

Seis Sigma: uma aplicação na indústria petroquímica

Jorge da Luz Matos (UFRGS) jlmatos@ppgep.ufrgs.br
Carla Schwengber ten Caten (UFRGS) tencaten@ppgep.ufrgs.br

Resumo

Este artigo apresenta a seqüência de implementação das etapas iniciais do método DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar) utilizado na aplicação da metodologia Seis Sigma para a elaboração de um projeto de melhoria em uma indústria petroquímica de elastômeros. Serão apresentadas as principais ferramentas utilizadas para a priorização e análise das variáveis que influenciam nos resultados desejados pela organização. Neste trabalho, o Seis Sigma será aplicado para reduzir a variabilidade da característica de qualidade denominada viscosidade “Mooney” e dos tempos de reação entre as bateladas de produção de NBR e SBR, num processo de reação química em batelada.

Palavras chave: Seis sigma, Indústria petroquímica, Processos em batelada.

1. Introdução

Com a abertura do mercado às importações, a partir de 1990 (até então era proibido importar produtos ou serviços com similar nacional), surgiu a necessidade das empresas se aperfeiçoarem na gestão de seus negócios para competirem com os produtos importados. As empresas que até então operavam com o protecionismo de mercado garantido pelo estado, não tinham uma preocupação com a qualidade e a produtividade, com isto, se tornaram ao longo dos anos incapazes de enfrentar às concorrentes internacionais (CAMPOS, 1999).

Este cenário político-econômico trouxe às empresas brasileiras uma grande ineficiência em seus processos produtivos, provocando um alto custo operacional e um baixo nível de qualidade dos produtos e serviços. Para se adaptarem às novas regras econômicas, as empresas estão passando por um processo de reestruturação gerencial focado na otimização dos processos produtivos, visando a diminuição dos custos com a má qualidade e um atendimento compatível às exigências do cliente.

Nesse contexto, Seis Sigma é uma estratégia que faz o uso estruturado de uma série de técnicas e ferramentas estatísticas auxiliando as organizações na tomada de decisão, para a implementação de ações de melhoria de processos e produtos. Conseqüentemente, Seis Sigma pode proporcionar satisfação aos clientes e lucratividade às organizações, atendendo satisfatoriamente as partes interessadas (HARRY, 1998).

2. Origem do Seis Sigma

Segundo Harry e Schroeder (2000) citado por Linderman *et al.* (2003), a metodologia Seis Sigma nasceu e se desenvolveu em meados de 1980 na Motorola, mas a raiz original do Seis Sigma foi encontrada no livro *Quality is Free* escrito por Philip Crosby em 1979, onde uma das contribuições de Crosby para a gestão da qualidade foi o conceito do “zero defeito”, que é a filosofia adotada pelo Seis Sigma.

Por volta de 1985 se sentindo ameaçada pela concorrência da indústria eletrônica japonesa e necessitando fazer uma drástica melhoria em seu nível de qualidade a Motorola iniciou um novo modo de abordagem gerencial para a melhoria da qualidade (HARRY e SCHROEDER, 2000 *apud* PHILLIPS, 2002). Conforme Perez-Wilson (1999), a meta estabelecida pela

Motorola para a melhoria de todos os produtos - bem como serviços – teve como referência melhorar em dez vezes a qualidade até 1989, cem vezes até 1991 e conseguir o desempenho Seis Sigma até 1992.

A Motorola, então, focou os recursos no Seis Sigma, incluindo esforço humano na redução da variação dos processos de manufatura, administrativos e os demais processos da organização. Para o conjunto de ações de melhorias o programa chamado Seis Sigma foi lançado oficialmente pela Motorola em 1987 (KLEFSJO *et al.*, 2001).

3. A Filosofia do Seis Sigma

Segundo Harry (1998), a filosofia do Seis Sigma reconhece que há uma correlação direta entre o número de produtos defeituosos, o desperdício de recursos operacionais e o nível de insatisfação do cliente. A estatística utilizada no Seis Sigma mede a capacidade do processo em executar trabalhos livres de defeitos.

Seis Sigma tornou-se uma abordagem conhecida em muitas organizações, utilizada para controlar a variabilidade e reduzir o desperdício nos processos, usando avançadas técnicas e ferramentas estatísticas. Do ponto de vista estatístico, Seis Sigma significa um nível de qualidade, onde é admissível até 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). Em termos de negócio, Seis Sigma é definido como uma estratégia usada para melhorar a lucratividade dos negócios, reduzir os custos com a má qualidade, melhorar a eficácia e a eficiência de todas as operações, visando exceder as necessidades e expectativas do cliente (CORONADO e ANTONY, 2002). Segundo Pande *et al.* (2001), o foco no cliente, considerado a essência do Seis Sigma, significa planejar lucrativamente, o aumento do valor percebido do produto.

4. O Modelo DMAIC

Segundo Lucier e Seshadri (2001), a abordagem Seis Sigma consiste na utilização de metodologia e ferramentas para orientar as mudanças nos processos, seguindo uma rigorosa filosofia de gerenciamento baseada na ciência. O ponto mais importante da abordagem Seis Sigma é o modelo sumarizado pelas iniciais em inglês DMAIC (*define, measure, analyse, improve e control*), que traduzindo para o português significam: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Conforme Lucier e Seshadri (2001); Pande *et al.*, (2001); Eckes (2001) e Werkema (2002), as cinco etapas do DMAIC podem ser descritas como segue:

4.1. Definir

Nesta etapa, o grupo de trabalho definirá claramente o problema, baseando-se na estratégia do negócio ou naquilo que é crítico para o cliente, que na linguagem Seis Sigma denominamos de características críticas para o cliente (*CTQ - critical to quality*). As características críticas ou essenciais para a satisfação do cliente são correlacionadas com os vários processos da organização. Cartas dos projetos (*project charters*) são elaboradas para que os gestores dos projetos avaliem e destinem os recursos necessários àqueles projetos que maximizem os resultados financeiros para a organização.

4.2. Medir

Neste estágio é estabelecido o nível de desempenho do processo atual. São definidas as necessidades e expectativas do cliente com o objetivo de se determinar as variáveis críticas do processo. Nesta fase, são utilizadas ferramentas básicas como, por exemplo: as métricas Seis Sigma, a análise dos sistemas de medição (*MSA-measurement system analysis*), a análise dos modos efeitos de falha (*FMEA-failure modes and effects analysis*) e o desdobramento da função qualidade (*QFD-quality function deployment*).

4.3. Analisar

Na fase de análise o grupo explora as causas fundamentais responsáveis pela geração dos defeitos. A análise estatística é usada para examinar as variáveis potenciais que afetam o resultado e procurar identificar a causa raiz mais significativa. As ferramentas utilizadas incluem análise multivariada, teste de normalidade, análise de variância (*ANOVA-analysis of variance*), análise de correlação e regressão.

4.4. Melhorar

Durante esta fase, o grupo procura a solução ótima, desenvolve e testa o plano de ação para implementar e confirmar a solução. O processo é modificado e o resultado é medido para se avaliar o nível de otimização alcançado. Com o processo otimizado, padroniza-se o novo método que produzirá resultados de acordo com as especificações do cliente. Métodos estatísticos como projetos de experimentos e regressão linear múltipla podem ser utilizados para identificar o ajuste otimizado para o processo.

4.5. Controlar

Para prevenir a recorrência do problema e garantir a manutenção do desempenho alcançado, medidas de controle são implementadas. Entre as técnicas adotadas, destacam-se as seguintes: o controle estatístico de processo, os planos de controle, os testes de confiabilidade e os processos à prova de erros.

5. Aplicação da metodologia Seis Sigma

Este trabalho apresenta a implementação do Seis Sigma em uma indústria petroquímica, que produz borrachas sintéticas SBR (*styrene butadiene rubber*) e NBR (*acrylonitrile butadiene Rubber*) em um processo de reação química em batelada. O objetivo é a redução da variabilidade na característica de qualidade viscosidade *Mooney* (VM) do elastômero produzido e a variabilidade dos tempos de processamento das bateladas. Serão apresentadas as etapas definir, medir, analisar e melhorar.

5.1. Etapa Definir

Com base nos dados de desempenho das características críticas para a qualidade (VM e tempos de reação) o projeto de melhoria foi definido pela gerência da empresa. A primeira etapa de aplicação da metodologia Seis Sigma iniciou pela declaração do problema; a enumeração das conseqüências destes problemas para o cliente e para a organização; delimitações do projeto; definição da equipe de trabalho; situação atual do processo e definição da meta a ser alcançada. A apresentação da carta do projeto abaixo, denominado *Project Charter*, segue o padrão sugerido por Werkema (2002).

Título do projeto: Reduzir a Variabilidade dos Resultados e Melhorar a Estabilidade do Processo de Reação.

Descrição do problema: A linha de reação (processo em bateladas), na qual são produzidos látices para a obtenção de elastômeros dos tipos *NBR's* especiais e *SBR's* "a quente", vem apresentando os seguintes problemas:

- Uma grande variação na característica de qualidade VM entre as bateladas;
- Uma grande variação no tempo de reação das bateladas, ou seja, para cada batelada processada o tempo de reação é significativamente diferente;
- Perdas de bateladas em função do grande distanciamento do alvo da característica de qualidade, inviabilizando a correção das mesmas. Além das perdas por variabilidade na VM, também ocorrem perdas provenientes de causas especiais de variação atuando sobre o processo.

Conseqüência destes problemas para os resultados da empresa:

- a) A necessidade do aproveitamento dos látices fora de especificação em outras *grades* tendo como conseqüência riscos de contaminação e horas extras de trabalho;
- b) Atraso no cumprimento e eventualmente o não cumprimento da programação de produção;
- c) Aumento do número de bateladas a serem produzidas, devido a necessidade de se produzir bateladas meramente para efetuar correções em bateladas defeituosas, trazendo como conseqüência um estoque desnecessário de látices;
- d) Aumento do número de trocas do tipo de elastômeros na área de coagulação/acabamento tendo como conseqüências: (i) perdas de produção; (ii) horas extras de limpeza; (iii) riscos de contaminação e (iv) consumo extra de utilidades;
- e) Estabelecimento do número mínimo de bateladas por corridas de produção, por tipo de elastômeros, gerando estoque desnecessário.

Definição da Meta: As metas definidas para serem alcançadas em um período de seis meses são as seguintes: (a) reduzir a variabilidade natural da VM em 100% das bateladas produzidas para uma amplitude máxima de 20 pontos (± 10 pontos em torno do alvo); (b) reduzir a variação dos tempos de confecção das bateladas para uma amplitude máxima de 3 horas ($\pm 1,5$ h em torno do tempo esperado).

Equipe de Trabalho: A equipe de trabalho para atuar no projeto foi assim constituída:

Coordenadores: Gerente de Produção / Gerente de Fábrica

Líderes do projeto: Eng. de Produção e Pesquisador.

Especialistas do Processo: Eng. de Processo, Eng. de PCP e Supervisor de Produção (cliente do processo). Técnicos e Supervisores do Processo.

5.2. Etapa Medir

Esta etapa iniciou com a elaboração do fluxograma do processo, mapeamento do processo e um *brainstorming* que contou com a participação da equipe Seis Sigma, especialistas e operadores do processo. A realização deste *brainstorming* teve a finalidade de levantar e discutir as variáveis do processo que interferem nas características de qualidade do cliente, servindo como fonte para a elaboração de um diagrama e uma matriz de causa e efeito, e também para aperfeiçoar o mapeamento de processo.

5.2.1. Determinação das Variáveis Críticas do Processo

Em um *brainstorming* de aproximadamente três horas o grupo de trabalho apurou 37 fontes de problemas que foram registrados em um diagrama de causa e efeito. Posteriormente analisou-se a matriz de causa e efeito contemplando as fontes de problemas levantados anteriormente e o mapeamento de processo, incluindo neste último todas as etapas, as variáveis controláveis e os ruídos do processo. A matriz de causa e efeito utilizada originou-se de uma matriz de processos de QFD. Após a análise dos dados obtidos da matriz de causa e efeito, priorizou-se um total de 17 variáveis. Estas variáveis priorizadas criteriosamente pela equipe foram remetidas a um estudo de FMEA.

O estudo de FMEA foi conduzido com a participação da equipe Seis Sigma e especialistas do processo. Com base nos valores dos números de prioridade de risco (NPR's) calculados selecionou-se aquelas variáveis que, do ponto de vista dos especialistas do processo, são importantes de serem melhoradas, ou seja, as variáveis que trarão resultados significativos, tanto para o cliente como para o negócio da organização. Para a etapa seguinte do estudo foram selecionadas as seguintes variáveis: (i) sistema de dosagem dos insumos OX (oxidante), MOD (modificador), TM (terminador), ACN (acrilonitrila) e PC (potassa cáustica); (ii) controle de temperatura do reator e da ACN; (iii) atraso na dosagem da PC. Na figura 1 apresentada abaixo é mostrado o formulário parcial do estudo de FMEA.

FMEA de Processo										
Entradas do processo	Item MC&E	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	Severidade	Causa potencial de falha	Ocorrência	Controles atuais	Deteção	NPR	Ação recomendada
dosagem OX	7.1	linha parcialmente cheia	VM t reação	10	fluxo reverso	x	ver item abaixo	x	xx	
				10	condicionamento	1	proc. operacional	10	100	
					sistema comum HPC/HPPM	1	proc. operacional	10	100	
	15	contaminação	VM t reação	4	condicionamento	1	proc. operacional	10	70	
				7	sistema comum HPC/HPPM	1	proc. operacional	10	70	
	17.2	variação na quantidade dosada	VM t reação ST	4	sistema de dosagem	10	registro da quant. dosada	10	700	Alteração nos parâmetros de automação
				7	medição de vazão	x	ver item específico	x	xx	
				1	contaminação	x	ver item 15	x	xx	
					erro set-point	1	automação e IO's	4	28	
		medição de vazão	7	fluxo bifásico (sólido/gás)	7	alarme fluxo reverso e atuação automatismo (bomba > válv.) (12)	10	490	Alteração no layout da linha	
			4	vibração	4		10	280	Verificação fixação Micromotion	
			7	linha parc. cheia (após FT)	7	xxx	10	490	Alteração no layout da linha	
			1	vazão fora escala (>100%)	1	xxx	10	70		
	defeito no instrumento	1	xxx	10	70					

Figura 1 – Estudo de FMEA para as variáveis de processo (formulário parcial)

No estudo de FMEA foram selecionados os modos potenciais de falha com NPR acima de 280 pontos para serem analisadas.

5.2.2. Análise dos Sistemas de dosagem dos insumos

Depois de conhecidas as variáveis críticas do processo, iniciou-se a coleta dos dados históricos para determinar a capacidade (C_p e C_{pk}) dos sistemas de dosagem dos insumos. Com os dados de quantidade dosada de cada insumo (OX, MOD, ACN, TM e PC) e com um percentual de tolerância de 0,5% (recomendada pela engenharia de processo), fez-se, com o auxílio do *software Minitab*, primeiramente um teste de normalidade no conjunto de dados e em seguida um estudo para determinar capacidade do sistema de dosagem. Numa primeira análise dos dados (estudo de capacidade) e posterior discussão com o engenheiro de automação pode-se concluir que havia imprecisão nos dados coletados, sendo necessário um novo levantamento com critérios mais rigorosos (maior precisão nas leituras) para a obtenção destes. Durante esta análise foram identificadas oportunidades de melhorias no sistema de controle que independentemente da análise de capacidade deverão ser implementadas, pois não necessitam de qualquer investimento.

Após uma nova coleta e análise dos dados, foi possível concluir que o sistema de dosagem da

PC apresentava um excelente desempenho ($C_{pk}=1,80$), o de TM, ACN e MOD, um desempenho aceitável ($C_p>1,50$), necessitando apenas de um ajuste de centralização da média e o OX apresentava um desempenho insatisfatório ($C_{pk}<0$ e $C_p=0,69$). Além disso, o OX estava com os valores deslocados em relação ao valor nominal esperado. O estudo de capacidade do OX é apresentado na figura 2.

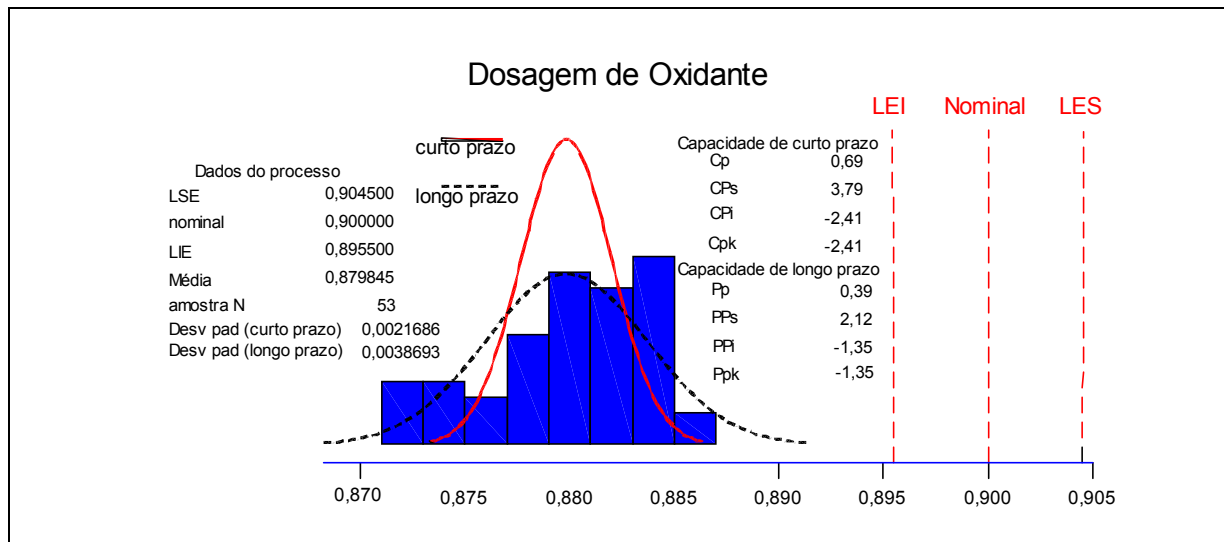


Figura 2- Estudo de capacidade para o sistema de dosagem do OX

Observando-se os dados da figura 2, é possível visualizar a dispersão dos valores dosados ($C_p=0,69$) e o deslocamento da média dos valores em relação ao valor nominal.

5.2.3. Análise do sistema medição da VM

Na seqüência, realizou-se uma análise do sistema de medição do látex NBR, a fim de se verificar a adequação da análise de viscosidade *Mooney* (VM) às exigências do cliente. O estudo foi realizado utilizando-se amostras de dois níveis de VM de látex NBR dos pontos extremos da especificação, com três operadores analisando três vezes cada amostra de cada nível de VM, totalizando seis análises para cada operador. As amostras foram distribuídas aos operadores aleatoriamente durante as suas rotinas de trabalho. Para a determinação do %R&R utilizou-se uma tolerância de 20 pontos na VM e um desvio padrão histórico do processo igual a 9,2. Com o resultado desta análise concluiu-se que o sistema de medição não é aceitável quando comparado com a tolerância do cliente (34,00% da tolerância é consumida pelo sistema de medição). Os resultados do estudo de R&R são apresentados na tabela 1.

Fontes de var	Desv Pad (DP)	Estudo Var (5,15*DP)	%Estudo Var (%DP)	%Tolerância (DP/Toler)	%Processo (DP/Proc)
R&R Total	1,3202	6,799	3,49	34,00	14,35
Repetibilidade	1,3202	6,799	3,49	34,00	14,35
Reprodutibilidade	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
Operador	0,0000	0,000	0,00	0,00	0,00
amostra-a-amostra	37,7648	194,489	99,94	972,44	410,49
Variação Total	37,7879	194,608	100,00	973,04	410,74

Tabela 1 – Estudo de R&R para a VM do látex NBR

Avaliando os resultados de saída do *Minitab* apresentados na tabela 1, observa-se que embora o % R&R comparado com a variação atual do processo seja aceitável ($\%R\&R_{var\ total}=14,35\%$), para fins de atendimento à tolerância do cliente ($\%R\&R_{tol}=34,00\%$) ele não pode ser aceito. Por se tratar de método consagrado internacionalmente e estar sendo desenvolvido um projeto para melhoria deste sistema de medição, aguarda-se a evolução deste projeto para fazer uma nova análise.

5.3. Etapa Analisar

Como a finalidade verificar quais as variáveis influenciam significativamente na variação da VM e no tempo de reação entre as bateladas seguiu-se para uma análise de correlação/regressão. No estudo foram utilizados dados históricos das quantidades dos insumos adicionadas às bateladas, tempos de adição e as temperaturas nas quais estes insumos foram adicionados, bem como outras ocorrências operacionais consideradas importantes durante a confecção das bateladas.

Através do estudo de correlação aliado ao conhecimento técnico dos especialistas do processo chegou-se a seguintes conclusões:

- O intervalo de tempo entre a adição do TM e a adição da PC é um fator influente na variação da VM a um nível de significância menor do que 0,5% ($p\text{-value}=0,001$);
- A instabilidade da temperatura do reator e a temperatura do reator na qual os insumos são adicionados, principalmente o OX tem influência na VM e no tempo de reação a um nível de significância de 10% ($p\text{-value}=0,10$);
- A quantidade de MOD incremental adicionado na quarta hora de reação tem uma influência significativa na variação da VM a um nível de significância menor do que 0,5% ($p\text{-value}=0,001$);
- A influência da temperatura da ACN ainda não foi possível avaliar por falta de dados.

5.4. Etapa Melhorar

As ações de melhorias propostas, com base no estudo de correlação, já implementadas ou em fase de estudo são apresentadas a seguir:

- Modificação nas tubulações do OX, visando impedir a presença de bolhas de ar no instrumento de medição (*Micromotion*) e alteração na forma de dosagem (automação) visando melhor controle da dosagem deste insumo (investimento);
- Efetuar a individualização dos sistemas de dosagem de TM e PC, que provocavam atrasos nas dosagens da PC, resolvendo os problemas de atraso e possíveis contaminações (investimento);
- Estudar a alteração no sistema de controle de temperatura do reator, para uma outra concepção de controle, através da variação da superfície molhada dos feixes de amônia (investimento);
- Implantar uma rotina para limpeza periódica dos reatores, para prevenir eventos de descontrole de temperatura por deficiência de troca térmica (procedimento);
- Estudar a instalação de um permutador de calor para o controle de temperatura da ACN adicionada ao reator (falta confirmar a influência desta variável).
- Estabelecer uma faixa de temperatura ($7 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) para dosagem de ACN e OX (procedimento);
- Ajustar o tempo de espaçamento entre as dosagens de OX, MOD, TM e PC, permitindo uma maior precisão da dosagem destes insumos (automação);
- Está em andamento um projeto de melhoria para o sistema de medição da VM do látex.

6. CONCLUSÕES

O modelo utilizado na etapa definir mostrou-se consistente na obtenção das informações necessárias para dar prosseguimento às etapas subseqüentes do trabalho.

O diagrama de causa e efeito que se originou do *brainstorming*, realizado com a equipe Seis Sigma e especialistas do processo, e o mapeamento de processo que foi baseado na engenharia de processo, possibilitou o levantamento criterioso das variáveis críticas do processo.

A seqüência do estudo com a utilização da matriz de causa e efeito e do FMEA viabilizou o agrupamento de alguns itens afins facilitando o estudo e enfatizando a criticidade de determinadas variáveis.

Os sistemas de dosagem dos insumos OX, MOD, TM, ACN e PC; o sistema de controle de temperatura do reator, o controle de temperatura do monômero ACN e os problemas de atraso na adição da PC no látex de NBR foram as variáveis de processo priorizadas para serem melhor investigadas na etapa de análise.

A análise dos sistemas de dosagens dos insumos e a análise do sistema de medição da VM forneceram informações para concluir que o sistema de dosagem do OX e o método de análise da VM do látex NBR precisam ser melhorados.

Na etapa de análise, a utilização de ferramentas estatísticas aliadas ao conhecimento técnico dos especialistas do processo facilitou a identificação das variáveis mais influentes no processo.

A maioria das ações implantadas não exigiu grandes investimentos, necessitando apenas de alteração ou elaboração de procedimentos operacionais.

Como as ações foram implementadas recentemente, ainda não foi possível validar os resultados para padronizar e propor meios de controle que garantam os resultados alcançados.

Referências

- CAMPOS, V. F. (1999) – *TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. EDG. 8ª ed. Belo Horizonte.
- CORONADO, R. B e ANTONY, J. (2002) - Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. *The TQM Magazine Journal*. Vol. 14, n. 2, p. 92-99.
- ECKES, G. (2002) - Making Six Sigma Last (and Work). *Ivey Business Journal*. Vol. 66, n. 3, p. 77-81.
- ECKES, G. (2001) - *A revolução Seis Sigma*. Campus. 2ª ed. Rio de Janeiro.
- HARRY, J. M. (1998) - A Breakthrough Strategy for Profitability. *Quality Progress*. Vol.1, n. 5, p. 60-64.
- KLEFSJO, B; WIKLUND, H; EDGEMAN, R. L. (2001) - Six Sigma seen as a methodology for total quality management. *Measuring Business Excellence*. Vol. 5, p. 31-35.
- LINDERMAN, K et al. (2003) - Six Sigma: a goal-theoretic perspective. *Journal of Operations Management*. Vol. 21, n. 2, p. 193-203.
- LUCIER, G. T; SESHADRI, S. (2001) - GE Takes Six Sigma Beyond the Bottom Line. *Strategic Finance*. Vol. 82, n. 11, p. 40-46.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. (2001) - *Estratégia seis sigma*. Qualitymark. 1ª ed. Rio de Janeiro.
- PEREZ-WILSON, M. (1999) - *Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios*. Qualitymark. 1 ed. Rio de Janeiro.
- PHILLIPS, J. E. (2002) - Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. *Consulting to Management*. Vol. 13, n. 4, p. 57-60.
- WERKEMA, M. C. C. (2002) - *Criando a cultura Seis Sigma*. Qualitymark. 1ª ed. Rio de Janeiro.