

Utilização do método DMAIC para melhoria dos processos de fabricação e do produto: Estudo de Caso em uma empresa do ramo metalúrgico

Celso Luiz Gonçalves (DEP/UFSCar) celso.goncalves@ufscar.br
Fabiane Letícia Lizarelli (DEP/UFSCar) fabiane@dep.ufscar.br
José Carlos de Toledo (DEP/UFSCar) toledo@dep.ufscar.br

Resumo

Melhoria de processo e melhoria no produto são objetivos constantes nas organizações como um conjunto de fatores diferenciais na busca de vantagem competitiva. Várias abordagens têm sido utilizadas com o intuito de melhorar processos e produtos, como a Gestão da Qualidade Total (GQT), (Kaizen) e Seis Sigma. O presente artigo relata um estudo de caso da abordagem Seis Sigma com a utilização do método DMAIC para melhoria de processos de fabricação em conjunto com a melhoria do produto. O referido método foi aplicado no processo de fabricação do Anel Periférico de uma turbina tipo Kaplan, amplamente utilizada em sistemas de hidrogeração de energia elétrica. O objetivo é descrever um estudo de caso em uma empresa do setor metalúrgico fabricante de produtos para área de energia e apresentar a aplicação do método DMAIC para melhoria nos processos de fabricação e, conjuntamente, melhoria do produto que influenciam diretamente na qualidade.

Palavras chave: Seis Sigma, DMAIC, Turbina Kaplan

DMAIC method for improvement of manufacturing processes and product: Case research in a metallurgical company

Abstract

Process and Product Improvement are constants aims in organizations and are a set of differential factors in the search for competitive advantage. Several approaches have been used in order to improve processes and products, such as, Total Quality Management (TQM), (Kaizen) and Six Sigma. The present article reports a case research of approach Six Sigma using the DMAIC method to purpose manufacturing process improvement together with the product improvement. That method was applied in the process of manufacture of the Peripheral Ring of Kaplan turbine, widely used in hydro generation energy electricity. This article aims a case research in a metallurgical industry company and presents a DMAIC method application in improvement in manufacturing processes and jointly product improvement that directly influence the quality.

Key-words: Six Sigma, DMAIC, Kaplan turbine

1. Introdução

As empresas estão inseridas num cenário de competitividade mais acirrada e em resposta, as empresas buscam melhorar seus processos e produtos para obter vantagens competitivas e para que atendam as expectativas de seus clientes e acionistas.

Diversas abordagens podem ser adotadas para melhorar processos e produtos nas empresas. As ferramentas da GQT (Gestão da Qualidade Total) e de programas de qualidade em geral são usadas principalmente em áreas produtivas, para a melhoria da qualidade de processos, porém, podem ser também de grande utilidade para a melhoria de produtos (SUN et al., 2006). Ferramentas e métodos foram desenvolvidos e utilizados com o objetivo de melhorar a

produtividade e a qualidade dos produtos e são alvos de pesquisas teóricas e empíricas (XIE; GOH, 1999; BAMFORD; GREATBANKS, 2005), estes, primeiramente, estavam relacionados à Gestão da Qualidade Total (GQT), mas foram difundidos para outros programas, como o Seis Sigma e a abordagem de melhoria *Lean* (ANDERSSON et al., 2006; DAHLGAARD; DAHLGAARD-PARK, 2006).

2. Objetivo

O presente artigo tem objetivo de mostrar o impacto gerado por um projeto Seis Sigma, com aplicação do método DMAIC, na sistematização e melhoria do processo de fabricação e do produto denominado Anel Periférico de Turbina Kaplan - APTK, resultando em melhorias do produto decorrentes da melhoria do processo. Apresenta-se, discute-se e analisa-se os resultados da aplicação do método DMAIC para melhoria do processo e do produto conjuntamente.

3. Método de pesquisa

Para investigação do referido processo serão utilizados a revisão bibliográfica e o método de estudo de caso, ambos com abordagem qualitativa. Para Yin (2001), o estudo de caso caracteriza-se por uma investigação empírica de um fenômeno explorando as condições entre o fenômeno e o contexto em que este está inserido.

Um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou atual, elaborado a partir de várias fontes de provas. Ele pode incluir dados de observação direta e de sistemática de entrevistas bem como a partir de arquivos públicos e privados. Na verdade, qualquer fato relevante para o fluxo de eventos descrevendo o fenômeno é um dado potencial em um estudo de caso, uma vez que o contexto é importante (LEONARD-BARTON, 1990). O estudo de caso descreve um projeto DMAIC de um Programa de Melhoria Seis Sigma no processo de fabricação do APTK em uma grande empresa do setor metalúrgico.

Segundo a abordagem do estudo de caso, a partir da seleção do caso são determinados os métodos e técnicas, tanto para a coleta quanto para análise dos dados (MIGUEL e SOUSA, 2012). Nesse sentido, foram empregadas neste trabalho múltiplas fontes de evidência como mapeamento de processos realizados pela equipe de qualidade, indicadores de desempenho dos processos, número de não conformidades, registros de tempo de execução das etapas de fabricação, registros de quantidade de matéria prima e outros.

4. Revisão Bibliográfica

4.1 Melhoria Processos e Produtos

Com os objetivos operacionais alinhados aos objetivos estratégicos, programas de melhorias, tais como, *Total Quality Management (TQM)*, *Business Process Management (BPM)*, *Six Sigma*, *benchmarking*, e muitas outras são adotados pelas organizações para obterem Melhoria Contínua de produtos e processos (AHMED & MONTAGNO, 1996).

A MC pode ser definida como um conjunto de atividades que constituem um processo de raciocínio e intervenção que busca alcançar a melhoria de desempenho (JHA; NOORI; MICHELA, 1996). A MC pode ser compreendida como uma cultura de melhoria sustentável, visando, por meio do envolvimento de todos os participantes da organização, eliminar desperdícios em todos os processos organizacionais (BHUIYAN et al., 2006).

O Seis Sigma tem o objetivo principal na redução da variabilidade, não apenas nos processos de manufatura, mas também nas áreas administrativas e na confiabilidade do produto resultante do processo de MC e desenvolvimento de produtos (ANTONY; BANUELAS, 2002; CORONADO; ANTONY, 2002; BHUIYAN; BAGHEL, 2005; ANDERSSON et al., 2006;

SAVOLAINEN; HAIKONEN, 2007; BACZAK et al., 2009; NATARAJAN et al., 2013). O Seis Sigma trabalha com dois tipos principais de ações de melhoria, incrementais ou radicais, sendo que as primeiras ocorrem com o método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implantar Melhorias – *Improve* - e Controlar), e o segundo tipo envolve o desenvolvimento do projeto já baseado no índice de qualidade e confiabilidade Seis Sigma de produto e processo (*Design for Six Sigma - DFSS*), com a utilização do método DMADV (Definir, Medir, Analisar, Projetar – *Design* - e Verificar) (ANTONY; BANUELAS, 2002; BHUYIAN; BAGHEL, 2005; ANDERSSON et al., 2006; SAVOLAINEN; HAIKONEN, 2007; BACZAK et al., 2009).

Além de uma preocupação com a melhoria da confiabilidade e da qualidade do produto, existe uma preocupação com a MC do próprio processo do desenvolvimento de produtos, para que seja mais eficiente e eficaz, sem retrabalho e desperdício de tempo em atividades que não agregam valor ao processo (YAN; MAKINDE, 2009; YEH et al., 2010; KOWANG; RASLI, 2011). Para a melhoria do processo de desenvolvimento de produtos podem ser empregadas ferramentas *Lean* como o Mapa de Fluxo de Valor e eliminação de desperdícios (HAQUE; JAMES-MOORE, 2004; COOPER, 2009; SOPELANA et al. 2012), Nesse contexto, o Seis Sigma também pode ser utilizado como uma abordagem para melhorar sistematicamente o processo de desenvolvimento de produtos, porém esta aplicação ainda é pouco explorada na literatura da área (CHAUDHURI, 2012).

4.2 Programa Seis Sigma

Seis Sigma traduz empenhos de melhoria das empresas e em seus processos na meta específica de reduzir defeitos para próximo de zero. É uma estratégia empresarial que visa aumento da lucratividade das empresas por meio da redução de custos e aumento da qualidade do produto e serviços.

Na literatura encontram-se varias definições sobre essa metodologia. De acordo com Perez (1999), o Seis Sigma tem vários significados e sua metodologia é utilizada de diferentes maneiras. Entre as definições encontradas na literatura trata o Seis Sigma como uma filosofia, um valor a ser alcançado, um nível de qualidade dos processos, uma referência de comparação, uma estratégia, uma visão.

- **Seis Sigma como filosofia:** Visto como uma linha de pensamento para a MC de processos e redução da variabilidade
- **Seis Sigma como um valor a ser alcançado:** Utiliza o controle estatístico que tenta definir padrões de excelência operacional. O objetivo é fazer com que os processos não superem 3,4 defeitos por milhão de oportunidades
- **Seis Sigma como uma Referência de comparação:** Utilizado como um parâmetro de comparação do nível de qualidade de processos, operações, produtos, sistemas, entre outros.
- **Seis Sigma como Estratégia.** Os processos empresariais a serem melhorados devem estar alinhados com a estratégia da empresa e escolhidos por seus gerentes e diretores com foco no resultado financeiro mensuráveis e isso requer análise e conhecimento das limitações da empresa e das variáveis do mercado.
- **Seis Sigma como uma Visão:** Visão de levar a companhia a ser a melhor do ramo. Empresas capazes de desenvolver esse programa com sucesso têm maiores desempenhos em seus indicadores de ganhos e metas financeiras, retorno sobre o investimento, crescimento de empregos e retorno aos acionistas.

4.2.1 Infraestrutura Seis Sigma

Segundo Pyzdek (2003), uma característica importante na abordagem Seis Sigma é a criação de infraestrutura com recursos necessários para assegurar performance nas atividades de

melhoria. Para elaboração de um projeto Seis Sigma é necessário formar um equipe treinada composto pelos seguintes membros :

Champion: Membro da diretoria da empresa responsável por garantir o suporte necessário ao projeto;

Patrocinadores: São os gerentes das áreas envolvidas, responsáveis por definir as metas e também pela participação e integração de sua equipe ao projeto;

Mentor / Black Belt: Responsável pela orientação do time no uso das ferramentas Seis Sigma e pela revisão do projeto;

Membros: Composto por pessoas escolhidas de todas áreas envolvidas, que serão responsáveis pela operacionalização do projeto e por sugerir as melhorias nos processos.

5. Método de melhoria DMAIC

O objetivo de um projeto Seis Sigma é identificar resolver um problema por meio de uma abordagem científica na procura analítica pela solução. Para isso os projetos Seis Sigma são direcionados pelo método DMAIC (TOLEDO, 2013). Método sistemático designado pelas siglas iniciais das expressões *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*, (Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar), composto de fases bem definidas e estruturadas na busca de melhoria da qualidade dos processos (KUMAR; SOSNOSKI; 2009). Essa forma de aplicar melhorias nos processos é similar ao método da abordagem TQM amplamente conhecido como o ciclo de melhoria PDCA (Planejar, Realizar, Controlar, Agir), (SOKOVIC; PAVLETIC; PIPAN, 2010). Conforme Shiba, (2002) salienta que nos processos de melhoria como um método de resolução de problemas existe uma alternância entre atividades de dois níveis diferentes: *nível de pensamento* (reflexão, planejamento, análise, etc.) e *nível da experiência* (coleta dos dados, intervenção no processo, real) e essa alternância ou iteração de níveis também é possível ser observado no método DMAIC. As cinco fases de iteração entre o nível de pensamento e nível da experiência do DMAIC são analisadas nessa seção:

1- Definir: Nessa fase inicial os objetivos do projeto de melhoria devem ser bem definidos por meio de um pré-projeto (*Project charter*) que deve conter as descrições do problema, o escopo, a equipe de projeto, principais partes envolvidas, impacto financeiro e o cronograma. Nessa fase os objetivos estratégicos da empresa são evidenciados e no âmbito operacional os objetivos poderiam ser a redução do nível de defeitos, redução de retrabalhos, redução no *lead time* de fabricação. As ferramentas mais comumente utilizadas são pesquisas sobre a voz do cliente (VOC), mapeamento de processo, Fluxograma SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), *Benchmarking* e sistemas de análise de dados para identificar as oportunidades de melhorias potenciais (PYZDEK, 2003).

2- Medir: Essa segunda fase tem como objetivo determinar o desempenho atual do processo, ou seja, medir quanto o resultado do processo é bom ou ruim em termos de padrões aceitáveis de qualidade, perante as expectativas da organização e da satisfação do cliente. Essa medição auxilia o cálculo da distância (*gap*) entre desempenho atual e o desejado pelo cliente. Nessa fase é realizada uma coleta de dados de todas as variáveis envolvidas no processo para que seja estabelecida a medida da capacidade corrente (*baseline*). Podem-se utilizar as ferramentas de medição tais como: Análise de sistemas de medição, Análise exploratória de dados, Estatística Descritiva, Extração de informações (*Data Mining*), Cartas de controle e Diagramas de Pareto (PYZDEK, 2003).

3- Analisar: Etapa relativa ao nível de conhecimento está focada na análise das principais variáveis do processo com o objetivo principal de diminuir, ou mesmo eliminar, a distância (*gap*) entre o desempenho corrente e o desejado pelo cliente. Podem-se utilizar ferramentas de análise tais como: Mapeamento de processo, Diagramas de causa e efeito,

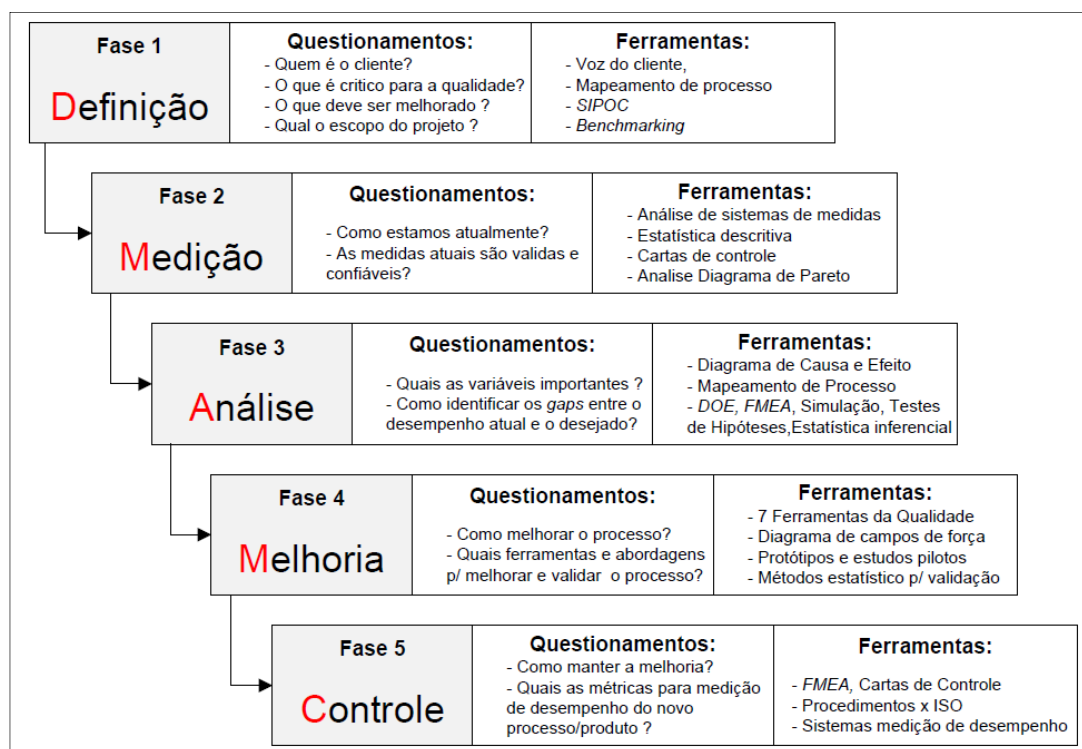
Brainstorming, Testes de Hipóteses, Planejamento de Experimentos (*DOE Design of Experiments*), Análise do Modo e Efeito de Falhas (*FMEA, Failure Mode and Effect Analysis*), Cartas de controle, Diagramas de árvore, Estatística inferencial (“X”s e “Y”s), Simulações e Diagramas de Pareto (PYZDEK, 2003).

4- Melhorar: Nessa etapa são priorizadas as ações a serem desenvolvidas para a melhoria do processo, ou seja, ações planejadas nas causas raízes “X” para que o processo apresente uma resposta “Y” em um patamar de melhor desempenho. Nessa fase as relações entre as variáveis do processo são mais visíveis. Podem-se utilizar as ferramentas de melhoria tais como: Diagramas de força, Sete ferramentas da qualidade, Ferramentas de planejamento e gestão de projetos, Protótipos e Estudos pilotos (PYZDEK, 2003).

Normalmente devem-se realizar modificações no a fim de torná-lo mais simples e com um tempo total necessário menor. Durante a fase de Melhoria, a equipe Seis Sigma deverá apresentar a nova versão do Mapa do Processo procurando eliminar todas as etapas que não agregam valor tais como, atividades de refazer, reparos, refugos, retrabalhos. Além disso, devem ser esgotadas todas as possibilidades de tornar o processo mais simples e menos burocrático.

5- Controle: Finalmente, com as poucas variáveis de entrada para o processo, e com seus valores otimizados para se obter a melhor resposta de saída do processo, deve-se realizar um plano de ação de controle para que o processo seja previsível e consistente. Esse plano deve ser monitorado constantemente para que o processo não volte ao seu estado anterior. Podem-se utilizar as ferramentas com objetivo de controle tais como: Cartas de controle, FMEA, Normas ISO, Sistemas de Medição de Desempenho (PYZDEK, 2003).

A figura 1 apresenta um resumo de todas as fases do DMAIC numa forma sequencial evidenciando os questionamentos chaves e as principais ferramentas a serem utilizadas na busca de resolução de problemas.



Fonte: Adaptado de PYZDEK (2003)

Figura 1- As fases, Questionamentos e Ferramentas do método DMAIC

6. A empresa do estudo de caso

A empresa é de capital nacional do setor metalúrgico de fabricação de equipamentos para área de infraestrutura e que possui um programa interno de melhoria de qualidade pela abordagem Seis Sigma e com um corpo técnico treinado para resolução de problemas.

6.1 Turbinas hidráulicas

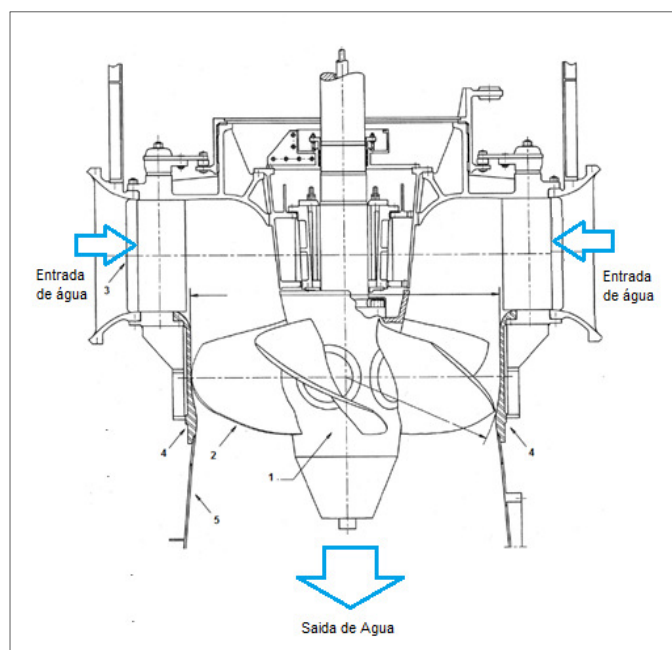
Como o caso está relacionado ao processo de fabricação da turbina hidráulica, é feita uma pequena explanação sobre as características desse produto. A turbina hidráulica é uma máquina com a finalidade de transformar a energia cinética do escoamento contínuo da água que a atravessa em trabalho mecânico. Para isso são equipadas com uma série de pás (*blades*). Quando a água passa por essas pás, as turbinas giram com uma grande força. A força com que gira essa turbina depende inicialmente da altura da queda de água, que corresponde, aproximadamente, a diferença de altitude entre a adução e a entrada da turbina. A turbina hidráulica utiliza a energia cinética de rotação de seu rotor para girar o gerador ao qual está conectado. Um dispositivo elétrico chamado transformador converte a tensão de saída do gerador em tensões aproveitáveis pelas concessionárias de energia elétrica.

Há alguns tipos de turbinas:

- a) *Turbinas de Ação* (ou impulso): O trabalho mecânico é obtido pela obtenção da energia cinética da água em escoamento através do rotor. As turbinas de ação são as do tipo Pelton;
- b) *Turbinas de Reação* (ou propulsão): O trabalho mecânico é obtido pela transformação das energias cinéticas e de pressão da água em escoamento através do rotor. As turbinas de reação são as do tipo Francis e Kaplan.

6.2 Turbinas Kaplan e seus componentes

Em 1912, o engenheiro Victor Kaplan (1876-1934), após estudos teóricos e experimentais, concebeu um novo tipo de turbina a hélice, comportando a possibilidade de variar o passo ou inclinação das pás denominado de turbina hélice de pás reguláveis. A figura 2 mostra uma corte longitudinal de uma turbina do tipo Kaplan e evidencia os seus componentes principais.



1- rotor, 2- pá, 3- palheta diretriz, 4- Anel Periférico, 5- Duto de sucção Fonte: Adaptado de Russel et al. (2004)

Figura 2 - Corte longitudinal em uma turbina tipo kaplan

O mecanismo que permite variar o ângulo de inclinação das pás conforme a descarga, sem variação notável do rendimento, fica alojado no próprio corpo do rotor com o formato de uma ogiva, e controlado pelo regulador de velocidade. Este atributo permite que possa se manter constante o rendimento da turbina, mesmo com a variação do volume da água (vazão). A figura 3 evidencia em dois momentos diferentes as inclinações das pás do rotor em função da vazão do recurso hídrico. Alta vazão angulação maior das pás e baixa vazão angulação menor.

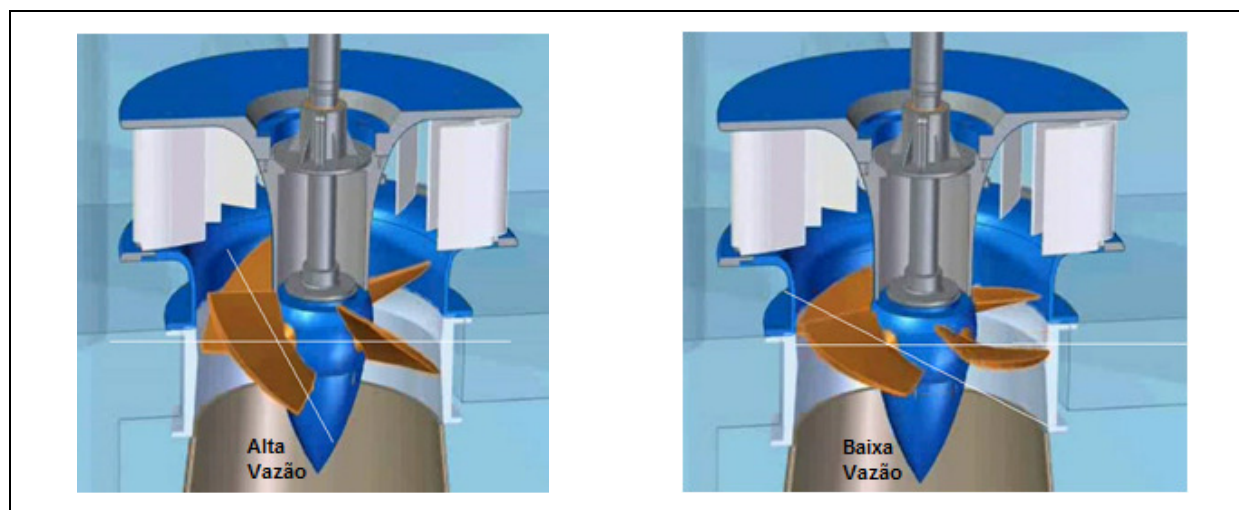
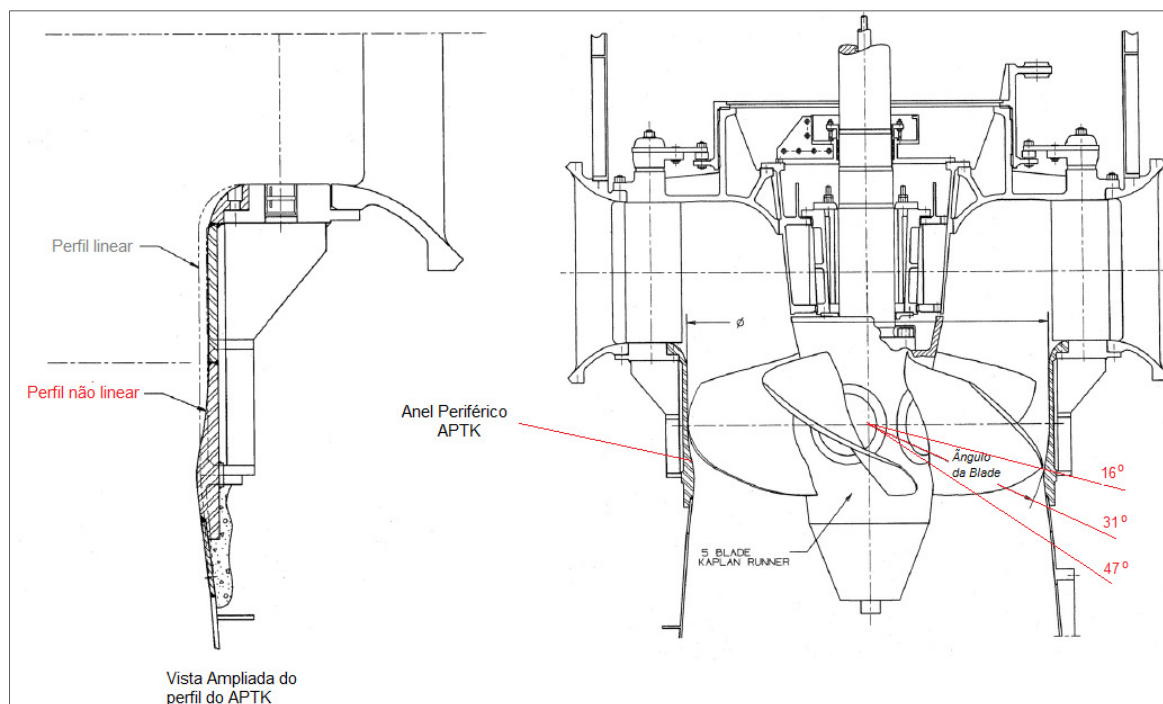


Figura 3 – Angulação das *blades* em alta e baixa vazão

Para aumentar ainda mais o desempenho da turbina, ou seja, que a energia cinética do movimento da água seja transformada em maior quantidade de energia mecânica de rotação, as distâncias das extremidades das *blades* em relação a anel periférico (parede interna) devem ser as menores possíveis e permanecerem constantes em qualquer angulação das *blades* do rotor (RUSSELL et al., 2004).



Fonte: Adaptado de RUSSELL et al. (2004)

Figura 4 – Detalhe da angulação das *blades* e vista ampliada do perfil do APTK

Normalmente a faixa de angulação das *blades* pode variar entre 16 e 47°. Na figura 4 são apresentados os detalhes da turbina Kaplan e as possíveis posições angulares. O movimento angular das *blades* e o atendimento do requisito de distância constante das extremidades das *blades* em relação à parede interna gera um perfil não linear no APTK. A figura 4 apresenta a vista ampliada do perfil não linear da parede interna do APTK.

7 Etapas do Projeto:

Como o projeto utiliza a abordagem Seis Sigma, o mesmo foi realizado em etapas de trabalho de acordo com as fases do método DMAIC e relatados nessa seção:

7.1 Definição

Indicadores de desempenho evidenciavam que o resultado financeiro e os prazos de entregas obtidos das últimas fabricações de APTK em relação aos resultados previstos estavam abaixo das metas desejadas, acarretando muitas contratuais e insatisfações dos clientes. A alta administração solicitou a equipe interna de melhoria Seis Sigma um projeto de análise das possíveis causas e ações de correção. Observou-se por intermédio de apontamentos de horas de fabricação que o processo corrente apresentava um valor muito acima do planejado e consequentemente grandes atrasos de fabricação e um excessivo número de não-conformidades apontados pelo Controle de Qualidade e com consequentes retrabalhos no processo de fabricação.

Declaração do problema: O atual processo de fabricação do Anel Periférico da Turbina Kaplan possui uma quantidade excessiva de horas de retrabalho e consequentemente, tem influenciado drasticamente a qualidade do produto, o prazo de entrega para o cliente e resultados financeiros para a organização.

Declaração do tema do projeto Seis Sigma : Reduzir o número de não-conformidades no processo de fabricação do Anel Periférico da Turbina Kaplan

7.2 Medição

Inicialmente foi realizado um levantamento nos registros da empresa dos dados dos projetos concluídos, ou seja, todas as fabricações de APTK. Foi levantado o mapa de processo e coletado os tempos de todas as atividades do processo de fabricação, números e tipos de não-conformidades na fabricação do APTK, as quantidades de HH (Homem-Hora) em fases de fabricação, quantidades de matérias primas, quantidade consumíveis (eletrodos de solda) e todas as quantidades de horas de retrabalho. A figura 5 evidencia o atual mapa de processo

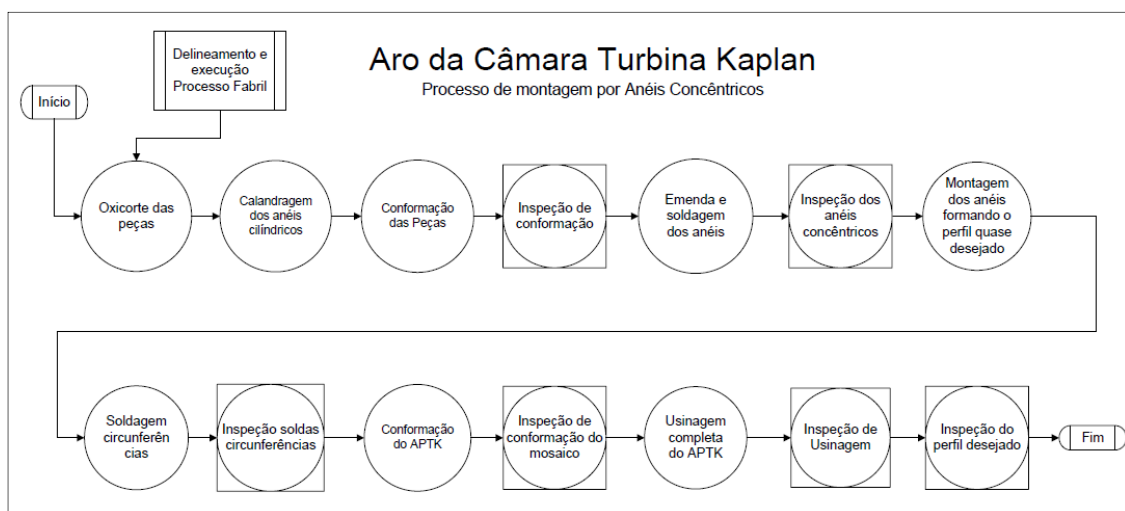


Figura 5 – Mapa de Processo da fabricação pelo método de soldagem por anéis concêntricos

7.3 Análise

Para a análise dos fatores que podem impactar o *lead-time* de fabricação (LTF) e consequentemente o resultado financeiro, foram feitas diversas reuniões de *brainstorming* com membros das diversas equipes de projeto para se chegar a um conjunto de possíveis variáveis críticas e que tenham correlação com o LTF.

7.4 Melhorias no Processo e no Produto

Por apresentar uma estrutura complexa e de grandes dimensões o Anel periférico é construído por um mosaico de anéis concêntricos soldados longitudinalmente para adquirir o perfil interno desejado vide figura abaixo. A figura 6 exemplifica o estado da arte de produção por mosaico de anéis concêntricos.

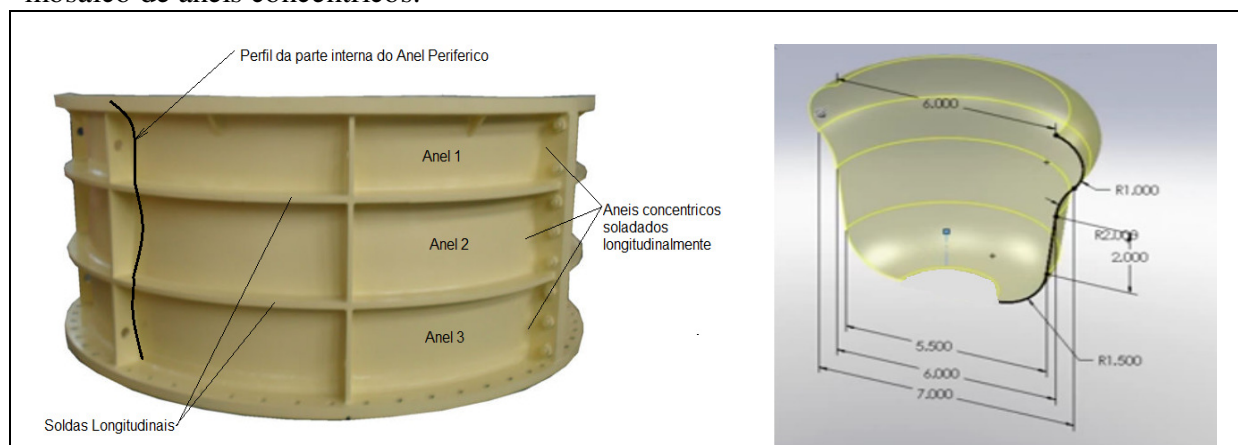


Figura 6 - Mosaico de anéis concêntricos do ATPK – Soldas longitudinais.

Após varias reuniões com a equipe envolvida e análise dos resultados das ferramentas do tipo causa-e-feito a solução encontrada foi alterar o processo de fabricação optando por uma outra forma de montagem baseado no mosaico de gomos transversais moldados em vez do método atual de mosaico de aneis concetricos. A figura 7 evidencia a escolha pelo novo método de construção do anel periférico.

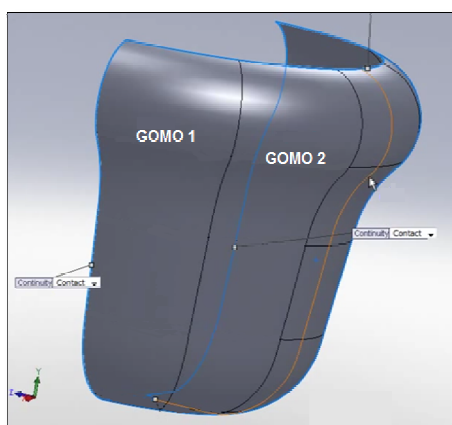


Figura 7– Fabricação por mosaico por gomos moldados do APTK – Soldas transversais

A equipe de Engenharia Industrial desenvolveu um dispositivo que cumpre o papel de molde para prensagem dos gomos no perfil não linear, como “quase desejado” e após a usinagem o perfil desejado. No processo de prensagem utilizou-se um pré aquecimento das chapas numa temperatura específica para facilitar a obtenção do perfil não linear. O novo processo resultou em um mapa de processo mais enxuto e consequentemente a redução do *lead time* de

fabricação. A figura 8 evidencia o novo mapa de processo de fabricação por mosaico soldagem de gomos.

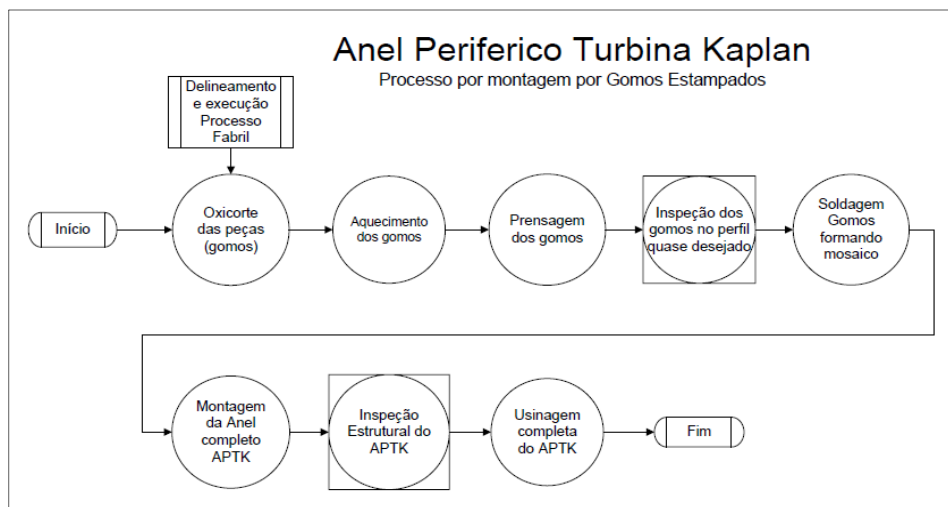


Figura 8- Mapa de Processo – Soldagem por mosaico de gomos

7.4.1 Ganhos tangíveis

A nova abordagem de melhoria no processo e no produto trouxe resultados positivos tanto na economia de matéria prima e consumíveis de solda como na redução de horas de fabricação e retrabalho. A tabela 1 consolida os ganhos nos materiais e atividades do novo método.

Materiais /Atividades	Método Anterior	Método Melhorado	Diferença	Ganho
Chapa de Aço Inox ASTM(Kg)	18540	16200	- 2340	12,62 %
Consumível de Solda (kg)	3290	2070	-1220	37,08%
Horas de fabricação (horas)	7100	4874	-2226	31,35%
Horas de retrabalho (horas)	2215	46	-2169	97,92%

Tabela 1 – Resultados comparativos antes e depois da aplicação da melhoria

7.4.2 Ganhos intangíveis

Além dos ganhos imediatos nos resultados, o novo processo de melhoria contribuiu também para resultados intangíveis tais como:

- Menor LTF e recursos envolvidos;
- Maior retorno financeiro para a organização;
- Atendimento no prazo estabelecido e satisfação do cliente;
- Maior disponibilidade da capacidade produtiva da fábrica;
- Menor número de registros de não conformidade de qualidade;
- Melhoria em conjunto do processo de fabricação e do produto.

7.5 Controle

O controle do processo passa a ser feito com a medição dos apontamentos de horas de usinagem, números de horas de retrabalho que permite as áreas agir imediatamente quando se verifica que houve algum desvio, minimizando assim, a possibilidade de não cumprimento dos prazos, custos e qualidade planejados.

Além dos apontamentos das variáveis importantes ao processo de fabricação, ações paralelas de gestão da qualidade, tais como treinamentos em ferramentas da qualidade foram incorporadas como uma forte contribuição a aumento do nível de maturidade da cultura de

MC na organização.

8. Análise e Conclusões

Nesse trabalho foi apresentado um exemplo de projeto de melhoria usando a abordagem Seis Sigma para melhoria do processo de fabricação e do produto de uma empresa do setor metalúrgico.

O projeto de melhoria seguiu as etapas do método DMAIC. Na fase “D” foram estabelecidos os fatores de satisfação dos *stakeholders*.

Na fase “A” foi realizado o mapa detalhado do processo e identificados os fatores importantes. As variáveis foram priorizadas qualitativamente e foram levantados dados históricos para se analisar as correlações causais e realizar nova priorização.

Na fase “I”, foi estabelecido um Plano de Melhoria para os fatores priorizados, constatando-se uma tendência na alteração do método de obtenção do APTK. Por fim, na fase “C” foram estabelecidos pontos de controle do processo.

A abordagem estruturada em forma de projeto, com começo, meio e fim, liderada por profissionais treinados na abordagem Seis Sigma e pertencente à hierarquia Belt (*Green e Black*) e a utilização de um método de resolução de problemas (DMAIC) e ferramentas de análise de dados, se mostrou eficaz na busca e análise das causas do problema.

Pode-se perceber que assim como qualquer processo, o de melhoria de processo e de produtos também necessita de análises sobre a causa de problemas e consequentes melhorias. Os resultados alcançados foram impactantes e mostra que a abordagem e o método possuem potencial de análise e identificação de melhorias em vários aspectos, que extrapola inclusive apenas o objetivo de melhoria e aponta para ganhos intangíveis para a organização e para o cliente.

Referências Bibliográficas

ANTONY, J.; BAÑUELAS, R. *Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program*. Measuring Business Excellence, v. 6, n. 4, pp. 20-27, 2002.

BAMFORD, D. R.; GREATBANKS, R.W. *The use of quality management tools and techniques: a study of application in everyday situations*. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 22, n. 4, pp. 376-392, 2005.

BHUIYAN N.; BAGHEL, A. *An overview of continuous improvement: from the past to the present*. Management Decision, v. 43, n. 5, pp. 761-771, 2005.

BHUIYAN, N.; BAGHEL, A. WILSON, J. *A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company*. International Journal of Productivity and Performance Management, v. 55, n. 8, pp. 671-687, 2006.

COOPER, R.; EDGETT; KLEINSCHMIDT, E. *Optimizing the stage-gate process: what best practices companies are doing*. Research Technology Management, v. 45, n. 5, pp. 43-49, 2002.

CORONADO, R. B.; ANTONY, J. *Critical Success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations*. The TQM Magazine, v. 14, n. 2, pp. 92-99, 2002.

DAHLGAAR, J. J.; DAHLGAARD-PARK, S. M. *Lean production, six sigma quality, TQM and company culture*. The TQM Magazine, v. 18, n. 3, pp. 263 – 281, 2006.

JHA, S.; NOORI, H.; MICHELA, J. L. *The dynamics of continuous improvement: Aligning organizational attributes and activities or quality and productivity*. International Journal of Quality Science, v. 1, n. 1, pp. 19-47, 1996.

HANQUE, B.; JAMES-MOORE, M. *Applying Lean Thinking to new product introduction*. J. ENG. DESIGN, v. 15, n. 1, pp. 1-31, 2004.

KOWANG, T. O.; RASLI, A. *New product development in multi-location R&D organization: A concurrent engineering approach.* African Journal of Business Management, v.5, n.6, pp. 2264-2275, 2011.

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 Iss 3 pp. 254 – 273, 2009.

MIGUEL, P. A. C.; SOUSA, R. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.* 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 137 p. 2012.

NATARAJAN, M.; SENTHIL, A. N.; DEVADASAN, S. R.; MOHAN, N. V.; SIVARAM, N. M. *Quality and reliability in new product development: A case study in compressed air treatment products manufacturing company.* Journal of Manufacturing Technology Management, v. 24, n. 8, pp. 1143-1162, 2013.

PEREZ-WILSON MARIO *Seis Sigma: Compreendendo o conceito, as implicações e os desafios.* Rio de Janeiro. Qualitymark Editora, 1999.

PYZDEK, T. *Six Sigma Handbook: Revised and Expanded: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels.* New York. McGraw-Hill, 2003.

RUSSELL, G.; PETERSON C., EBERLEINM D. *Conversion of a Propeller Turbine to Full Kaplan Operation at Michigamme Falls,* 2004. Disponível em <http://www.hydropowerusa.com/PDF_docs/HV4_130.pdf> Acesso 08 Jul.2015.

SAVOLAINEN, T.; HAIKONEN A. *Dynamics of organizational learning and continuous improvement in Six Sigma implementation.* The TQM Magazine, v. 19, n. 1, pp. 6-17, 2007.

SHIBA, S.; WALDEN, D. *Quality process improvement tools and techniques.* Massachusetts Institute of Technology and Center for Quality of Management, 2002.

SOKOVIC M.; PAVLETIC D.; PIPAN K.K. *Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS.* Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 43/1 476-483, 2010.

STAUB, E. *Desafios estratégicos em ciência, tecnologia e inovação.* IEDI.Brasília, 2001 (18 a 20/Set). Disponível em< <http://www.iedi.org.br> > Acesso em :10 Mar., 2015.

SUN, H.; ZHAO, Y.; YAU, H. K. *The relationship between quality management and the speed of new product development.* The TQM Journal, v. 21 n. 6, pp. 576-588, 2009

TOLEDO J.C. et AL. *Qualidade: Gestão e Métodos.* Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora, 2013.

XIE M.; GOH, T. N. *Statistical techniques for quality.* The TQM Magazine, v. 11, n. 4 . pp. 238-241, 1999.

YAN, B.; MAKINDE, O.D. *Modelling the Long Term Impact of Existing Products on Perceived Value of New Products.* Proceedings of the 2009 IEEE IEEM - Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 1136-1140, 2009.

YEH, T.-M.; PAI, F.-Y.; YANG, C.C. *Performance improvement in new product development with effective tools and techniques adoption for high-tech industries.* Quality & Quantity, v. 44, pp. 131–152, 2010.

YIN, R.K. *Estudo de caso - planejamento e métodos.* 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.