

ANÁLISE DAS PERDAS DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA PETROQUÍMICA UTILIZANDO A METODOLOGIA SEIS SIGMA

Régis Fabiano Maciel (UFRGS) – rfmaciel@gmail.com

Flávio Fogliatto (UFRGS) – ffogliatto@producao.ufrgs.br

RESUMO

Este trabalho descreve a aplicação da metodologia Seis Sigma, utilizando-se do método DMAIC (*Define, Measure, Analise, Improve and Control*) para redução de perdas de produção, e conseqüentemente potenciais ganhos financeiros, na etapa de acabamento de uma empresa petroquímica. Seguindo-se as etapas do método DMAIC, primeiramente identificou-se que o equipamento denominado prensa hidráulica era responsável por 21% das perdas totais de produção ligadas a falhas de equipamentos. Definiu-se, portanto, que os tipos de falhas ocorridas nos diversos componentes deste equipamento seriam analisadas e melhoradas através da utilização de FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas). Após a implantação das ações de melhoria propostas mais relevantes, foi possível reduzir as perdas de produção relacionadas a esse equipamento em 95% no primeiro mês analisado.

Palavras-chave: Seis Sigma, DMAIC; perdas de produção; setor petroquímico.

ABSTRACT

This paper describes the application of Six Sigma methodology, using the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) method to reduce production losses and consequent achievement of financial gain, in the finishing area of a petrochemical company. Following the steps of the DMAIC method, first of all, it was identified that the equipment denominated as hydraulic baler was responsible for 21% of total production losses related to equipment failures. It was determined that the types of faults occurring in the various components of this equipment would be analyzed and improved by using FMEA (Failure mode and effects analysis). After the implementation of the most relevant improvement actions proposed, it was possible to reduce production losses related to this equipment by 95% in the first month.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, production losses: petrochemical company.

1. INTRODUÇÃO

Com a economia globalizada, as empresas se encontram em constante busca para o aperfeiçoamento de seus processos. Segundo Calligaro (2003), o desafio permanente de qualquer empresa que queira manter-se competitiva tem sido produzir produtos e serviços cada vez melhores, mais rápidos, com o menor custo possível e ainda obtendo a melhor aceitação do mercado. Para Aragão (2008), o desafio das empresas modernas é conseguir de forma contínua identificar oportunidades de melhoria em seus processos, e implantá-las de modo sustentável.

Nessa conjuntura, a redução de perdas de produção por seus mais diversos motivos, representa um ponto competitivo estratégico das empresas. Esta necessidade é ainda mais evidenciada na indústria petroquímica. Este é um setor caracterizado por ser intensivo em capital, exigindo grandes investimentos em equipamentos e instalações, com a competitividade diretamente ligada a ganhos de escala (RODRIGUES e PASA, 2009). Assim, as perdas de produção nesse setor, refletem diretamente em grandes perdas financeiras.

Pelo contexto exposto anteriormente, a metodologia Seis Sigma se mostra uma potencial ferramenta norteadora das ações para redução de perdas de produção nestas empresas. Ela é utilizada como uma estratégia, que tem por objetivo gerar resultados financeiros para empresa, através do uso estruturado de uma série de técnicas e ferramentas estatísticas auxiliando as organizações na tomada de decisão, para gestão das ações de melhoria de processos e produtos (ARAGÃO, 2008). Para Peña (2006), o programa Seis Sigma tem se mostrado uma importante ferramenta na resolução de problemas considerados de difícil solução, principalmente na análise das causas, que servem como base para a decisão de quais ações serão tomadas.

Além de um método bem estruturado, o Seis Sigma deve estar diretamente relacionado com o planejamento de metas e resultados desejados pela empresa. Para Aragão (2008) e Peña (2006), também é preciso adotar uma metodologia consistente na implantação de um programa Seis Sigma, de forma a gerar garantias ao seu sucesso.

Este artigo utiliza o método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*), o qual é o método mais utilizado atualmente na implantação de programas Seis Sigma (RODRIGUES e WERNER, 2008).

Contudo, a opção pela implantação da metodologia Seis Sigma em uma empresa não garante o sucesso do programa. Andrietta e Miguel (2002) salientam dois fatores que podem levar ao fracasso na implantação do Seis Sigma. O primeiro se dá quando a empresa encara o Seis Sigma somente como um projeto, e não atenta para o enfoque de gestão do processo, além de uma prática de disciplina rigorosa em todas as etapas da implantação. O segundo fator é o descaso da liderança da empresa, que deve estar ativamente empenhada em garantir o sucesso do programa, participando de todas as etapas da implantação e condução do método, e não apenas na alocação de recursos para o programa.

Este artigo tem por objetivo reportar a aplicação da metodologia Seis Sigma para redução de perdas de produção, e conseqüentemente potenciais ganhos financeiros, em uma empresa petroquímica, apoiado no método DMAIC. A realização deste estudo se faz relevante, pois, apesar da metodologia Seis Sigma estar consideravelmente bem difundida nas empresas de manufatura caracterizadas por processos discretos de produção. São poucos os trabalhos referentes à aplicação desta metodologia em indústrias do setor petroquímico, as quais possuem processos contínuos de produção. Portanto, este trabalho pode contribuir para verificação da aplicabilidade da metodologia Seis Sigma em empresas de processos contínuos.

O artigo está organizado em cinco seções, incluindo-se na primeira a presente introdução. A segunda seção apresenta uma revisão teórica de aplicações da metodologia Seis Sigma utilizando apoiada pelo método DMAIC. A terceira seção descreve o processo produtivo, objeto do estudo de caso, bem como a coleta de dados para análise. A quarta seção apresenta e discute os resultados encontrados na aplicação da metodologia. Finalmente, a quinta seção apresenta as considerações finais e conclusões.

2 – Referencial teórico

As subseções do referencial teórico apresentam a descrição detalhada do método DMAIC, exemplificado em etapas por meio da experiência de autores que utilizaram o método em projetos de redução de perdas em processos e melhoria na qualidade de produtos.

Segundo Rechulski e Carvalho (2004), o método DMAIC pode ser entendido como uma aplicação do Seis Sigma para processos, o qual está amplamente baseado no uso de ferramentas estatísticas, integrando diversas ferramentas tradicionais de controle da qualidade em cinco etapas bem definidas.

2.1. Definir

Nesta etapa do método deve-se definir claramente a direção do projeto de implementação do Seis Sigma como ferramenta de melhoria, as metas, os participantes do time que trabalharão na implantação e os benefícios financeiros esperados com a execução do projeto. Essas informações devem ser consolidadas em um documento conhecido como Carta de Projeto (HWANG, 2006). Nesta etapa, algumas ferramentas podem ser utilizadas para facilitar a escolha do melhor projeto.

Kumar e Michael (2008) utilizam o gráfico de Pareto na escolha do tipo de falha em um processo metalúrgico a ser escolhida para aplicação do Seis Sigma. Além da priorização pelo gráfico, os autores se fundamentam no histórico de falhas da empresa para identificação de uma falha que agregue valor à demanda para implementação do Seis Sigma.

Segundo Pranckevicius *et al.* (2008), muito importante é a definição da equipe que irá trabalhar no projeto Seis Sigma a ser implantado. Para estes autores, o time deve ser formado por participantes com conhecimento em Seis Sigma, bem como por pessoas que conheçam profundamente o processo no qual se planeja implantar a metodologia. Franz (2003) também reforça a importância da definição clara da equipe Seis Sigma. Para o autor, o trabalho de implantação da metodologia para diminuição da variabilidade de processo em uma planta petroquímica teve seu desempenho prejudicado pela falta de clareza na definição da equipe,

assim como pela ausência de delimitação das funções a serem exercidas por cada membro no projeto.

Para melhor definir o projeto, Pranckevicius *et al.* (2008) sugerem que algumas perguntas básicas devem ser feitas e registradas na Carta do Projeto, por exemplo: (i) qual o nome do processo a ser trabalhado; (ii) por que executar o projeto? (iii) por que fazer o projeto agora? (iv) qual o propósito do projeto? (v) quais as conseqüências de não realizar o projeto? (vi) quais projetos possuem maior ou igual relevância? (vii) quais objetivos-chaves para organização são apoiados pelo projeto?

Essas questões auxiliam a elucidar o problema a ser trabalhado, o objetivo do projeto e seu escopo, recursos disponíveis, responsáveis pela aprovação dos gastos, obstáculos e desafios impostos, comprometimento esperado pelos membros do projeto, cronograma a ser seguido, além de benefícios e custos do projeto (PRANCKEVICIUS *et al.*, 2008; KUMAR; MICHAEL, 2008; SCATOLIN, 2005).

Ainda nesta etapa da metodologia, a aplicação da ferramenta SIPOC (*Suppliers* - fornecedores, *Inputs* - insumos, *Process* - processo, *Outputs* - produtos, e *Customers* - clientes) pode auxiliar na compreensão dos fluxos do processo. Pranckevicius *et al.* (2008) exemplificam a aplicação da ferramenta, demonstrando que, por meio de uma planilha de dados, é possível identificar etapas do processo comprometidas pela área em estudo.

2.2. Medir

Conforme Hwang (2006), é nesta fase que se obtêm os dados atuais de desempenho do processo, sendo possível identificar as áreas problemáticas. Para o autor, este é o estágio mais complexo do método DMAIC. Segundo Eckes (2003), nesta fase se definem quais características do projeto deverão ser monitoradas, como serão levantados esses dados e posteriormente registrados, além de indicar quais as especificações do projeto.

Para esta etapa do método, Scatolin (2005) propõe a criação de um mapa do processo para verificação de todas as variáveis de entrada e saída em cada uma de suas etapas. Nenhuma variável deve ser negligenciada, pois é difícil antever quais serão as variáveis críticas do processo, sendo todas candidatas. Franz (2003) salienta que para elaboração do

mapa de processo é relevante a participação das pessoas na identificação das variáveis. Ele exemplifica que para auxiliar nesta etapa foram realizadas reuniões de *brainstorming* com os envolvidos no processo, para que o mapa ficasse o mais completo possível.

Franz (2003) utiliza ferramentas como o diagrama e matriz de causa e efeito, com o objetivo de dimensionar e identificar com propriedade quais são os fatores geradores dos desvios encontrados no processo petroquímico em estudo. Ao utilizar essas ferramentas, o autor conclui que a variabilidade do processo analisado tem causas em mais de uma área, o que justificaria a divisão do projeto em subprojetos estruturados por área.

Dando seguimento ao estudo, Frans (2003) opta por continuar o restante do projeto focando somente em uma área e deixando a possibilidade de estudos futuros nas causas identificadas em outras áreas. Pode-se ressaltar que apesar do autor ter utilizado essas ferramentas na fase Medir do DMAIC, esse tipo de análise poderia ter sido realizado na fase seguinte (Analisar) do método.

Quanto à utilização de dados estatísticos nesta etapa, Kumar e Michael (2008) utilizam coleta manual de dados, realizadas por meio de 100 medições executadas em peças retiradas do processo. Com base nesses dados, os autores elaboram cartas de controle para variáveis, para verificação da condição de controle estatístico do processo. Para coleta dos dados, Gijo *et al.* (2011) criam um plano de coleta de dados, onde especificam a característica do dado medido, como foi realizada a medida, quanto deve ser amostrado e as informações gerais da coleta.

2.3. Analisar

Segundo Eckes (2001) *apud* Andrietta e Miguel (2002), é nesta fase que são determinadas as causas do problema que necessitam de algum projeto de melhoria, sendo considerada pelo autor a fase mais importante do ciclo DMAIC, pois ela determina e valida a raiz o problema original, o qual é o verdadeiro alvo de melhoria.

Gijo *et al.* (2011) reportam que após o mapeamento do fluxo do processo na etapa anterior, foi elaborado um diagrama de causa e efeito para o problema levantado. Para a

elaboração deste diagrama, foram utilizadas reuniões de *brainstorming*, as quais são pontos determinantes na elaboração de um bom diagrama.

Para as causas levantadas como responsáveis pela ocorrência da falha em estudo, foi elaborado um plano de validação. Neste plano foram utilizadas, além da validação estatística (através de análise de capacidade dos dados de entrada, teste do Qui Quadrado, Projeto de Experimentos (DOE) e cartas de controle para amplitude), a observação detalhada da operação para validação de causas não analisáveis estatisticamente e/ou subjetivas.

Kumar e Michael (2008) utilizaram nesta fase o detalhamento do mapa de processo com o objetivo de melhor visualizar as variáveis de processo que podem estar impactando no problema em estudo. Após isso, elaboraram um diagrama de causa e efeito com o objetivo de focar o projeto no processo fundamental que está gerando as falhas. Com a utilização deste diagrama, os autores selecionam dois fatores de fácil observação e controle para continuação do projeto.

Já Prankevicius *et al.* (2008) utilizaram diretamente os dados de entrada do mapa de processo para identificar quais são os dados entrantes que representam maior risco para o processo. Para realizar tal análise, é utilizada a FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas). Scatolin (2005) também utilizou desta ferramenta para analisar as onze variáveis de entrada priorizadas pela etapa anterior de seu estudo.

Para avaliar o impacto das variáveis elencadas como possíveis causadoras da variabilidade no processo petroquímico em análise, Franz (2003) descreve a realização de uma série de experimentos. Neles, não foram realizadas combinações de eventos, sendo que cada variável foi analisada separadamente. Os experimentos realizados não tiveram o intuito de gerar ações de melhoria no processo, entretanto, algumas eventuais mudanças foram realizadas em função dos seus resultados.

2.4. Melhorar

Segundo Rechulski e Carvalho (2004), nesta etapa são desenvolvidas soluções que, quando implementadas, devem diminuir consideravelmente os níveis de defeitos. Werkema

(2004 *apud* RODRIGUES; WERNER, 2008) complementa que essas soluções devem ser testadas para verificar se a escolhida é capaz de ser implementada em larga escala.

Pranckevicius *et al.* (2008) relatam dificuldade de implementar experimentos com intuito de testar sugestões de melhoria identificadas durante a aplicação do DMAIC. A dificuldade decorreu da característica do processo utilizado pela planta em estudo, além da falta de interesse da gerência, a qual justificou a não execução dos testes devido ao custo elevado que eles implicariam e também pela falta de espaço na programação de produção para inserção dos experimentos. Essa é uma situação diferente da reportada por Scatolin (2005), que conseguiu juntamente com a equipe de Seis Sigma, negociar junto a área de programação de produção um espaço para a realização dos testes.

Para Franz (2003), na aplicação desta fase do DMAIC pode-se chegar à conclusão que muitas pequenas melhorias já tenham sido efetuadas durante as etapas anteriores, devido à simplicidade e ao custo baixo de implementação. O autor mostra, ainda, que nesta etapa foi revisado o FMEA elaborado na etapa Medir, com intuito de identificar se os itens priorizados nesta ferramenta levaram a melhorias efetivas, ou existia a necessidade de realizar novas análises.

2.5. Controlar

Segundo Eckes (2003), nesta etapa realiza-se a aplicação da solução testada na etapa anterior do DMAIC, mas agora em larga escala, além de manter o controle de desempenho do processo ao longo do tempo.

Para Gijo *et al.* (2011), o grande desafio do Seis Sigma é garantir a sustentabilidade dos resultados obtidos com a implementação das melhorias. Os autores destacam que a sustentabilidade das soluções foram garantidas com a padronização das alterações nos procedimentos que fazem parte do sistema de gerenciamento da qualidade da organização. Além disso, novas cartas de controle foram implantadas para verificação da ocorrência de causas especiais no processo, causadoras de grande variabilidade.

Scatolin (2005) destaca a elaboração de um plano de controle, contendo todas as variáveis críticas de entrada e saída, assim como os seus responsáveis. Além disso, foram

executadas reuniões mensais entre o líder da área de produção e o gerente responsável, para acompanhamento da manutenção dos resultados. Outro ponto destacado foi a necessidade de treinamento de todas as pessoas envolvidas no processo, com relação às mudanças implementadas.

3 – Procedimentos Metodológicos

A pesquisa desenvolvida neste trabalho pode ser classificada como uma pesquisa aplicada, pois gera conhecimentos para aplicação prática à solução de problemas específicos da área em análise. Já pelo ponto de vista da abordagem, este trabalho pode ser entendido como uma pesquisa quantitativa, pois é realizado utilizando o método de coleta de dados de falhas que ocasionam as perdas de produção por paradas de linha. Por fim, pelo ponto de vista dos objetivos, esta pesquisa pode ser interpretada como sendo uma pesquisa experimental (ou explicativa), porque visa identificar as principais causas de perdas de produção, assim como entendê-las e minimizá-las (MARCONI e LAKATOS, 2007).

A empresa na qual foi realizado o trabalho é uma planta petroquímica de segunda geração produtora de borracha sintética, com capacidade instalada de 108 mil toneladas ano. O processo analisado chama-se Coagulação e Acabamento, o qual possui duas linhas de produção idênticas trabalhando de forma contínua, sendo um processo intensivo em capital, com alta tecnologia envolvida.

O processo de coagulação consiste em adicionar aditivos ao látex, mistura de monômeros que ao reagirem constituem a forma líquida composta por polímeros característicos da borracha, para que este sofra uma separação entre a parte sólida e líquida. Nesta etapa, o látex passa por três tanques coaguladores, sendo que no primeiro são adicionados os agentes coaguladores, que irão transformar o látex em grumos de borracha.

Após, os grumos são peneirados em uma peneira vibratória e, na sequência, são encaminhados para um equipamento desumidificador, que irá reduzir o percentual de umidade existente no grumo de 50% para aproximadamente 14%. Depois disso, os grumos são triturados e encaminhados para etapa de acabamento.

Na etapa de acabamento, primeiramente os grumos passam por um secador de dois estágios e cinco seções de secagem, sendo que os grumos permanecem sobre uma esteira perfurada, pela qual existe a passagem de ar quente. Após o secador, os grumos são novamente triturados e transportados por um elevador de caçamba até um transportador de correia que os levará para uma balança. Os grumos são pesados de forma a separar porções de 35 kg para que sejam encaminhados a uma prensa hidráulica que transforma os grumos em fardos de borracha, os quais são embalados e dispostos em caixas.

3.1. Definir

Nesta fase do DMAIC foram definidos os seguintes aspectos importantes do projeto: (i) o projeto recebeu o nome *Losses*; (ii) o líder da área de Coagulação e Acabamento foi designado como gestor do projeto, recebendo suporte do coordenador de produção na tomada de decisões. Um operador de processo foi designado para auxiliar no levantamento de dados e toda a equipe de operação da área recebeu instruções para auxiliar nas demandas solicitadas pelo líder; (iii) os líderes das áreas de engenharia e manutenção foram designados como responsáveis pela implementação das ações que fossem indicadas no projeto; (iv) o gerente da planta foi designado como responsável pela autorização dos investimentos necessários ao projeto; (v) Reduzir perdas financeiras devido às paradas de produção; e (vi) o cronograma do projeto foi definido.

3.2. Medir

Para implementação desta etapa foi realizada a coleta de dados de paradas de linha do último ano operacional, sendo estas por motivos mecânicos, elétricos, devido a obstruções de equipamentos e para limpeza de equipamentos. Foi elaborado um gráfico de Pareto, a partir dos quais se definiram equipamentos responsáveis pelas maiores perdas de produção, as quais estão relacionadas às paradas de linha produtiva, sendo assim, são perdas por deixar de produzir. Então foi escolhido o equipamento para análise aprofundada.

3.3. Analisar

A partir dos dados de falha dos equipamentos foram elaborados FMEAs com o objetivo de realizar a priorização das causas a serem trabalhadas. A realização desta etapa

contou com a participação de membros da equipe de manutenção, trabalhando em conjunto com os membros da equipe de operação na realização de *brainstorming* para identificação das principais causas das paradas.

3.4. Melhorar

Para identificar as melhores ações a serem tomadas em relação às causas priorizadas no FMEA, também se realizou uma reunião de *brainstorming*, que contou com a participação do líder do projeto Seis Sigma, líderes de manutenção e projeto, coordenador de produção e dois operadores especialistas da área de coagulação e acabamento. Desta reunião obtiveram-se as ações a serem implementadas, com seus respectivos responsáveis, contendo os prazos e valores estimados para a sua realização.

Após a consolidação dos custos de implementação das ações, dos tempos de linha parada necessários para realização das melhorias, o projeto foi levado para aprovação do gerente da planta, que autorizou o cronograma e os valores estabelecidos.

3.5. Controlar

Ficou definido que os dados de paradas desses equipamentos seriam atualizados mensalmente em um gráfico que contivesse a informação da perda mensal relacionada ao equipamento e o número de paradas de linha que resultaram nessas perdas. O objetivo era visualizar a tendência das ocorrências, principalmente observando o impacto que as ações de melhoria causam sobre os resultados.

Foram definidos ainda, relatórios trimestrais para a gerência da planta, assim como o padrão do relatório final, a ser concluído após um ano do início do projeto. Este relatório deverá ser enviado para o diretor mundial de operação para consolidação do trabalho realizado na planta.

4 – Resultados

A aplicação do método está apresentada nas subseções seguintes, divididas nas cinco etapas apresentadas na metodologia.

4.1. Definir

Como resultado da etapa definir foi elaborado um contrato de intenções onde foram especificados itens importantes para o sucesso do projeto. Nele buscou-se prever todos os recursos, responsabilidades e objetivos do projeto, conforme apresentado no Tabela 1.

Contrato de Intenções de Projeto	
Nome do Projeto:	<i>Losses</i>
Coordenador do projeto:	Líder de Produção - Coagulação e Acabamento
Componentes Projeto	Equipe operacional participará como auxiliar do projeto, principalmente em reuniões de <i>brainstorming</i>
Objetivo Projeto:	Reduzir perdas financeiras devido às paradas de produção
Escopo do Projeto	Identificar equipamentos que causam maiores perdas de produção na área de Acabamento, mapear motivos de falhas, avaliar criticidade, propor e implantar ações de melhoria, acompanhar evolução dos dados após implementação das ações.
Aprovador Projeto	Gerente da Planta
Recursos Financeiros:	Os custos de horas extras da equipe operacional para participar do projeto foram aprovados pela gerência. Recursos financeiros para implantação das melhorias sairão do plano de investimento anual. Ações ligadas à manutenção deverão ter seus custos suportados pelo orçamento da manutenção
Suporte Técnico	Coordenador de Engenharia
Suporte Técnico	Coordenador de Manutenção

Tabela 1 – Dados do Projeto

Nesta etapa também foram definidos alguns delineamentos do projeto, tais como abrangência do estudo relacionado ao tipo de paradas a serem estudadas. As paradas de produção podem ocorrer basicamente por quatro motivos: (i) manutenção corretiva de um equipamento, (ii) *setup* da linha de produção (parada programada), (iii) paradas por descontrole de processo, e (iv) paradas por motivos externos à planta.

As linhas de produção em estudo possuem aproximadamente oitenta equipamentos cada, de diferentes complexidades. Alguns equipamentos possuem ainda subsistemas ou uma grande quantidade de componentes que podem ser causadores de falha e consequentes paradas de linha. O *setup* desta linha envolve trabalhos em paralelo em muitos destes equipamentos. Sendo assim, por todos os motivos recém-descritos, para focar o projeto, estabeleceu-se que somente as paradas por manutenção corretiva seriam investigadas.

As paradas para limpeza de equipamentos que não estejam incluídas dentro do *setup* semanal da linha de produção foram consideradas como paradas para manutenção corretiva. Já as paradas devido a descontrole de processo foram desconsideradas no estudo, pois se julgou que é difícil associa-las à falha de algum equipamento. Também foram desconsideradas as paradas por motivos externos, tais como falta de demanda.

4.2. Medição

Na etapa de medição, buscou-se identificar as perdas de produção em toneladas ocasionadas por paradas dos equipamentos. A Tabela 2 apresenta os responsáveis pelas paradas de linha e uma análise de Pareto dos dados históricos (período: Janeiro a Dezembro de 2011).

Equipamento	Perda (ton)	% Relativo	% Acumulado	Equipamento	Perda (ton)	% Relativo	% Acumulado
PR 25-1	909.30	21%	21%	V 25-1	34.15	1%	93%
EL 25-1	591.14	14%	35%	TP 25-2	30.20	1%	94%
DS 25-2	255.84	6%	41%	TP 25-15	30.08	1%	94%
DS 25-1	245.66	6%	47%	TQ 25-2	25.76	1%	95%
TP 25-4	235.59	6%	52%	S/S1 25-1	24.57	1%	96%
PE 25-2	188.02	4%	57%	PHIT 25-2	23.97	1%	96%
S/E1 25-1	180.59	4%	61%	QM4/S 25-1	19.17	0%	97%
S/Q1 25-1	161.66	4%	65%	VT/S 25-5	17.26	0%	97%
TP 25-1	117.44	3%	68%	DT 25-1	16.78	0%	97%
S/E2 25-1	116.12	3%	70%	PHV 25-2	14.98	0%	98%
TP 25-5	114.20	3%	73%	TE 25-9	13.78	0%	98%
Robô-	106.89	3%	76%	B 25-8	12.70	0%	98%
S 25-1	104.61	2%	78%	S/EX 25-1	10.79	0%	99%
EB 25-1	89.28	2%	80%	TP 25-11	10.19	0%	99%
TP 25-8	87.00	2%	82%	VT/S 25-6	9.59	0%	99%
BL 25-1	86.88	2%	84%	FT 25-8	9.59	0%	99%
FT 25-7	63.99	1%	86%	TE 25-35	7.79	0%	99%
DU 25-1	46.02	1%	87%	QM3/S 25-1	7.19	0%	100%
S/S2 25-1	41.34	1%	88%	B 25-7	5.39	0%	100%
MT 25-1	40.74	1%	89%	S/R2 25-1	4.19	0%	100%
FT 25-2	40.74	1%	90%	TP 25-12	3.60	0%	100%
TP 25-3	38.83	1%	90%	VT/S 25-3	1.80	0%	100%
AG/V 25-1	35.95	1%	91%	B 25-13	1.20	0%	100%
QM1/S 25-1	34.75	1%	92%	Total geral	4267.265	100%	

Tabela 2: Equipamentos responsáveis pelas paradas e % em relação ao total de perdas

Para aprofundar melhor os motivos de parada de linha por falhas no equipamento PR 25-1 (prensa hidráulica), foi estratificada, em forma de Pareto, a quantidade de toneladas

perdas de produção por falhas ligadas diretamente ao componente específico da prensa que falhou. Para avaliar também a frequência com que ocorrem as falhas, foi estratificado em um gráfico juntamente com a perda em toneladas (colunas no gráfico), o número de ocorrência (linha no gráfico) de falhas por motivo de parada, como pode ser visto na Figura 1. Desta forma é possível avaliar se a perda é decorrente de falhas pontuais ou recorrentes.

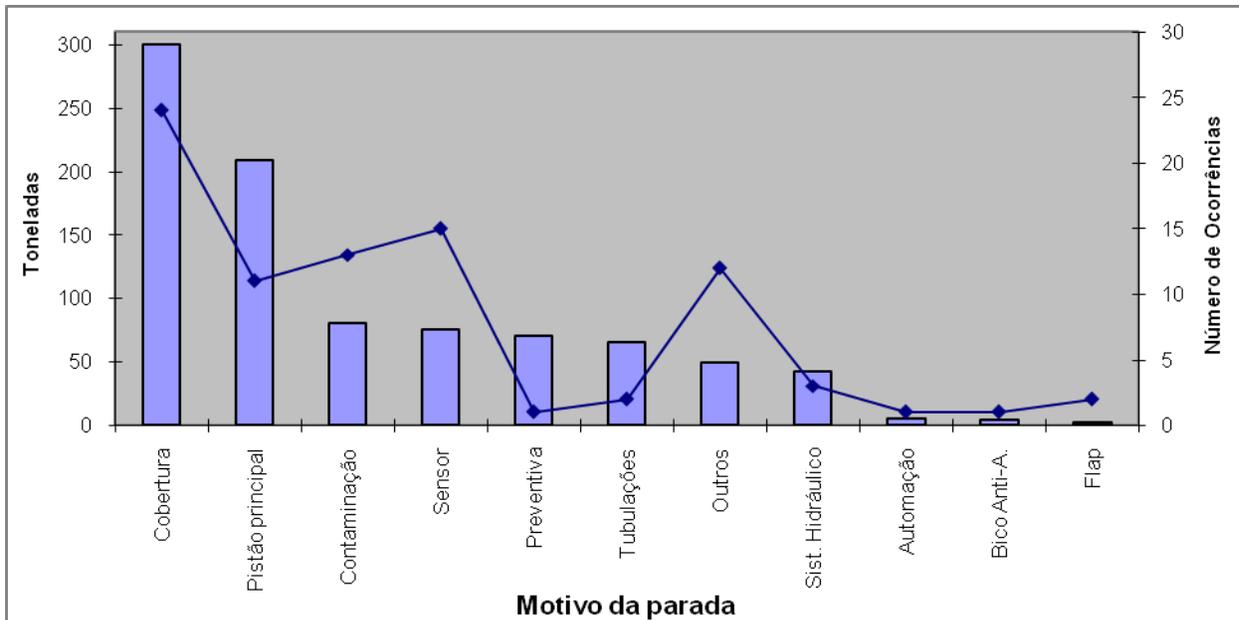


Figura 1 – Perdas de produção por componente em falha da prensa

A Figura 2 apresenta o FMEA com o detalhamento de alguns dos componentes da prensa que aparecem na Figura 1. O item Contaminação, descrito no gráfico dentro da Figura 1, é consequente de paradas de linha para limpeza da cavidade interna da prensa, devido à contaminação dos fardos de borracha produzidos pelo equipamento. Já o item Preventiva, que também é apresentado neste gráfico é referente a uma parada programada antecipadamente para atuar preventivamente na troca de alguns componentes da prensa.

4.3. Analisar

Para levantamento de maiores informações e detalhes das falhas, assim como definição das ações corretivas, foi realizado um *brainstorming* com representantes da produção e da manutenção.

Para efetuar a avaliação mais detalhada das falhas e de seus potenciais, foi elaborado um FMEA Melhoria onde foram investigados os tipos de falhas ligados aos componentes da prensa. A Figura 2 apresenta parte da planilha utilizada na primeira fase do FMEA. As colunas preenchidas manualmente foram: item de processo (entrada do estudo), modo de falha potencial, efeito(s) da falha em potencial, severidade, causa(s) potencial da falha, ocorrência, controle atual de prevenção, controle atual de detecção e detecção. A coluna risco (RPN) é resultado da multiplicação das colunas severidade, ocorrência e detecção. A coluna ação recomendada já faz parte da etapa melhorar do método DMAIC.

Para a definição dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, formadores do índice final RPN (*Risk Priority Number*), foi utilizada proposta por Stamatis (1995 *apud* Guzzon, 2009). Para priorização das ações a serem determinadas, foram levados em consideração os maiores índices RPN.

TIPO FMEA: PROCESSO / PRODUTO Processo		PROCESSO/PRODUTO: Coagulação e Acabamento		ÁREAS ENVOLVIDAS: Engenharia de Produção, Produção, Processo, Projetos				DATA 1ª EMISSÃO 15/0112		
RESPONSÁVEL PROJETO/MANUFATURA: Engenheiro de Produção, Gestor da Área		EQUIPE: Operador da área, Líder de Manutenção Mecânica, Engenharia de Projetos, Líder Manutenção Elétrica, Gestor da Área, Coordenador de Manutenção						DATA REVISÃO: ---		
ITEM/NOME/FUNÇÃO DO PROJETO/ PROCESSO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO (S) DA FALHA EM POTENCIAL	SEVERIDADE	CAUSA (S) POTENCIAL DA FALHA	OCCORRÊNCIA	CONTROLE ATUAL DE PREVENÇÃO	CONTROLE ATUAL DE DETECÇÃO	DETECÇÃO	RISCO (RPN)	AÇÃO RECOMENDADA
Pistão da cobertura - movimentar peça sólida (cabeça de prensagem) para prensagem dos grânulos de borracha. Para auxílio na movimentação da peça, existe uma espécie de carrinho.	Vazamento de óleo	Perda de óleo, redução do rendimento da prensa	5	Desgaste dos retentores, sobrepressão do óleo, junta rompida	3	Manutenção preventiva mecânica semanal (Inspeção visual do mecânico)	Inspeção visual diária, com registro, mas sem alarme de nível baixo do reservatório de óleo	3	45	Inexistente
	Quebra pistão	Parada total	8	Desalinhamento do pistão, fadiga do material, descontrole da pressão do óleo	2	Manutenção preventiva mecânica mensal	Inspeção visual diária, sem registro	7	112	Incluída no plano de manutenção preventiva a verificação da perpendicularidade do pistão.
	Quebra carrinho movimentador da cabeça de prensagem	Parada total	8	Solda inadequada, peso excessivo da cabeça de prensagem e fadiga material	6	Inexistente	Inspeção visual semanal durante setup da linha de produção	7	336	1. Trocar o carrinho semestralmente preventivamente. 2. Alterar projeto do carrinho, aumentando resistência do componente
	Quebra quadrado cobertura	Parada total	8	Desalinhamento do pistão, fadiga do material	3	Inexistente	Inspeção visual semanal durante setup da linha de produção	7	168	Avaliar alteração de projeto, alterando o tipo de material.

Figura 2 – Análise FMEA de um componente do equipamento prensa

Foram tratados nove dos onze componentes descritos na Figura 1, deixando-se de fora do estudo apenas os itens ‘Preventiva’ e ‘Outros’. Para esses nove itens, foram tratados dezesseis modos de falhas possíveis; conforme proposição definida pelo índice RPN, foram recomendadas treze ações de controle que foram definidas durante o *brainstorming*.

4.4. Melhorar

Nesta etapa foi realizado novo *brainstorming*, buscando identificar as ações que pudessem minimizar o risco (RPN) identificado na etapa anterior, sendo priorizados

inicialmente os modos de falha que apresentaram maior RPN. Para modos de falha com índice RPN menores que 100 pontos não foram propostas melhorias, dado que seriam ações de alto custo e sem grande risco associado, sendo essa apontadas junto as demais na Tabela 3.

RPN	Ação Recomendada	Responsável	Prazo
480	Colocar sensores de presença em redundância para pistão principal e pistão da cobertura	Coordenador de Projetos	30/06/12 – Pendente apenas pistão principal
336	1. Trocar o carrinho da cobertura semestralmente preventivamente. 2. Alterar projeto do carrinho com objetivo de aumentar durabilidade dele.	Coordenador de Manutenção	1- Concluída 2- Concluída (pendente instalar)
320	Incluir no plano de manutenção preventiva a verificação da perpendicularidade do pistão do pistão principal	Planejador de Manutenção	Concluída
280	Estudar possibilidade de implantar sistema redundante para atuadores elétricos do sistema hidráulico	Coordenador de Projetos	30/06/12
168	Avaliar alteração de projeto, alterando o tipo de material da peça de fixação do pistão da cobertura a cabeça de prensagem	Coordenador de Manutenção	30/06/12
168	Alterar tipo de fixação da régua (ponto de fragilidade), que realiza o movimento que identifica a posição do pistão principal	Coordenador de Manutenção	Concluída
128	Incluir no plano de manutenção preventiva a verificação da perpendicularidade do pistão da cobertura	Planejador de Manutenção	Concluída
120	Alterar projeto das tubulações, aumentando o diâmetro das mesmas e suavizando o ponto de curvas.	Coordenador de Projetos	Concluída
112	Incluir no plano de manutenção preventiva a verificação da perpendicularidade do pistão da cobertura.	Coordenador de Manutenção	Concluída
112	Incluir limpeza com hidrojato de água com alta pressão durante o setup da linha de produção.	Planejador de Manutenção	Concluída
112	Trocar do modelo de bico de antiaderente por um modelo mais robusto	Coordenador de Manutenção	30/06/12
60	Inexistente		
60	Inexistente		
48	Inexistente		
24	Inexistente		

Tabela 3 – Ações de melhoria para minimizar risco de falhas

Como pode ser visto na Tabela 3, algumas ações ficaram com prazo de conclusão em datas futuras devido à complexidade, custo e necessidade de linha parada para implementação.

4.5. Controlar

Como forma de acompanhar a evolução da prensa e das perdas ocasionadas por ela, foi estabelecido o gráfico mensal contendo a quantidade de toneladas perdidas devido a falhas na prensa, assim como o número de ocorrências que possibilitaram essas perdas. Dessa forma é possível visualizar se as ações realizadas estão surtindo efeito e a quantidade de perdas ligadas à prensa estão em um patamar mais baixo.

A Figura 3 apresenta um gráfico que traz a evolução das perdas por prensa durante todo o ano de 2011, até abril de 2012. Para o mês de abril de 2012, já se pode afirmar que grande parte das ações de melhoria foram implementadas e que podem estar gerando um efeito positivo neste mês, apresentando o melhor resultado, com apenas 3,6 toneladas de produção perdidas, o que mostra uma promissora melhora.

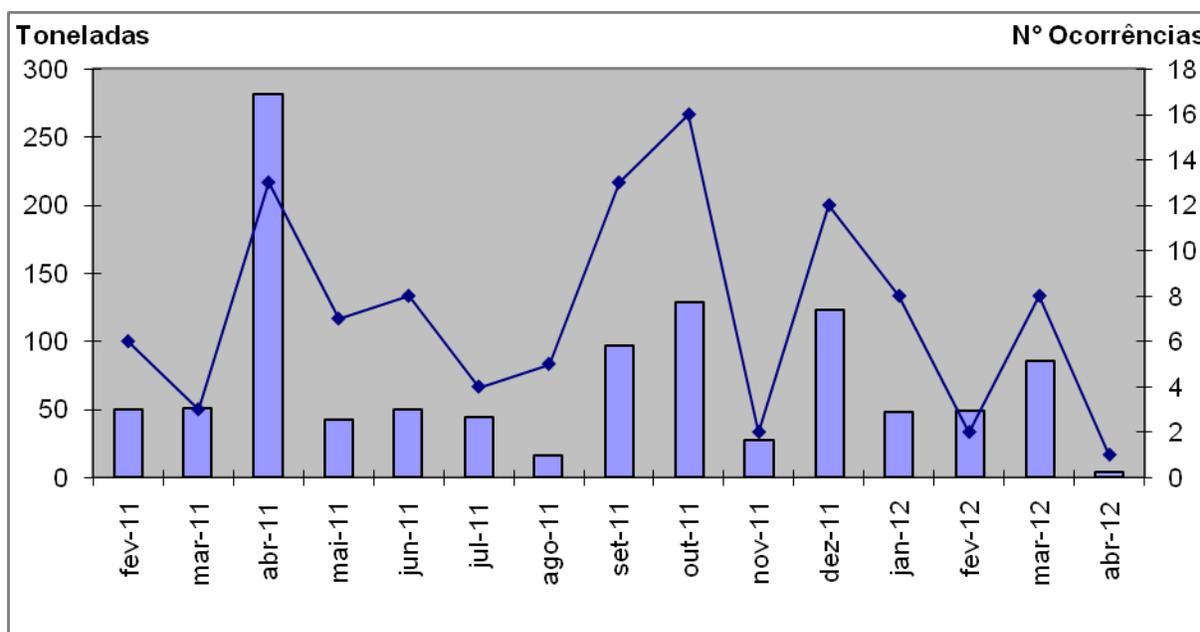


Figura 3 – Evolução de perdas mensais devido falhas na prensa.

Não é possível ainda afirmar que as ações são totalmente responsáveis por essa melhora, nem que elas irão se sustentar ao longo do tempo. No entanto, espera-se que este

resultado se mantenha para os próximos três meses, sendo que ao final de junho irá fechar o segundo trimestre, quando se finaliza o relatório parcial da evolução de perdas. Com os dados de junho poderá ser realizada uma nova rodada do FMEA, sendo possível então definir os novos índices RPN para os modos de falha.

Para comparação com as perdas dos últimos doze meses, realizou-se uma média das perdas de março de 2011 até março de 2012, o que gerou uma média mensal de 80,2 toneladas de produção.

Assumindo-se que as ações implantadas continuem dando resultados e que essa média de perda mensal para os próximos doze meses possa ser reduzida em 50%, ou seja, fique em torno de 40,1 toneladas por mês, tem-se ao mesmo tempo um potencial de redução de perdas de também 40,1 toneladas de borracha por mês. Projetando para doze meses, o potencial de redução de perdas é de 481,2 toneladas. Assim, espera-se que a empresa deixe de perder aproximadamente US\$ 120.000,00 com paradas de linha ocasionadas pela prensa.

5. Conclusões

A metodologia Seis Sigma tem sido largamente utilizada como ferramenta norteadora de ações para redução de perdas nas empresas. A utilização desta metodologia de forma bem estruturada, com planos e ferramentas mostra-se um fator preponderante para a resolução de problemas considerados de difícil solução, principalmente na análise de causas e direcionamento das ações. O método DMAIC, o qual é o método mais utilizado atualmente na implantação de programas Seis Sigma, é evidenciado neste trabalho, através da implantação desta metodologia em uma empresa petroquímica.

Este trabalho teve por objetivo reportar a aplicação da metodologia Seis Sigma, utilizando-se do método DMAIC, para redução de perdas de produção, e consequente potenciais ganhos financeiros, em uma divisão de uma indústria do setor petroquímico. A seriedade com que foi tratado esse projeto dentro da planta, a utilização das ferramentas adequadas, o comprometimento com a metodologia e principalmente o envolvimento das pessoas da área, foram fatores determinantes para o alcance do objetivo proposto.

Com a implementação da metodologia foi possível identificar os equipamentos que mais causavam perdas de produção. O trabalho focou o estudo na prensa hidráulica,

responsável por 21% do total de perdas. A partir de então foram mapeados quais componentes estavam causando a parada deste equipamento especificamente. Através da análise FMEA dos modos de falhas, foram definidas as ações de melhoria para diminuir a frequência com essas falhas ocorriam.

Com a conclusão de grande parte das ações de melhoria propostas, já foi possível no mês de abril de 2012 evidenciar bons resultados, visto que nos últimos doze meses de produção até março de 2012, a prensa estava ocasionando perda média mensal de 80,2 toneladas de borracha, enquanto que em abril de 2012 essa perda foi de apenas 3,6 toneladas. Estimando que essa redução fique em apenas 50%, ou seja, projetando perda média mensal para os próximos doze meses de 40,1 toneladas por mês, avalia-se que a empresa reduzirá em aproximadamente U\$ 120.000,00 suas perdas financeiras por paradas de linha ocasionadas pela prensa.

Como andamento da pesquisa, deve-se monitorar a conclusão de todas as ações de melhoria propostas e avaliar o sucesso das ações já implementadas, através do contínuo acompanhamento das perdas ocasionadas pelas falhas na prensa hidráulica. Para o futuro, pode-se também estender a análise realizada na prensa hidráulica para o segundo equipamento que mais proporciona perdas de produção, neste caso o elevador de caçambas (EL 25-1).

REFERÊNCIAS

ANDRIETTA, J. M.; MIGUEL, P. A. C. A importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. *Revista de Ciência & Tecnologia*, Vol.11 (20), p. 91-98, 2002.

ARAGÃO, I. R. *Redução de Perdas em um Processo Produtivo Petroquímico com o uso Conjunto da Árvore De Perdas e do Seis Sigma*. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008, 138p.

CALLIGARO, C. *Proposta de Fundamentos Habilitadores para a Gestão da Manutenção em Indústrias de Processamento Contínuo Baseada nos Princípios da Manutenção de Classe*

Mundial. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003, 146p.

ECKES, G. *A Revolução do Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro*. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

ECKES, G. *Six Sigma for Everyone*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

FRANZ, L. A. S. *Análise crítica de um projeto Seis Sigma em uma indústria petroquímica*. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003, 130p.

GIJO, A. V.; SCARIA, J.; ANTONY, J. Application of Six Sigma Methodology to Reduce Defects of a Grinding Process. *Journal Quality and Reliability Engineering International*, publicado online em 3 de maio de 2011.

GUZZON, S. O. *Proposta de análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA*. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009, 119p.

HWANG, Y. The practices of integrating manufacturing execution systems and Six Sigma methodology. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, p. 145–154, 2006.

KUMAR, S.; SOSNOSKI, M. Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol.58 (3), p. 254-273, 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E.M. *Metodologia do Trabalho Científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos*. São Paulo, Atlas, 2007.

PEÑA, R. *Aplicação Da Metodologia Seis Sigma Para Melhorar A Qualidade De Um Fornecedor*. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006, 116p.

PRANCKEVICIUS, D.; DIAZ, D.; GITLOW, H. A Lean Six Sigma Case Study: An Application of the “5s” Techniques. *Journal of Advances in Management Research*, Vol.5 (1), p. 63-79, 2008.

RECHULSKI, D.; CARVALHO, M. M. Programas de Qualidade Seis Sigma – Características Distintivas do Modelo DMAIC e DFSS. *Produção em Iniciação Científica da Escola Politécnica da USP, PIC-EPUSP*, São Paulo, Vol.1(2), 2004.

RODRIGUES, M. T. M. C.; WERNER, L. *Descrevendo o Programa Seis Sigma: Uma Revisão da Literatura*. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.

RODRIGUES, R. G.; PASA, G. S. *Sistemática de Planejamento da Programação da Manutenção na Indústria Petroquímica*. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2009, Salvador. Anais... Salvador: ABEPRO, 2009.

SCATOLIN, A. C. *Aplicação da Metodologia Seis Sigma na Redução das Perdas de um Processo de Manufatura*. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005, 155p.

STAMATIS, D. H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Wisconsin: ASQC, 1995. 494 p.

WERKEMA, M. C. C. *Criando a cultura Seis Sigma*. Série Seis Sigma. Volume 1. Nova Lima, MG: Werkema Ed., 2004.