

## Desenvolvimento e implementação de um método de redução de tempo de preparação de máquina em ambientes de manufatura contratada

Samuel Vieira Conceição (UFMG) [svieira@dep.ufmg.br](mailto:svieira@dep.ufmg.br)  
Iana Araújo Rodrigues (UFMG) [iana.araujo@gmail.com](mailto:iana.araujo@gmail.com)  
Ormeu Coelho da Silva Júnior (UFMG) [ormeucoelho@yahoo.com.br](mailto:ormeucoelho@yahoo.com.br)  
Andressa Azevedo do Amaral [dressa\\_Azevedo@yahoo.com.br](mailto:dressa_Azevedo@yahoo.com.br)  
João Flavio de Freitas Almeida (UFMG) [jotaefy@gmail.com](mailto:jotaefy@gmail.com)

### Resumo

*Este artigo desenvolve uma metodologia de redução do tempo de preparação de máquina (tempo de changeover) para ambientes voláteis de manufatura contratada do setor de eletroeletrônico e informática. As empresas desse setor fabricam uma grande variedade de produtos, caracterizados por um alto valor agregado, curto ciclo de vida e demanda volátil, exigindo dessa forma o desenvolvimento de metodologias científicas com o objetivo de aumentar a flexibilidade dinâmica para acompanhar as variações do mercado. A metodologia desenvolvida foi aplicada numa linha de produção SMT (Surface Mount Technology). A diminuição do tempo de changeover é extremamente relevante, pois possibilita a redução da necessidade de estoques intermediários; aumento da flexibilidade de produção com lotes e lead times menores; respostas rápidas ao cliente e melhoria da programação da produção.*

*Palavras-chave: Redução de changeover; SMED; Manufatura contratada.*

### 1. Introdução

Nos ambientes caracterizados por alta variedade de produtos e baixo volume de produção torna-se imprescindível o desenvolvimento de competências distintas relacionadas à flexibilidade.

Segundo Upton (1995), a flexibilidade pode ser definida de duas formas: (i) habilidade de trocar rapidamente a produção (mobilidade que possibilita maior capacidade de resposta às variações da demanda) e (ii) habilidade de produzir uma grande variedade de produtos.

Cyr *et al.* (1997) ainda destacam que os fabricantes de produtos eletrônicos estão inseridos em um ambiente altamente dinâmico, com demandas diversificadas e mercado evolucionário. Esse dinamismo se deve ao curto ciclo de vida dos produtos com altas taxas de inovações.

Outra característica relevante do setor eletroeletrônico é a predominância de um modelo organizacional em que as empresas detentoras da marca, OEM (*Original Equipment Manufacturer*), contratam serviços de manufatura às empresas EMS (*Electronic Manufacturing Services*). O aumento expressivo da oferta desses serviços é mais um agravante da competitividade enfrentada.

O objetivo deste artigo é mostrar a implementação do SMED (*Single Minute Exchange of Die*) - Troca Rápida de Ferramenta, numa linha de produção SMT da empresa de manufatura contratada estudada e está estruturado da seguinte forma: a seção 2 fornece revisão bibliográfica dos principais assuntos abordados, a seção 3 destaca a metodologia de implementação da metodologia SMED desenvolvida, a seção 4 descreve os resultados alcançados, por último, a seção 5 mostra as conclusões do estudo.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Manufatura Contratada

A função das empresas de manufatura contratada (*Contract Manufacturer - CM*) ou EMS (*Electronic Manufacturing Service*), ou ainda, CEMS (*Contract Electronic Manufacturing Services*), inicialmente, era apenas fabricar produtos para as OEMs (*Original Equipment Manufacturer*). Hoje, a presença de mercados mundiais ampliou seu papel, tornando-as responsáveis, também, pela compra dos materiais, seleção de fornecedores e gerenciamento da cadeia de suprimentos (CHAN e CHUNG, 2002). De acordo com Sturgeon (1997) e Tanel (2005), a estratégia das OEMs é focar nas funções que apresentam relação direta com a manutenção do mercado, ou seja, desenvolvimento de produtos e marketing.

Segundo Hadaya *et al.* (2000), essa divisão das atividades é vantajosa para ambas as empresas. As OEMs se beneficiam pela rapidez de introdução de novos produtos, agilidade, flexibilidade e baixos custos. Já as EMSs conseguem baixos custos com a produção em escala. Além disso, seus clientes, geralmente, são concorrentes diretos, o que proporciona um aprendizado na fabricação dos produtos, possibilitando o aumento da competência em oferecer serviços de manufatura.

### 2.2. Redução de *Changeover*

McIntosh *et al.* (1996) definem *changeover* como a soma do tempo de *setup* (parada da linha de produção na troca de produto) e o tempo de *run-up* (tempo gasto para estabilizar a produção referente às taxas de produtividade e qualidade). Mileham *et al.* (1999) complementam dizendo que os processos de melhoria no tempo de *changeover*, geralmente, se dedicam apenas aos aspectos de *setup* desse, o que faz com que, muitas vezes, seja definido pelos autores como redução de *setup*.

Van Goubergen (2000) cita três razões para tal redução: 1. Flexibilidade e redução de estoques – possibilidade de produção de pequenos lotes e, conseqüentemente, aumento da variedade de produtos ofertados em menores quantidades; 2. Capacidade do gargalo - aumento da capacidade produtiva e 3. Minimização de custos - uma porção do custo de um produto é determinada pelo custo de produção, diretamente relacionado ao desempenho das máquinas, que terá menos tempo ocioso com a redução do tempo de *setup*.

Diaby (2000), McIntosh *et al.* (1996), Mileham *et al.* (1999), Shingo (1989) e Shingo (1988), citam algumas vantagens com a redução do tempo de *setup/changeover*: produção de pequenos lotes, redução do *lead time*, redução de estoques, aumento da qualidade, redução de desperdício e retrabalho, aumento da flexibilidade e responsividade e aumento de produtividade.

Mileham *et al.* (1999), Van Goubergen e Van Landeghem (2002) e McIntosh *et al.* (1996), objetivando reduzir o excesso de esforço físico, ajustes e variedades no processo de *changeover*, fornecem regras para o desenvolvimento de novos equipamentos ou melhoria dos existentes. Isso possibilita um *setup* padronizado e eficiente.

Na criação de metodologia para a realização do *changeover*, existe uma ferramenta bastante difundida: o SMED (*Single Minute Exchange of Die*). A maioria dos autores aborda a metodologia de Shingo ao se tratar da redução de *setup/changeover*: Sharma (2001), Agustin e Santiago (1996), Severson (1988) e Moxham e Greatbanks (2001).

A redução de *setup* com o uso do SMED contém as seguintes etapas (Shingo, 1988 e Shingo, 1989): i) não fazer distinção entre *setup* interno (executado com a máquina parada) e externo (executado com a máquina em funcionamento); ii) separação do *setup* interno e externo;

iii) conversão, ao máximo, do *setup* interno em externo; vi) aprimoramento do *setup* interno e externo.

Van Goubergen (2000) argumenta que, apesar do tempo de *setup* estar frequentemente relacionado apenas à área de produção, ele também é reflexo das ações de outras áreas da empresa. Ao não fornecer infra-estrutura apropriada e não treinar e realizar programas de conscientização da importância do curto tempo de *setup* suficientemente, a gerência influencia diretamente neste. A área de desenvolvimento de equipamentos, ao desconsiderar a facilitação do processo de *setup* aos usuários, ou a área de compras na aquisição de equipamentos baseada somente nos custos de investimentos ou, ainda, na aquisição de um mesmo material com especificações diversas, também refletem no tempo de *setup* da empresa. A área de projeto do produto, durante a concepção do produto, nem sempre preocupa com a eliminação de atividades de *setup*. Ao gerar ajustes demasiados para atender suas especificações rigorosas, o setor de qualidade aumenta o tempo de *setup*, assim como faz a gerência de materiais ao não disponibilizar os materiais a tempo de uso ou ao fornecer lista de materiais inadequada. O sistema de manutenção ineficiente ou o planejamento e controle da produção mal elaborados, também refletem negativamente no tempo de *setup*.

Segundo Shingo (1989), a redução de *changeover* é o pré-requisito para possibilitar a produção em pequenos lotes. Se fosse possível a redução do tempo de *changeover* a zero, isso possibilitaria a produção de lote unitário.

### 3. Metodologia e implementação da metodologia SMED na Empresa SACM

Neste trabalho, adotou-se a metodologia de pesquisa Pesquisa-Ação. A técnica de redução de *changeover* foi baseada em Shingo (1989).

A empresa estudada é uma multinacional do setor de eletroeletrônicos e informática que possui unidades na Europa, Américas e Ásia. Atualmente emprega aproximadamente 55000 pessoas. Seus principais produtos são: placas-mãe, placas de circuito impresso e montagem de produtos finais (impressoras e leitores de cartão de crédito), sendo os principais clientes as OEMs dos setores de telefonia, bens de informática e eletrônicos.

A aplicação da metodologia desenvolvida foi feita numa linha piloto de produção denominada SMT, que é caracterizada pelo uso da tecnologia que insere os componentes SMD (*Surface Mount Design*) automaticamente na superfície das placas de circuito impresso. A linha possui cinco máquinas: uma *Printer*, três *Insersoras* de componentes e um Forno. A *Printer* é responsável pela deposição de pasta de solda na placa onde os componentes vão ser afixados. As *Insersoras* se classificam em duas maneiras: *insersora* de componentes pequenos e em alta velocidade e *insersora* de componentes grandes em uma velocidade menor. O Forno tem a função de solidificar a pasta de solda depositada para fixar os componentes na placa.

Analisando-se a linha de montagem constatou-se que as atividades de *changeover* da *Printer* são: mudança de *stencil*, reprogramação, reabastecimento de pasta de solda, ajuste de *conveyor*, ajuste visual de fiduciais e mudança do apoio da placa. Já as atividades de *changeover* das máquinas *Insersoras* são: reprogramação, ajuste de *conveyor*, mudança dos alimentadores e troca dos apoios e as do Forno são: reprogramação e ajuste de *conveyor*.

A Figura 3.1 ilustra a metodologia desenvolvida, objetivando reduzir o tempo de *changeover*.

O desenvolvimento da metodologia de redução de *changeover* foi feito nas seguintes etapas: estabelecimento de uma equipe piloto; utilização de cronoanálise; utilização de técnica de filmagem; conversão de *setup* interno em *setup* externo; desenvolvimento de dispositivo mecânico; utilização de ferramentas de apoio (parafusadeiras elétricas e rodos); utilização de

identificadores de *stencil*; aprimoramento da documentação técnica; utilização de dispositivos sonoros e de controle visual; treinamento dos operadores.

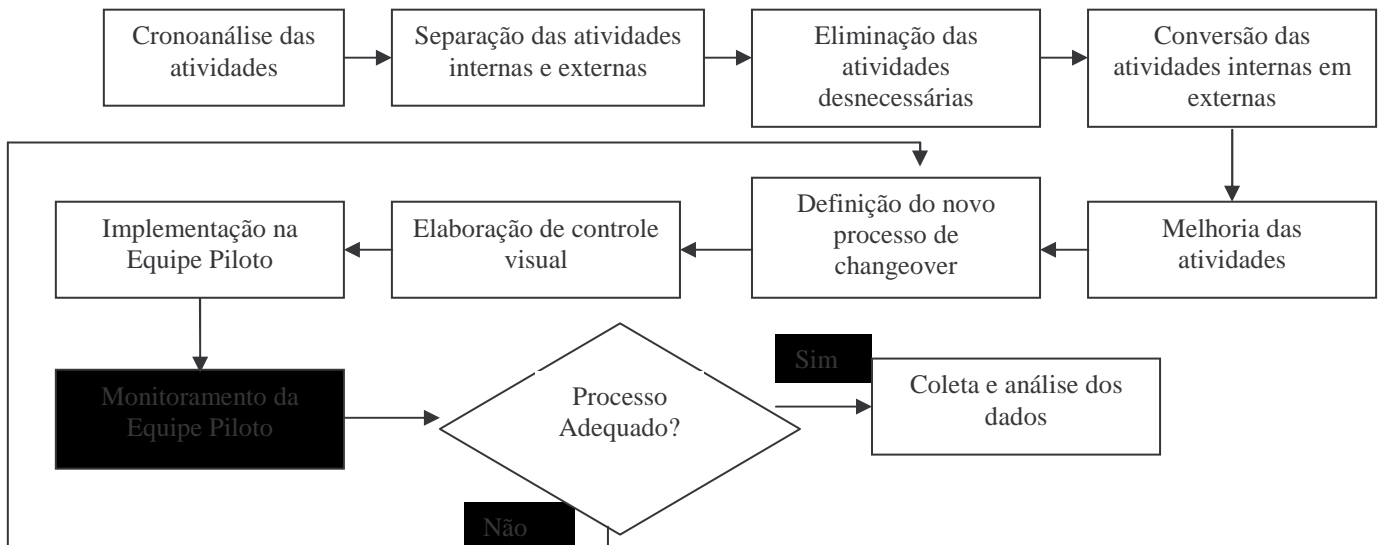


Figura 3.1: Etapas de implementação da metodologia de redução de tempo de changeover

O estabelecimento de uma “equipe piloto” objetivou desenhar um processo de redução de *changeover* que pudesse ser aprimorado e difundido para as outras linhas de produção.

O conhecimento do processo de *changeover* executado se deu através da observação e estudo de cronoanálise.

Uma atividade complementar realizada, como sugerem Monden (1994) e Van Goubergen (2000), foi a filmagem, possibilitando análise minuciosa do processo objetivando analisar e garantir que todas as atividades eram executadas internamente.

Durante a etapa de conversão do *setup* interno em externo, as tarefas de preparação e limpeza de materiais foram todas transformadas em externas, necessitando-se de um local para alocação desses. Para isso, desenvolveu-se um suporte móvel, denominado como *Kit Changeover*, ilustrado na Figura 3.2. O objetivo do *kit* era armazenar os itens de consumo durante o *changeover* da máquina *Printer*, possibilitando uma redução de movimentação do operador.

Na fase de otimização das operações do *setup*, houve melhoria tanto das atividades internas como das externas. Os aprimoramentos internos foram conseguidos com o desenvolvimento de um dispositivo mecânico, mostrado na Figura 3.3. Esse dispositivo foi utilizado na máquina *Printer*, eliminando a necessidade montagem das partes e componentes mecânicos individuais (Figura 3.4) os quais consumiam um tempo considerável. Um outro ganho de tempo conseguido com esse dispositivo foi a eliminação de uma atividade que consistia na verificação da posição central da placa com os apoios da máquina. Com o novo dispositivo, a placa passou a se encaixar exatamente no centro do gabarito.



Figura 3.2: Kit changeover



Figura 3.3: Dispositivo mecânico



Figura 3.4: Componentes mecânicos individuais


 Figura 3.5: Identificação do *stencil*

A utilização de parafusadeiras elétricas para ajustes de parafusos possibilitou, também, um ganho de tempo nas operações de produção das placas.

O uso de identificação dos *stencils*, Figura 3.5, orientou os trabalhadores sobre a posição correta de inserção desses na máquina, economizando tempo e eliminando os constantes erros de montagem. A identificação dos *stencils*, pode, também, ser considerada como uma melhoria externa, pois facilita a localização desses no momento de preparação dos materiais para a troca de produção.

Outra otimização interna foi o aprimoramento do formato e atualização da documentação técnica onde constam os procedimentos de fabricação dos diferentes tipos de placas. Isso permitiu que as especificações do processo fossem corretamente empregadas, assegurando a qualidade dos produtos. Cada estação ou posto de trabalho passou a possuir uma documentação individual, evitando a competição deste documento que era de necessidade simultânea.

O uso de um dispositivo sonoro foi usado para alertar os operadores sobre o início da atividade de *changeover*. Paralelamente, foi elaborado um tipo de controle visual, contendo, basicamente, as instruções da seqüência das atividades de cada operador em cada estação de trabalho.

Finalmente, a implementação da metodologia desenvolvida ocorreu com treinamentos teóricos e práticos sobre o novo método de redução de *changeover*.

A etapa de monitoramento e refinamento do método foi conduzida por meio de observações e entrevistas com os próprios trabalhadores e reuniões semanais.



#### 4. Análise dos Resultados

Os dados históricos da empresa apontam que o tempo médio de *changeover* era de aproximadamente 27 min. Com a implementação do novo processo, o tempo de *changeover* foi reduzido para 15 min, em média. Esse tempo tornou-se uma meta, a qual deve ser gradualmente reduzida à medida que melhorias sejam introduzidas e que todos estejam adaptados ao novo processo.

O gráfico, Figura 4.1, com o tempo médio de *changeover* da linha de produção estudada compreende uma avaliação dos dados referentes ao período de junho/05 a janeiro/06 e foi gerado pela divisão do tempo total gasto com *changeover* durante a semana pelo correspondente número de ocorrências.

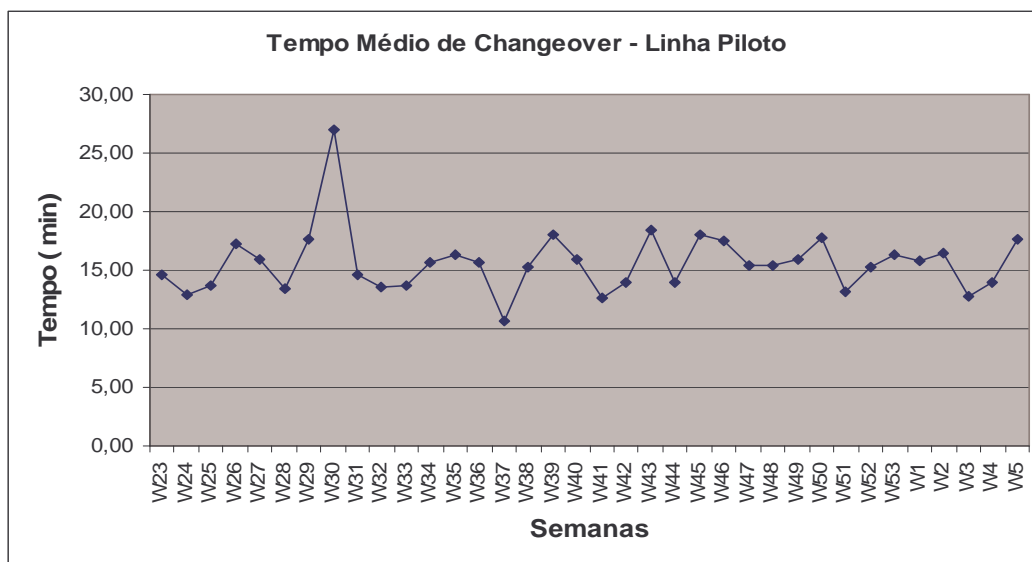


Figura 4.1: Tempo médio de *changeover* da linha piloto

Pela análise dos dados, notou-se uma variabilidade do tempo gasto com o *changeover*, justificada pelo crescimento acelerado e introdução de trabalhadores inexperientes no processo produtivo. Outra influência é o alto índice de rotatividade dos trabalhadores entre as linhas de produção, o que dificulta o conhecimento aprofundado do equipamento com o qual ele está lidando.

A demanda, extremamente volátil e a ampla carteira de clientes, exigem da empresa a capacidade de produção de um grande *mix* de produtos em pequenas quantidades e que sejam disponibilizados rapidamente no mercado.

Além dos benefícios citados anteriormente, a implantação da metodologia desenvolvida também permite um retorno financeiro com o aumento da disponibilidade de equipamentos. Como exemplo, tem-se a fabricação de 106 unidades do produto PCIA52 em uma hora de produção, cujo valor unitário é de R\$ 450,00. A redução de 12min no novo processo de *changeover* realizado, previsto com a introdução do SMED, permitiu a produção de mais 21 placas a cada vez que a atividade é executada, favorecendo o ganho de R\$9.450,00. Considerando que são realizados, em média, 20 *changeovers* na semana, isso representa um faturamento semanal extra de R\$ 189.000,00 para a Empresa SACM.

Os gastos com o desenvolvimento do novo processo de *changeover* foram, aproximadamente, R\$5.000,00. Portanto, contrabalançando os custos despendidos com os ganhos fica evidenciado o interesse em otimizar tal processo. Fazendo uma análise mais profunda, a empresa ganhou em flexibilidade. Doravante, ela dispõe de um método que a possibilita produzir lotes menores, com *lead times* reduzidos e baixo nível de estoque, diminuindo o tempo de resposta, melhor qualidade dos produtos e, de maneira geral, aumenta a competitividade frente aos seus concorrentes.

## 5. Conclusões

Os mercados dinâmicos, como o do setor eletroeletrônico, caracterizado pela fabricação de produtos de alto valor agregado com curto ciclo de vida, demanda instável, concorrência internacional, forte presença de empresas do tipo de manufatura contratada e fortes perspectivas de crescimento, têm exigido das empresas flexibilidade do processo produtivo, baixos custos e capacidade de resposta rápida às variações da demanda.

Outra característica importante é a tendência dessas empresas na produção de grandes variedades de produtos em pequenos volumes de produção, denominadas de HMLV (*High-mix, Low-volume*).

A implementação da técnica SMED na Empresa SACM possibilitou reduções significativas do tempo médio de *changeover*. Esses resultados foram conseguidos através da organização e padronização do processo, com pouca utilização de investimentos e retorno significativo para a empresa. De acordo com os dados históricos da empresa estudada, o *changeover* gastava um tempo médio de 27 min. A implantação da nova metodologia de execução desse processo possibilitou o alcance de tempos próximos à meta pré-estabelecida de 15 min. Parâmetro esse que deve ser gradualmente diminuído com a repetição e melhoria contínua da atividade. Quanto à relação custo-benefício, houve o investimento de aproximadamente R\$ 5.000,00 e, com o exemplo analisado, o retorno de R\$ 189.000,00. Essa recuperação de capital pode ainda servir de financiamento para a melhoria desse mesmo processo ou qualquer outro que possa vir trazer vantagem competitiva para a empresa.

Apesar do alcance de resultados positivos, este trabalho foi de certa forma limitado pela condição em que a empresa se encontrava: crescimento acelerado e desordenado. Esse fator fez com que trabalhadores, sem a qualificação adequada, fossem alocados ao processo produtivo.

Geralmente, o sucesso do sistema produtivo está vinculado somente à atuação da área de manufatura. Porém, ficou constatada a inter-relação das diversas áreas, não somente no desempenho das atividades de *changeover*, mas na eficiência global da produção.

De uma forma geral, a adoção da técnica SMED, com um curto *changeover*, possibilita um processo produtivo estável, aumento de produtividade e redução de custos, elementos fundamentais para uma empresa de manufatura contratada. Além disso, permite a produção de um grande *mix* de produtos, com a redução dos tamanhos dos lotes de produção, e maior agilidade para responder às variações da demanda, com a redução do *lead time*. Alcançados esses resultados, a condição de competitividade da Empresa SACM fica assegurada.

Deve-se ressaltar que a redução do tempo médio de *changeover* foi alcançada, principalmente, com a organização e padronização do processo, ou seja, o objetivo foi criar uma metodologia até então inexistente na empresa para a execução de tal processo.

Para se conseguir ganho adicional no tempo de *changeover* será necessário interferir na estrutura dos equipamentos, ferramentas ou produtos. Esse ganho adicional é consumidor de

tempo, sendo viabilizado com altos investimentos e necessitando de uma análise detalhada da relação custo-benefício. Quando se trata de empresas de manufatura contratada do setor eletroeletrônico, a existência de uma enorme instabilidade da demanda, caracterizada por uma alta velocidade de inovações em modelos de produtos e tecnologia empregada, elevam ainda mais os riscos de aplicação do capital.

## Referências

- AGUSTIN, R., SANTIAGO F.** Single-Minute Exchange of Die - In: IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, 1996.
- COUGHLAN, P., COUGHLAN, D.** - Action research for operations management - International Journal of Operations & Production Management, Vol. 22, No 2, pp. 220-240, 2002.
- CHAN, M.F.S., CHUNG, W.C.W.** - A framework to develop an enterprise information portal for contract manufacturing - International Journal of Production Economics, Vol.75, pp. 113-126, 2002.
- CYR, B., LAMBERT, S., ABDUL-NOUR, G., ROCHETTE, R.** - Manufacturing flexibility: SMT factors study - Computers and Industrial Engineering, Vol. 33, No 1-2, pp. 361-364, 1997.
- DIABY, M.** - Integrated batch size and setup reduction decisions in multiproduct, dynamic manufacturing environments - International Journal of Production Economics, Vol. 67, pp. 219-233, 2000.
- HADAYA, P., LEFEBVRE, E., LÉGER, P.** - Roles and strategies of contract manufacturers in the telecommunications industry - In: IEEE, pp. 458-463, 2000.
- MCINTOSH, R., CULLEY, S, GEST, G., MILEHAM, T., OWEN, G.** - An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance - International Journal of Operations & Production Management, Vol. 16, No 9, pp. 5-22, 1996.
- MILEHAM, A.R, CULLEY, S.J., OWEN, G.W., MCINTOSH, R.I.** - Rapid changeover - a pre-requisite for responsive manufacture - International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19, No.8, pp. 785-796, 1999.
- MONDEN, Y.** Toyota Production System - An integrated approach to just-in-time. London: Chapman & Hall, 1994.
- MOXHAM, C., GREATBANKS, R.** - Prerequisites for the implementation of the SMED methodology - International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 18, No.4, pp. 404-414, 2001.
- SAAB, P.** - O setor eletroeletrônico e a política industrial brasileira - Disponível em: >. Acesso em: 15 jan. 2006.
- SEVERSON, D.** - The SMED system for reducing changeover times: an exciting catalyst for companywide improvement and profits - P&IM Review with APICS News, p.10, 1988.
- SHARMA, V.** - SMED for high-mix assembly - Circuits Assembly, Vol. 12, pp.62-67, jan. 2001.
- SHINGO, S.** - A Study of the Toyota Production System - from an industrial engineering viewpoint - Portland: Productivity Press, 1989.
- SHINGO, S.** Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- STURGEON, T. J.** - Turnkey production networks: a new american model of industrial organization? - Berkeley Roundtable on the International Economy, University of California, Berkeley, 1997.
- TANEL, G.** - Acquisition trends in EMS - Surface Mount Technology, jul. 2005.
- VAN GOUBERGEN, D.** - Set-up reduction as an organization-wide problem - In: Solutions 2000 Conference, Cleveland, 2000.
- VAN GOUBERGEN, D., VAN LANDEGHEM, H.** - Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design - Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, pp. 205-214, 2002.
- UPTON, D., M.** - Flexibility as process mobility: the management of plant capabilities for quick response manufacturing - Journal of Operations Management. Vol. 12, pp. 205-224, 1995.