

APLICANDO O KAIZEN PARA MELHORAR A PRODUTIVIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE USINAGEM PARA MÁQUINAS CNC

Oswaldo Massaharu Ito (osvaldoito@uol.com.br)

Fernando Antonio Elias Claro (fernandoclaro@uol.com.br)

UNITAU, Engenharia Mecânica, Rua Daniel Danelli, s/n, Jardim Morumbi, 12060-440, Taubaté/SP

Resumo. Este artigo apresenta um estudo de caso realizado numa indústria do segmento aeronáutico para aumentar a produtividade no desenvolvimento de programas de usinagem para máquinas CNC, interligadas a softwares CAD-CAM, através da aplicação de ferramentas do pensamento enxuto, com ênfase em eventos kaizen. A aplicação da metodologia tornou possível reduzir o tempo médio do ciclo de desenvolvimento da programação em aproximadamente 60% e o número médio de horas gastas para a criação dos programas em aproximadamente 18%. Dentre as diversas oportunidades exploradas, destaca-se a criação dos programas de usinagem em fluxo contínuo para a obtenção destas melhorias.

Palavras Chave: CAD-CAM, CNC, kaizen, pensamento enxuto, produtividade.

1. INTRODUÇÃO

A contribuição da manufatura ágil (MA) para melhorar a competitividade é praticamente um consenso nos dias de hoje. Popularizada como um novo conceito a partir de 1991 ela foi definida como “um sistema de manufatura com capacidades em tecnologias de informação, *hardware/software* e recursos humanos para acompanhar as rápidas mudanças de necessidades do mercado reagindo com o lançamento de produtos novos ou aperfeiçoados, capazes de atender à demanda”. Entre as tecnologias que capacitam a MA encontram-se, entre outras, os *softwares* CAD/CAM (CAD-Computer Aided Design, Projeto Auxiliado por Computador; CAM-Computer Aided Manufacturing, Manufatura Auxiliada por Computador) e as máquinas ferramentas CNC (Controle Numérico por Computador) (Gunasekaran, 1999).

O desenvolvimento da tecnologia de CAD/CAM integrados tem sido intenso nos últimos 30 anos (Vinodh et al, 2009). O CAD realiza quatro funções principais: (a) modelamento geométrico; (b) análise de engenharia; (c) revisão e avaliação do projeto e (d) geração automática de desenhos.

O CAM consiste de um processador e um pós-processador que permitem ao computador entender e executar instruções. Em breves palavras, o processador é usado para desenvolver os caminhos de usinagem a partir de instruções de controle de avanço, rotação, fluído de corte, etc. e o pósprocessador destina-se a transformar estas informações para um formato que a máquina ferramenta possa interpretar (Ferneda, 1999).

O termo CNC foi introduzido no início dos anos 70 com a incorporação de minicomputadores nas unidades de controle de máquinas-ferramentas.

Nos dias de hoje, os programas de usinagem já podem ser transferidos via intranet das estações de projeto para as máquinas operatrizes, comandar a realização de movimentos de corte e gerenciar alterações previstas durante o ciclo operacional nos parâmetros de processo, tais como ângulo, avanço e velocidade de corte.

Dada a fundamental importância do processo de desenvolvimento dos programas de usinagem para a obtenção de produtos de qualidade e custo competitivos, este artigo descreve como o setor responsável por estes serviços em uma empresa do segmento aeronáutico utiliza os conceitos do pensamento enxuto, e em especial eventos *kaizen*, para identificar oportunidades de melhoria e solucionar os problemas encontrados.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. O Sistema Toyota de Produção

O Sistema Toyota de Produção surgiu no Japão em 1945 tendo sido impulsionado pela limitação do mercado e exigência por diversidade. Desenvolvido e aperfeiçoado por décadas, tem como pilares de sustentação o *just-in-time* (para reduzir o ciclo de produção e viabilizar o lote unitário) e o *Jidoka* (automatizar equipamentos para detectar anormalidades e parar automaticamente, evitando produção de defeituosos). A estabilidade do sistema é obtida através do *Kaizen*, *Heijunka* e da padronização do trabalho (Ohno, 1997). Uma das principais ferramentas do sistema é o Fluxo Contínuo, conceito segundo o qual não há interrupção do trabalho entre as etapas do processo (de maneira ideal, o posto de trabalho é reabastecido com uma única unidade assim que a anteriormente produzida é “puxada” pelo cliente seguinte). A produção puxada oferece maior flexibilidade às alterações na demanda, permite reduzir o tempo de processamento, o estoque em processo, e a necessidade de mão-de-obra; além disto, torna mais fácil reorganizar o ambiente de trabalho, nivelar a programação e identificar problemas potenciais (Slack et al, 2007).

A Toyota identificou sete tipos de atividades que não agregam valor a processos de manufatura ou de serviços (Liker e Meier, 2006). Em síntese, estas formas de desperdícios são:

- _ **Superprodução:** Produzir mais do que a demanda ou em ritmo acima do necessário.
- _ **Espera:** incapacidade para processar produto/serviço devido a atrasos, gargalos, equipamento inoperante, etc.
- _ **Transporte:** Movimentação desnecessária de produtos em processo.
- _ **Superprocessamento ou Processamento incorreto:** atividade de acrescentar ao processo mais "trabalho" ou esforço do que o requerido pelos clientes.
- _ **Inventário em excesso:** Estoque de matéria-prima ou produtos em excesso no processo.
- _ **Movimentação desnecessária:** Tipicamente resultando de desorganização do ambiente de trabalho.
- _ **Defeitos:** Provavelmente o pior tipo de desperdício; pode gerar retrabalho, perda total de produto e risco de perder clientes.

2.2. Kaizen

Kaizen é uma palavra japonesa cuja tradução literal é “mudar para melhorar” (*kai*=mudança, *zen*=melhorar). Empregada originalmente para indicar melhorias de pequena magnitude, porém realizadas de forma contínua, a palavra se popularizou no ocidente a partir da publicação do primeiro livro sobre o assunto em 1986 (Imai, 1986). O verdadeiro propósito do *kaizen* é humanizar o local de trabalho e ensinar os funcionários como os problemas podem ser efetivamente resolvidos através de uma abordagem que combina aspectos práticos e científicos guiada pelos seguintes princípios (Smadi, 2009):

- _ Adotar uma abordagem orientada a processos;
- _ Padronizar para manter os ganhos;
- _ Melhorar o desempenho ao longo de três dimensões: qualidade, custo e prazos;
- _ Tomar decisões baseadas em dados;
- _ Considerar o processo seguinte como cliente;
- _ Usar o gerenciamento visual para compartilhar problemas com todos os envolvidos.

Os eventos *kaizen* (ou *kaizen blitzes*) originam-se desta mesma filosofia, entretanto são atividades formalmente usadas pelas organizações para obter melhorias significativas de forma rápida (*kaikaku*), confiando no poder criativo de uma equipe de colaboradores para planejar e implementar novos métodos de realizar o trabalho (Manos, 2007). Os benefícios advindos do *kaizen* ou do evento *kaizen* podem ser de natureza quantitativa ou qualitativa. Da primeira categoria podese exemplificar a redução de custos, de tempos, ou de inventário. Na segunda categoria estão os intangíveis, entre eles o maior comprometimento, a busca do desenvolvimento profissional e a satisfação pelo trabalho em equipe. Revisar os padrões do processo após ter incorporado melhorias, treinar os envolvidos nas novas práticas e monitorar os resultados ao longo do tempo são medidas preventivas para sustentar os ganhos no futuro (Manos, 2007). Segundo Martin e Osterling (2007) algumas das principais características dos eventos *kaizen* são:

- _ curta duração;
- _ objetivos agressivos;
- _ buscam a eliminação do desperdício no fluxo de valor;
- _ uso da criatividade em detrimento ao emprego de capital;
- _ desenvolvidos por equipe multifuncional dedicada integralmente ao evento;

_ implementação completa das oportunidades encontradas.

As etapas do PDCA (*Plan, Do, Check, Act* ou, planejar, executar, controlar e agir) estão inseridas dentro do evento *kaizen* constituindo-se na base de abordagem científica pela qual se busca a solução de problemas, veja Tabela (1), adaptado de Martin e Osterling (2007).

Tabela 1. Associação entre as etapas do PDCA e do evento *kaizen*

Etapas do PDCA	Etapas do evento <i>kaizen</i>
Planejar	Planejar e preparar para o evento. Obter dados relativos ao estado atual.
Executar	Observar e analisar o processo atual, planejar as melhorias do processo, testar, padronizar e documentar as alterações. Treinar os colaboradores.
Controlar	Monitorar o desempenho do processo
Agir	Avaliar desempenho do processo, comparar com os objetivos do Fluxo de Valor, fazer novas melhorias conforme necessidade.

A metodologia do *kaizen* tem sido freqüentemente aplicada para melhorar o desempenho das organizações. No Brasil, a Mercedes Benz já realizou centenas de eventos tendo obtido expressiva redução em inventário, redução da área utilizada para manufatura e tempos de ciclo e *set-up* (Oakeson, 1997). Uma empresa produtora de filtros automotivos, líder de mercado, utilizou o *kaizen* como uma das principais ferramentas para introduzir os conceitos do Sistema Toyota de Produção em seu sistema de manufatura (Invernizzi, 2006). Araujo e Rentes (2006) descrevem como a metodologia *kaizen* foi empregada para alavancar a aplicação e implementação dos conceitos de produção enxuta em uma empresa do setor médico-odontológico. Reali (2006) pesquisou os fatores críticos para o sucesso e sustentação de ganhos em eventos *kaizen* realizados por uma empresa de autopeças.

2.3. O Relatório A3

Para orientar as ações de melhoria de processo, a Toyota criou o relatório A3, uma ferramenta para identificar problemas, buscar soluções e reportar os resultados obtidos. Este documento, cujo nome deriva de suas dimensões (11 x 17 polegadas), é usualmente dividido em cinco campos: (i) Definição e descrição do problema, (ii) Análise do problema, (iii) Plano de Implementação, (iv) Resultados e (v) Próximos passos. O relatório, preenchido para documentar o progresso em relação às ações de melhoria, tem sua parte textual geralmente complementada por gráficos, figuras e diagramas para garantir a comunicação efetiva de seu conteúdo (Liker e Meier, 2006). O propósito do relatório A3 é apresentar com clareza toda a informação relevante ao problema sendo abordado, eliminando o “desperdício” da descrição de fatos que não sejam absolutamente pertinentes ao problema em mãos. O objetivo é produzir um relatório que contenha dados importantes ao problema e sua solução, e nada mais (Chakravorty, 2009). Neste estudo de caso, exemplifica-se a aplicação do relatório A3 para documentar a solução encontrada a um dos problemas verificados durante o evento *kaizen*.

3. METODOLOGIA

Segundo conceituação encontrada em Silva e Menezes (2001) esta pesquisa é de natureza aplicada, de abordagem qualitativa-quantitativa, com objetivo exploratório e adota um estudo de caso como procedimento técnico.

4. ESTUDO DE CASO

Com o propósito de identificar e implementar ações de melhorias de produtividade um time de trabalho formado por um líder de equipe, um KPO, quatro técnicos e dois engenheiros do setor de Elaboração de Programas de Usinagem, da empresa onde este estudo de caso foi desenvolvido, utilizou a metodologia do *kaizen*, aplicando o conhecimento adquirido em treinamento prévio ministrado por consultoria especializada. O estudo foi dividido em três etapas. Na fase de planejamento e preparação do estudo realizou-se o mapeamento das atividades do setor, descrito sinteticamente no Tabela (2).

Tabela 2. Descrição das atividades

Etapas	Descrição das atividades
1	Analisar as características da peça a ser fabricada, definir as dimensões da matéria-prima necessária e confirmar se a máquina CNC escolhida atende as especificações do produto.
2	Definir estratégias de usinagem (seqüência de operações e parâmetros de corte), preparar a especificação do dispositivo de fixação, verificar disponibilidades de ferramentas de corte.
3	Elaborar as etapas do programa de usinagem, através do CAM.
4	Pós-processar o programa fonte para a linguagem de máquina CNC.
5	Simular virtualmente o programa garantindo-se em especial a ausência de colisões durante a usinagem, que quando ocorrem provocam danos significativos à operação (Ward, 2003).
6	Preparar documentação de apoio ao operador da máquina ferramenta (folhas de instrução).
7	Testar programa na máquina CNC, verificando seqüência de usinagem e parâmetros de corte, e em especial, o comportamento das ferramentas utilizadas.
8	Arquivar e gerenciar o programa CN (que deve estar prontamente recuperável caso seja necessário realizar alterações ou melhorias).

A seguir o time de trabalho identificou as deficiências nas etapas do fluxo e, em associação com os sete desperdícios considerados dentro da teoria do pensamento enxuto, diagnosticou a razão pela qual elas ocorriam. Para expressar quantitativamente a intensidade desta associação, foi utilizada uma escala numérica de três valores, na qual o algarismo (1) indica fraca associação, (2) indica associação razoável e (3) indica forte associação. De posse destes dados a equipe discutiu e em consenso definiu as ações de melhoria aplicáveis, veja Tabela (3).

Tabela 3. Oportunidades percebidas durante eventos *kaizen*

Etapas	Deficiência	Diagnóstico	Alternativa	DESPERDÍCIOS						
				Defeito	Espera	Movimentação	Excesso	Transporte	Processamento	Estoque
1	Dimensão do corte da matéria prima inadequada, gerando retalhos	Ausência de estudo de aproveitamento da placa bruta (matéria-prima)	Implementado procedimento para otimizar o corte da placa	1	1	1	1	1	3	1
2	Falta de padronização da estratégia de usinagem	Informação de melhores pratica de usinagem não estão disponíveis	Formação de um banco de dados (<i>lessons learning</i>)	3	1	3	1	1	1	1
3	Programa de usinagem é interrompido entre os dois turnos de trabalho	Programadores do 1° e 2° turnos realizam programas de usinagem para produtos diferentes	O mesmo programa de usinagem é continuado nos dois turnos de trabalho, veja detalhes no Tabela (5)	1	3	1	1	1	1	2
4	Falta de máquina CNC virtual para realizar as simulações de colisão	Há somente uma pessoa treinada para construir as maquina CNC virtuais	Realização de treinamentos específicos	1	3	1	1	1	1	1
5	Mensagens de erros do software de processamento são desconhecidas	Treinamento insuficiente e ausência de auxilio visual para os códigos de erros	Treinamento e construção de uma planilha informativa dos códigos de erros	1	3	1	1	1	1	1
6	Tolerância geométrica aplicada equivocadamente	Treinamento insuficiente sobre tolerâncias geométricas	Realização de treinamentos específicos	3	1	1	1	1	1	1
7	Programador não acompanha o teste pratico do programa de usinagem	Nem sempre o teste prático é realizado no turno de trabalho do programador	Agendamento do teste prático com acompanhamento do programador	3	1	1	1	1	1	1
8	Status do programa de usinagem não é atualizado	Incerteza sobre o término dos programas armazenados no banco de dados	Criado um sistema onde apenas programas concluídos são transferidos para as maquinas CNC	3	1	1	1	1	1	1
TOTAL				16	14	10	8	8	10	9

A totalização realizada na última linha da tabela indica e prioriza os tipos de desperdícios presentes em cada etapa do trabalho servindo como apoio aos membros da equipe na busca das causas fundamentais e no encontro de soluções efetivas para cada uma das deficiências. A prioridade para a implantação das soluções é orientada pelo diagrama de PACE (Liker e Meier, 2006, p. 150), acrônimo

para as palavras *Priority-Action-Consider-Eliminate* (em português: Prioritizar, Agir, Considerar e Eliminar), elaborado segundo os critérios estabelecidos no Tabela (4).

Tabela 4. Critérios de prioridade para implantação das soluções

CATEGORIA	IMPLANTAÇÃO	BENEFÍCIOS	DECISÃO
P	Fácil	Grande	Operacionalizar com a máxima prioridade, pois são de fácil adoção e se prevê que possam reverter em benefícios significativos quando postas em prática.
A	Fácil	Pequeno	Operacionalizar após os itens classificados na categoria “P” pois embora não resultem em benefícios tão significativos, podem ser implantadas com relativa facilidade.
C	Difícil	Grande	Confirmar o grau de dificuldade estimado para operacionalização e se o benefício esperado compensa o esforço de implantação. Se for finalmente decidido colocar a sugestão em prática e isto estiver acima das possibilidades dos membros do time, considerar abordagem posterior via projeto específico.
E	Difícil	Pequeno	Como estas sugestões são difíceis de implantar e têm baixa perspectiva de retorno, devem ser descartadas ou considerar com baixa prioridade de implantação

Na fase seguinte, do evento *kaizen* propriamente dito, realizado em cinco dias, o time implanta as ações de melhoria, monitora o processo e, próximo do final desta etapa, mede os resultados preliminares obtidos confrontando-os com os benefícios esperados. Na terceira e última fase, normalmente de maior duração, busca-se implantar as ações de melhorias eventualmente remanescentes da semana do evento, continuando-se a monitorar os resultados para perenizar os benefícios. O compartilhamento das informações entre os membros da equipe é feito pelo uso de relatórios A3, que são subdivididos em cinco campos. A título de exemplo, um destes relatórios, documentando uma oportunidade observada na etapa 3 do fluxo de trabalho, é apresentado no Tabela (5).

Tabela 5. Relatório A3

Relatório A3 - Aumento da eficiência no desenvolvimento de programas de usinagem (CAM)**1. Definição e descrição do problema**

O processo de programação de uma máquina de comando numérico resulta em um conjunto de informações cartesianas e no estabelecimento de parâmetros de usinagem que definem a seqüência do ciclo operacional. O tempo requerido para a construção dos programas é habitualmente extenso tornando esta etapa um evento crítico para obtenção de uma peça usinada.

2. Análise do problema

O desenvolvimento de programas de usinagem requer mão de obra especializada e razoável tempo para execução, devido fundamentalmente a complexidade existente. O binômio especialização/tempo tem duas conseqüências principais: custo dos recursos humanos com impacto na operação e o prazo para execução do serviço de programação para o cliente usinagem.

Na metodologia atual de trabalho cada programa de usinagem é preparado por um único técnico. Esta prática cria um hiato de um turno no desenvolvimento, caracteriza um fluxo operacional descontínuo, impossibilita o atendimento a produção na ausência do técnico programador e aumenta o prazo de entrega do serviço para a usinagem.

3. Plano de implementação

Para implantar o fluxo contínuo de desenvolvimento dos programas de usinagem foi adotado o conceito de times de trabalho com dois integrantes (um em cada turno). O *lay-out* do setor da engenharia foi modificado para facilitar o trabalho em time e aproximar os recursos de trabalho dos programadores.

4. Resultados

A melhoria operacional resultante das oportunidades identificadas e tratadas no evento *kaizen*, veja Tabelas (3), está sumarizada na Tabela (6).

5. Passos futuros

Implantação de um relatório de monitoramento das atividades realizadas semanalmente pelos times de trabalho, disponibilizado para consulta nos painéis de gestão a vista.

Tabela 6. Produtividade antes e depois do *kaizen*

VARIÁVEL	Tempo de Execução (homem-hora)		Prazo de Conclusão (dias)		Tamanho da Amostra (ordens de serviço)
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	
Antes do <i>Kaizen</i>	37,9	21,9	5,4	3,13	499
Depois do <i>Kaizen</i>	31,0	15,9	2,2	1,13	317
Redução	6,9	6,0	3,2	2,0	

Na Tabela (6), a variável “tempo de execução” representa o número de homens-hora efetivamente usados no desenvolvimento dos programas de usinagem. Com a mudança na prática de trabalho definida durante o evento *kaizen* o tempo médio de execução foi reduzido em 18,2% (ou 6,9 dias) e sua variabilidade em 27,4% (ou 6 dias). Na mesma tabela, a variável “prazo de conclusão” representa o número de dias úteis para conclusão do programa de usinagem. Como no novo método de trabalho, o

serviço se desenvolve em fluxo contínuo, o prazo médio de conclusão foi reduzido em 59,3% (ou 3,2 dias) e a variabilidade em 63,9% (ou 2 dias).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Usando a metodologia de eventos *kaizen*, complementada pelo uso do relatório A3, foi possível identificar e operacionalizar diversas ações de melhoria de produtividade que resultaram principalmente em menor número de homens-hora e menor prazo para a elaboração dos programas.

Além disto, dois benefícios intangíveis podem ser mencionados: (i) Como o evento é programado com antecipação e os envolvidos passam boa parte do tempo em conferencia num mesmo local de trabalho, estabelece-se um ambiente no qual todos se sentem estimulados a adotar uma atitude proativa além de compartilhar o conhecimento em grande sinergia; (ii) Percebe-se no decorrer do evento a satisfação coletiva dos participantes em ter contribuído com idéias objetivas e facilmente materializáveis.

6. REFERÊNCIAS

- Araujo C. A. C., Rentes A. F. (2006) A metodologia *kaizen* na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta, *Revista Gestão Industrial*, 2(2), 133-142.
- Chakravorty S. C. (2009) Process improvements: using Toyota's A3 reports, *Quality Management Journal*, 16(4), 7-26.
- Ferneda A. B. (1999) Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo da engenharia reversa, dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos.
- Gunasekaram A. (1999) Agile Manufacturing: a framework for research and development, *International Journal of Production Economics*, 62, 87-105.
- Imai M. (1986) *Kaizen A estratégia para o sucesso competitivo*, 1ª Ed., Instituto IMAM.
- Invernizzi G. (2006) O Sistema *Lean* de Manufatura aplicado em uma indústria de autopeças produtora de filtros automotivos, Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica), UNICAMP, Campinas.
- Liker J. K., Meier D. (2006) *The Toyota Way Fieldbook*, Ed. McGraw-Hill Companies.
- Manos A. (2007) The benefits of *kaizen* and *kaizen* events, *Quality Progress*, 47-48.
- Martin K., Osterling M. (2007) *The Kaizen event planner*, Ed. Productivity Press.
- Oakeson M. (1997) *Kaizen makes dollars & sense for Mercedes-Benz in Brazil*, *IIE Solutions*, 29(4), 32-35.
- Ohno T. (1997) O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala, Ed. Bookman.
- Realí L. C. P. (2006) Aplicação da técnica de eventos *kaizen* na implantação de produção enxuta: estudo de casos em uma empresa de autopeças, dissertação (mestrado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos.
- Silva E. L., Menezes E. M. (2001) *Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação*, 3ª Ed., Laboratório de Ensino a Distância da Universidade Federal de Santa Catarina.
- Slack N., Chambers S., Johnston R. (2007) *Operations Management*, Ed. Prentice Hall.
- Smadi S. A. (2009) *Kaizen* strategy and the drive for competitiveness: challenges and opportunities, *Competitiveness Review: An International Business Management*, 19(3), 203-211.
- Vinodh S., Sundararaj G., Devadasan S. R., Rajanayagam D. (2009) Agility through CAD/CAM integration, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(2), 197-217.
- Ward W. (2003) From engineering design to production, *Manufacturing Computer Solutions*, 9(2), 34-35.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.