe de projeto.

A divisão em DFM e DFA da metodologia DFMA aconteceu de forma arbitrária, existindo algumas diferenças básicas que ajudam a compreender melhor o mérito de cada metodologia. Basicamente, o DFA enfoca: consolidação das peças; montagem vertical com o auxílio da gravidade; uso de características de orientação e inserção de peças; e revisão do projeto conceitual através do consenso da equipe de projeto (promovendo a engenharia simultânea). Já o DFM compara o uso de diferentes combinações de materiais e processos de fabricação selecionados para as partes de uma montagem e determina o impacto do custo com o uso destes materiais e processos. Ou seja, enquanto o DFM avalia cada peça em separado e recomenda peças simples em substituição a uma peça de forma geométrica mais complexa (acarretando um aumento do número de peças), o DFA avalia todo o produto, não só as peças individualmente, e tende a simplificar a estrutura do produto enquanto mantém o projeto flexível, procurando o mais eficiente uso da função do componente.

Segundo os autores, os sistemas modulares são técnica e economicamente viáveis pois auxiliam na racionalização da produção. Apresentam como vantagens, para o fabricante, documentação fácil, planejamento e produção do produto servindo para diferentes possibilidades (a não ser em casos especiais), facilidade de combinação com peças não modulares, menor tempo de fabricação, de implementação de pedidos e de projeto, possibilidade de manter níveis de estoques (tanto intermediários quanto de produtos finais) sem prejuízo, facilidade de montagens, etc..

Já o cliente, ao optar por produtos modulares pode obter entregas mais rápidas, alterações e pedidos de ampliação de capacidade mais fáceis, menor necessidade de manutenção e reposição de peças, e outras.

Na dificuldade de escolher entre produzir e comprar, deve-se levar em conta o desenvolvimento interno de máquinas e ferramentas, de modo a gerar uma vantagem competitiva sobre os outros concorrentes que se utilizam de máquinas adquiridas de fabricantes especializados no comércio. Essa vantagem competitiva também pode ser adquirida através de modificações especiais nas máquinas existentes, tornando seu desempenho superior.

Dieter (1997) explica que reduções significativas nos custos de fabricação resultam de alterações no desenho dos produtos, ao invés de mudanças nos métodos ou sistemas de fabricação, como comumente utilizados. Dessa forma, para obter projetos fabricáveis de modo viável, os projetistas devem: conhecer as melhores máquinas, ferramentas, processos e métodos de montagem aplicáveis, e projetar produtos e seus componentes visando a otimização em todos os aspectos; e usar materiais e selecionar componentes que se prestem a uma produção de alta qualidade e baixo custo.

A observância desses relacionamentos pode diminuir o percentual de risco que um novo produto envolve, contribuindo para um ganho considerável na redução do custo fabril e no aumento da qualidade e produtividade dos produtos projetados, colocando o setor produtivo como um dos responsáveis diretos pelo diferencial competitivo da empresa.

3. Considerações finais

Conforme comenta Wireman (1998), as escolhas envolvidas em um processo fabril (tomadas de decisão) devem ser, primeiro, analisadas conceitualmente (em teorias, simulações) para então, após a obtenção do domínio conceitual e das respostas aos possíveis problemas de sua implantação, serem aplicadas no chão-de-fábrica.

É importante essa simulação pois certas necessidades que podem surgir, como aquisição de novas máquinas e alterações no layout podem ser bem onerosas. Várias empresas fornecem softwares para a manufatura virtual, como pode-se ver nas páginas www.oncoursetechnologies.com, www.teksoft.com, www.microest.com,

www.cimtronics.com e www.cam-soluticons.com. Dentre outros, essas empresas fornecem softwares especializados em busca e seleção de processos de fabricação, estimativa de custos fabris e gerenciamento de máquinas e layout (*machine shop estimating, fabrication estimating and process planing, tool management system, CAD/CAM – Feature based, etc.*).

É uma questão de análise que não pode ficar apenas na esfera da “fabricação” do produto propriamente dita, pois essa, conforme pode-se analisar pela figura 1 desse artigo representa apenas um de uma lista de seis fatores (fabris, econômicos, ergonômicos, ecológicos, mercadológicos e estéticos).

A análise completa portanto, deve correlacionar todos esses fatores, o que obriga a um procedimento interdisciplinar, no qual os setores de uma empresa, como finanças, marketing e produção (por exemplo), precisam cooperar entre si, buscando uma única direção a ser tomada e que abranja as necessidades de todos os processos (fabris ou não) envolvidos no design de um novo produto ou no redesign de produtos existentes.

Quando da aplicação do MAM-6F os fatores fabris são os primeiros a terem o *check-list* preenchido. Do resultado da análise dos fatores fabris, o grupo de materiais possíveis para a confecção do produto será delimitado entre 16 a 18 materiais. Com o preenchimento dos demais *check-lists*, esse número é reduzido gradualmente até o valor final entre 1 a 3 tipos de materiais.

Referências

- ALBUQUERQUE, Jorge Artur C. **O Plástico na Prática**. Ed. Sagra Luzzatto, Porto Alegre, RS, 1999.
- BACK, Nelson & FORCELLINI, Fernando. **Projeto para Manufatura**. Apostila do curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, PPGEM-UFSC, 1999.
- BRASIL, Edson. **Conformação Mecânica I**. Apostila do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 1993.
- DIETER, George E. **Materials Selection and Design**. Chairman Vol. 20, University of Maryland, 1997.
- DIMANDESCU, Dan & DWENGER, Kemp. **O Segredo do Lançamento de Produtos**. In: HSM Management n° 4, setembro de 1997.
- FERREIRA, José M. G. Carvalho; ALVES, Nuno M. Fernandes; MATEUS, Artur J. Santos; CUSTÓDIO Pedro M. C. **Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de engenharia inversa e técnicas de prototipagem rápida**. In: Revista brasileira de gestão de desenvolvimento de produto, 1, setembro de 2001.
- FERROLI, Paulo Cesar Machado; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Régis Heitor; FIOD NETO, Miguel. **Discussão conceitual dos possíveis desdobramentos dos processos de fabricação de produtos**. In: XX ENEGEP, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, PR, 23 a 25 de outubro de 2002.
- GARCIA, Miguel. **Moldagem por injeção de multicomponentes: processos, técnicas e aplicações**. In: Plástico Industrial, Ed. Aranda, n° 33, p. 78-95, Maio de 2001.
- HARMON, Roy L. **Reinventando a Fábrica II**. Ed. Campus, Rio de Janeiro, RJ, 1993.
- MACHADO, Aryoldo. **Comando Numérico aplicado as Máquinas Ferramentas**. Ed. Cone, São Paulo, SP, 1999.
- MEREDITH, J. R. & MANTEL JR, S. **Project management: a managerial approach**. Ed. Wiley, New York, USA, 2000.
- PARATH, Maurício de C. & SOUSA, Roberto de. **Medição por coordenadas propicia ganhos nas diversas etapas da moldagem de plásticos**. In: Plástico Industrial, Ed. Aranda, n° 45, p. 154-161, Maio de 2002.
- SALLES, J. L.; CORRÊA, L. O.; GONÇALVES, M. T. **Estudo analisa a usinabilidade do polietileno ultra alto peso molecular (UHMWPE)**. In: Plástico Industrial n° 34, Ed. Aranda, p. 50-61, Junho 2001.
- SCHERER, F. & ROSS, David. **Industrial Market Structure and Economic Performance**. Houghton Mifflin Company, Boston, USA, 1990.
- SOUSA, A. R.; SCHNEIDER, C. A.; MAAS, G. A. **Como utilizar a medição por coordenadas com eficiência e confiança**. In: Máquinas e Metais, Ed. Aranda, n° 424, p. 114-127, Maio de 2001.
- STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de Corte**. Ed. UFSC, Florianópolis, SC, 1994.
- TANGRAM. **Technical Information Pages**. In: www.tangram.co.uk
- TEIXEIRA, Joselena de Almeida. **Design & Materiais**. Ed. CEFET, Curitiba, PR, 1999.
- TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. Ed. Atlas, São Paulo, 1997.
- TUBINO, Dalvio Ferrari. **Sistema de Produção**. CD-ROM, Florianópolis, 2000.
- WIREMAN, J. **Mechanical Engineering Design**. Industrial Press, USA, 1998.