

Aplicação da metodologia DMAIC para redução do consumo de energia elétrica em uma estação de tratamento de água

Gabriel de Oliveira Papa (Universidade Metodista de Piracicaba) gepapa@unimep.br
Dr. Alexandre Tadeu Simon (Universidade Metodista de Piracicaba) atsimon@unimep.br

Resumo:

A Metodologia do *DMAIC*, aplicada a solução de problemas não triviais na indústria geram excelentes resultados em termos de excelência operacional. Quando alinhado o objetivo proposto às restrições da organização, a ferramenta é um guia conceitual para melhorar o desempenho de sistemas operacionais. Em estações de tratamento de água, os sistemas de bombeamento são os maiores consumidores de energia do processo. Com isso, o objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia *DMAIC* para solucionar o problema de alto consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento da estação, e reduzir 5% do consumo de energia elétrica do processo, sem impacto negativo nos parâmetros de restrição operacional do processo. Os resultados do estudo mostraram que a aplicação sistemática do *DMAIC* permitiu superar a meta de 5% de redução de consumo de energia, proposto no projeto.

Palavras chave: *DMAIC*, excelência operacional, sistemas de bombeamento, estação de tratamento de água, setor alimentício.

DMAIC methodology applied to a water treatment station to reduce the electricity consumption

Abstract

The DMAIC methodology, applied to solving non-trivial problems in the industry yields excellent results in terms of operational excellence. When aligned with the objective and constraints of the organization the tool is a conceptual guide to improve the performance of operating systems. Water pumping systems in treatment plants are responsible for the greater consumption of electrical energy. Therefore, possible operational improvements. The objective of this paper is to apply the DMAIC methodology to an industrial water pumping station and to solve the problem of high consumption of electric energy of the plant. Focused to reduce 5% of the electricity consumption of the process, without negative impact on the parameters restriction of the process. The results of the study showed that the systematic application of the DMAIC allowed overcoming the goal of 5% of reduction in the energy consumption.

Key words: DMAIC, operational excellence, pumping systems, water treatment plant, food sector.

1. Introdução

O Seis Sigma é uma metodologia aplicada de forma sistemática visando a excelência operacional pela melhoria contínua, e os processos estabelecidos por Shewhart e Deming para obter sistematicamente a redução de variabilidade pela aplicação de ferramentas e métodos estatísticos são indispensáveis (ZHANG et al, 2014).

A essência natural do Seis Sigma é de construir confiança de maneira a tornar mais fácil a condução dos processos de uma empresa na busca de seus objetivos, e assegurar o

crescimento sustentável da companhia (CHRISTIANSEN, 2011).

A metodologia Seis Sigma não é apenas efetiva e aplicada à melhoria da eficiência organizacional e na satisfação do cliente, mas também é efetivo na redução de custos operacionais e consequente aumento da lucratividade (LAUREANI, et al, 2013; HARRY et al, 2010). A filosofia do Seis Sigma está, entre outras, apoiada na metodologia rigorosa do *DMAIC* (*Define, Measure, Analyse, Improve and Control*), que são métodos para definir o problema a ser melhorado, medir para obter as informações e dados do problema, analisar as informações e dados coletados, melhorar o processo do ponto de vista do problema levantado, e controlar o processo para alcançar etapas ótimas visando a melhoria contínua (ROTONDARO, 2002).

Grande parte dos custos operacionais das empresas são relacionados ao consumo de energia elétrica. A escassez de recursos e a volatilidade dos preços são as maiores preocupações das empresas relacionadas a esse consumo. Além disso, as preocupações do gerenciamento e conservação de energia nos processos é alvo de atenção. O bom gerenciamento sempre busca os maiores ganhos com o mínimo de investimento possível (MKHAIMER et al., 2017).

De acordo com a (ABESCO, 2017), no Brasil, o gasto energético em estações de tratamento de água (ETAs) representa 15% a 19% do custo operacional total. Além disso, 93% dos custos relacionados são provenientes das estações elevatórias, unidade de captação e bombeamento de água, e, em média, para o bombeamento de 1m³ de água é necessário 0,6 kWh de energia elétrica (Tsutiya, 1999).

Edwards e Finn (2015) mostram que parte do ganho em eficiência energética em estações de tratamento de água está no controle de bombeamento de água, realizar a análise do volume bombeado, e efetiva demanda do processo. O gerenciamento dos recursos hídricos tem impacto direto na eficiência energética dos processos industriais, no qual grandes perdas de água significam grandes perdas de energia.

Muitas oportunidades de eficiência energética podem ser exploradas dentro do processo industrial de captação, tratamento e distribuição de água, e, sendo um processo oneroso, a eficiência pode gerar economias significativas. Algumas oportunidades de economia estão na redução da aplicação final da água, distribuição de água, bombeamento e na operação do sistema (MONACHESI, 2005).

Apesar do Seis Sigma aplicado pela metodologia *DMAIC* ser comprovadamente uma metodologia de sucesso na busca pela excelência operacional das empresas, a correta implementação, chave do sucesso, não é simples, principalmente nas fases iniciais, onde alguns problemas impedem a aplicação total do método (GRIMAA, et al, 2014).

Com isso, o objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia *DMAIC* no problema de alto consumo de energia elétrica do bombeamento de água industrial e solucioná-lo de maneira a reduzir 5% do consumo de energia elétrica do processo, sem impacto negativo nos parâmetros de restrição operacional.

2. Metodologia *DMAIC*

O método *DMAIC* é considerado a base operacional da ruptura Seis Sigma para as empresas, tornando chave do sucesso empresarial alcançado. O método está centrado na identificação dos problemas de impacto, para seleção de projetos, determinação do desempenho dos processos existentes, análise de causas dos problemas, excelência operacional e controle de processo (Rotondaro, 2002)

A condução do estudo é apoiada na metodologia do *DMAIC*, largamente aplicada na literatura

como solução de problemas industriais e como forma de se obter a excelência operacional.

De acordo com o estudo proposto por Knowles e Antony, 2002 e Rimantho et al. (2017), (Knowles & Antony, 2002); (Rimantho, Hernadi, Cahyadi, Prasetyani, & Kurniawan, 2017) o DMAIC é aplicado em etapas, e as respectivas saídas esperadas para cada uma das etapas, e como resultado final a medição dos benefícios alcançados, conforme mostra a Figura 1

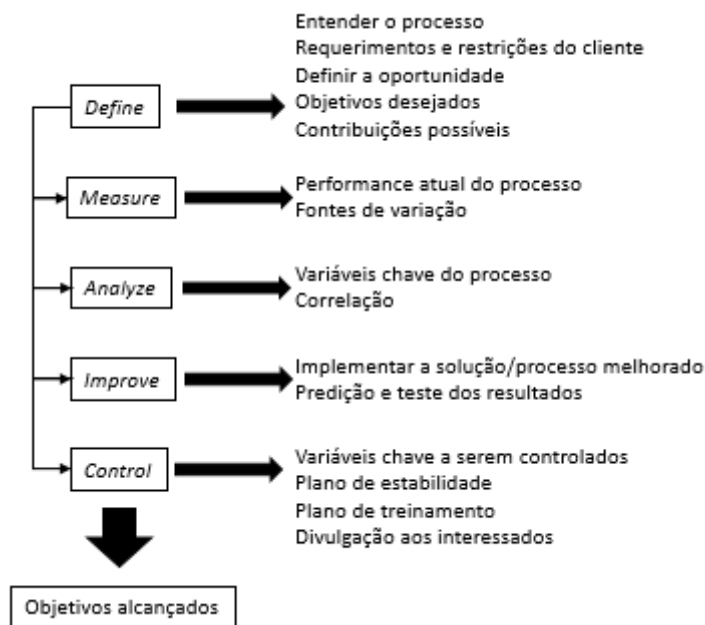


Figura 1: Passos do DMAIC e saídas do processo (KNOWLES e ANTONY, 2002; RIMANTHO, 2017)

Conforme mostra a Figura 1, o DMAIC começa com a definição do problema, seguido das medições de desempenho do processo. O objetivo a ser alcançado é definido e mapeado pelas ferramentas analíticas apropriadas para definir como o processo é melhorado, e por final a performance do processo melhorado é submetido ao plano de controle.

A estrutura da metodologia do DMAIC, conceitos, atividades, e ferramentas envolvidas são vastamente abordados nas obras clássicas da engenharia de produção, como por exemplo, em Slack (2009) e Rotondaro (2002). Essa estrutura reúne os conceitos que devem ser abordados em um estudo de melhoria operacional, aplicando a metodologia do DMAIC e compiladas no Quadro 1 e serão desenvolvidas na seção seguinte para a solução do problema deste estudo.

Quadro 1: DMAIC, Fases, conceitos, atividades e ferramentas (Rotondaro, 2002) - adaptado

FASE	Define	Measure	Analyse	Improve	Control
Conceitos	Qual a meta do problema a ser solucionado?; quais as restrições do processo?	Qual o desempenho atual?; qual a taxa de defeitos?	Qual a variação do processo?; qual a causa raiz do problema?	Como o processo pode ser modificado?; quais melhorias podem ser implementadas?	Como é o comportamento da melhoria ao longo do tempo?; como assegurar a melhoria no futuro?
Atividades	Identificar as metas para o problema; criar carta do projeto; definir criticidade e	Definições operacionais; definir plano de coleta de dados; determinar a	Definir as causas do problema; priorizar causas do problema;	Propor soluções; avaliar as soluções; criar mapa do processo melhorado; criar plano de ação;	Desenvolver plano de treinamento e acompanhamento das melhorias de processo; implementar as

	restrições; criar SIPOC; definir objetivos	capabilidade do processo; validar oportunidade financeira; criar mapa do processo	analisar as causas raízes; priorizar as causas raízes	realizar testes com o processo melhorado	medidas de controle do processo; monitorar e estabilizar o processo; reportar os resultados e validar o ganho financeiro
Ferramentas	Carta de projetos; análise dos stakeholders; plano de comunicação; CT Tree SIPOC	Folha de coleta de dados; estatística descritiva; gráfico de pareto; MAS; VSP; BPM	Gráfico de Pareto; diagrama de causa e efeito; brainstorming; 5W; análise de valor	Brainstorming; matriz de priorização; plano de ação; VSM; BPM; simulação dos eventos	Gráfico de controle; padronização; plano de comunicação; plano de implementação; plano de treinamento; plano de controle do processo

O Quadro 1 envolve os conceitos, atividades e ferramentas envolvidas nas etapas do *DMAIC*, enquanto a Figura 1 desenvolve o fluxo com que a metodologia deve ser empregada, com os parâmetros de entrada e saída do processo a ser melhorado.

3. Método de pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida e conduzida para entender a operação e o consumo de energia elétrica da estação de captação de água para processos industriais de uma empresa multinacional química, que produz, entre outros, para o setor alimentício.

Além disso, o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica da unidade levou a uma investigação dos procedimentos de operação do sistema de captação de água, por meio de dados levantados junto ao supervisor de produção, engenheiro de utilidades e operadores.

A partir daí foi necessário identificar se haviam desvios na operação que levassem ao alto consumo de energia elétrica, e encorajar o estudo a prosseguir com a meta de reduzir 5% no consumo de energia elétrica do sistema.

A metodologia do *DMAIC* foi escolhida para o desenvolvimento e implementação do trabalho, por ser alinhada às estratégias de desenvolvimento de projetos dentro da companhia, e a qual os profissionais estavam habituados. Além de ser uma metodologia amplamente difundida e aplicada na indústria, com reporte de resultados satisfatórios.

4. Resultados

Para o estudo foi considerado a metodologia do *DMAIC* proposta na Figura 1 e Quadro 1 e aplicada para o problema de alto consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento de água da ETA (Estação de Tratamento de Água). Dessa maneira, apesar da metodologia ser empregada para a solução de problemas não triviais de diversas áreas do conhecimento, esse estudo está limitado a aplicação do processo trabalhado.

3.1 Fase *Define*

Um dos eixos suportados pelos *stakeholders* é assegurar a competitividade dos negócios por meio de excelência operacional. Este trabalho tem essa diretriz como principal pilar para fundamentar a base de estudo, melhoria e implementação.

O engajamento para o início do projeto foi baseado na escassez de recursos hídricos sazonal

do Brasil, fator responsável por alavancar o custo da energia elétrica. Além disso, as bombas de captação de água da ETA, são os ativos de maior consumo de energia elétrica do processo.

Para o desenvolvimento do trabalho foi decidido que a solução para a redução do consumo de energia elétrica não demanda investimento financeiro, o que significa dizer que o projeto vai contar somente com os recursos instalados no setor, e propriedade intelectual dos colaboradores.

A Figura 2 apresenta o processo de captação de água da ETA. Conforme mostra a Figura 2, a captação de água é feita em um canal artificial, localizado no lado Norte do site industrial, formado pela interligação do Rio Atibaia e Ribeirão Anhumas. A ETA conta com 9 bombas de captação de água (J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9), e capacidade instalada de 16000 m³/h de bombeamento. Sendo a outorga de 8450 m³/h.

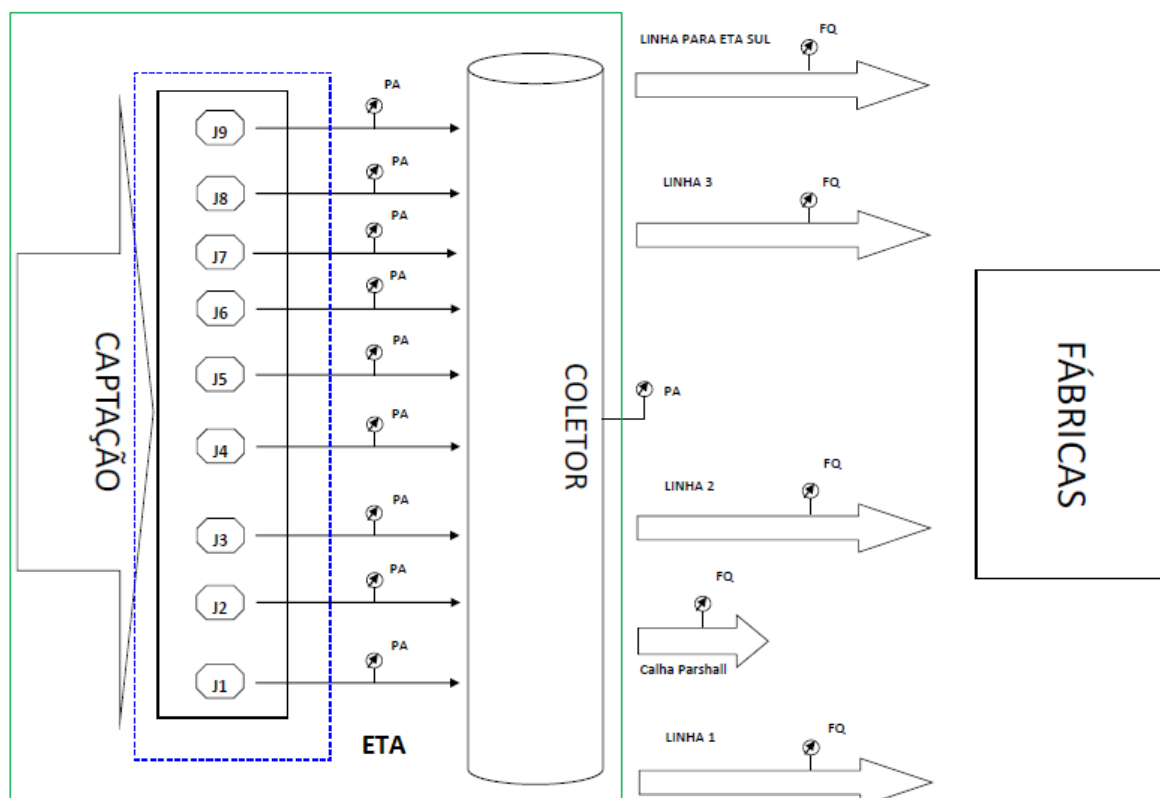


Figura 2: Fluxograma do processo de captação de água da ETA

A demanda média atual da fabricação, e projetada para o próximo período é de 4500 m³/h, em teoria essa média de consumo é suprida por três bombas ligadas em paralelo sendo 2 (duas) de 2000 m³/h e 1 (uma) de 1000 m³/h. No entanto, devido à restrições do processo e necessidade de manter a pressão no coletor geral de água entre 4,2 kgf/cm² e 5,0 kgf/cm². Faz com que a operação opte, por, no mínimo, trabalhar com 3 (três) bombas de 2000 m³/h, totalizando 6000 m³/h, ou seja, 1500 m³/h à mais que o necessário.

A oportunidade de melhoria deste processo está na variação atual do consumo de potência elétrica do processo, dentro do mesmo cenário de demanda de água pela fabricação. Com operações em diferentes configurações no período, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Variação no consumo de potência elétrica nos diferentes métodos operacionais

A figura 3 mostra o modelamento do sistema operacional atual, com o respectivo consumo de potência em cada um dos 57 métodos de operação, selecionado ocasionalmente pelos funcionários responsáveis pela operação do sistema, totalizando um consumo de 9484 MW/ano de energia elétrica.

Atualmente os operadores escolhem quais bombas entram em operação. Em função do baixo desempenho de alguns conjuntos operacionais, funcionam em números superiores ao necessário de bombas. Não há padrão de operação que determine a eficiência operacional para as possíveis combinações existentes.

A meta definida no projeto é reduzir 5% esse consumo de energia elétrica atual, pela sistematização das operações, e com um método operacional eficiente.

Ainda nesta etapa do projeto, ouviu-se a voz do cliente (VOC), Figura 4, resultou na informação de que o aumento do custo da energia elétrica proveniente das concessionárias de energia exige a redução do consumo, assim, assegurar a competitividade dos negócios.

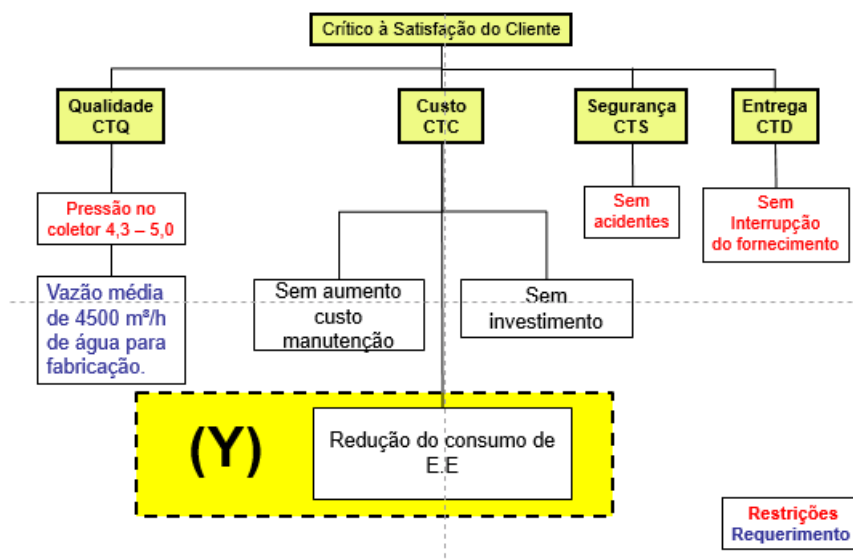


Figura 4: Árvore de criticidade à satisfação do cliente – CT Tree

A figura 4 inicia-se com a criticidade à satisfação do cliente, que são os fatores determinantes para atender a voz do cliente. O eixo da qualidade (CTQ) determina os fatores que devem ser

assegurados com as alterações operacionais, e são críticos à qualidade na fabricação. Em custos, CTC, o cliente não vai investir capital para alterações no processo e não aceita aumento nos custos de manutenção. Dentro desse eixo, está o foco do projeto, reduzir o consumo de energia elétrica, visto como a saída do processo (Y). Na parte de segurança (CTS), o projeto não pode aumentar riscos às operações e pessoas. Para a entrega (CTD) o cliente não aceita interrupções no fornecimento de água para fabricação.

3.2. Fase Measure

As variações do processo identificadas na fase *define* são os métodos operacionais que impactam no consumo de energia elétrica do sistema. As restrições impostas pelos valores de vazão e pressão de água no sistema, devem ser incluídas como fonte de variação do processo a serem medidas.

A Figura 5 mostra a definição do modelamento que foi desenvolvido para medir as variáveis de impacto do processo (Pativa, Vazão, Pressão) para identificar as melhorias, sem deixar de atender as restrições impostas pelo cliente.

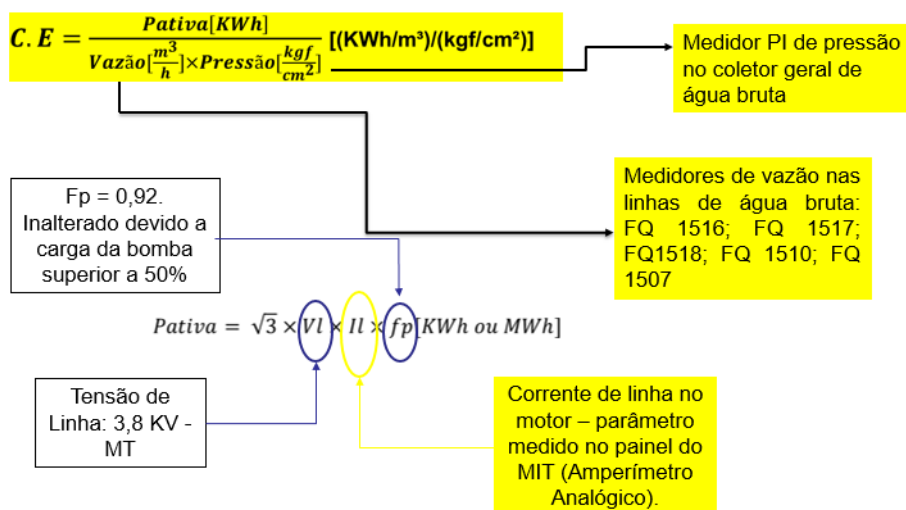


Figura 5: Modelamento do sistema de medidas e consumo específico

A Figura 5 mostra o indicador de performance do sistema (C.E) e os parâmetros envolvidos nas medições. Onde Pativa (potência ativa) é a demanda de potência nos motores elétricos para acionamento das bombas de água.

A Pativa é calculada com o valor fixo da tensão de alimentação dos motores elétricos (VI), assim como a corrente de linha que varia com a variação da carga acionada no sistema, e o fator de potência (fp) é a parcela de energia ativa que circula na rede elétrica transformada efetivamente em trabalho mecânico na bomba, que é inalterado para variações inferiores a 50% da carga, pois o acionamento do equipamento é de forma direta, sem nenhum tipo de controle de partida ou controle de variação de carga.

Os medidores de vazão FQ 1516, FQ 1517, FQ 1518, FQ 1510 e FQ 1507 estão instalados nas linhas de distribuição de água para fabricação, localizados após o coletor de água, ponto onde as vazões são medidas e somadas para compor o parâmetro de vazão na equação do C.E. O manômetro PI está instalado no coletor de água, e uma vez que as bombas são acionadas em paralelo, a pressão de descarga da bomba é aproximadamente a mesma pressão do coletor.

A variação atual do C.E do processo é medida para uma amostra igual a 460 medições e mostrada na Figura 6 com os parâmetros descritivos da variação do processo.

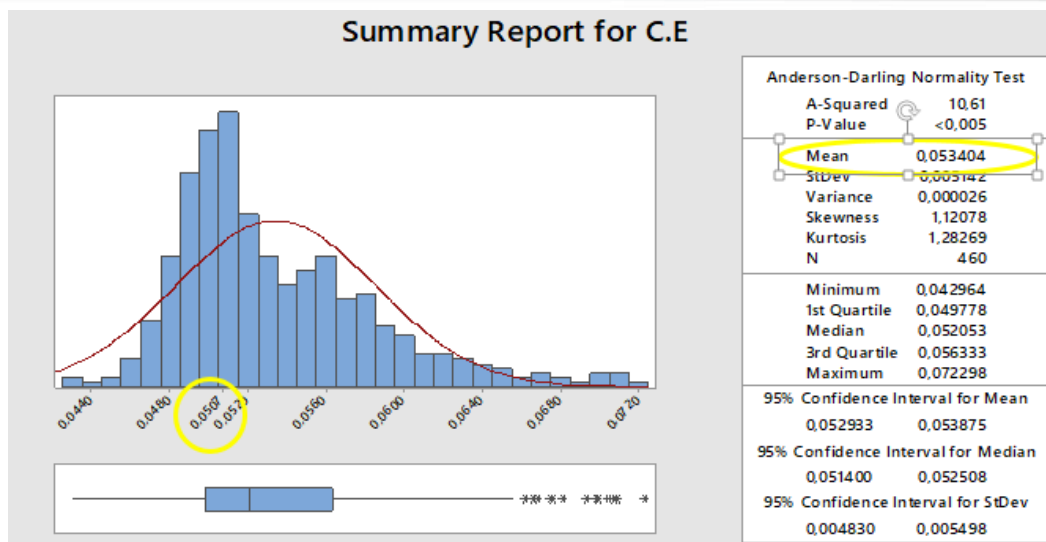


Figura 6: Variação do C.E do processo

A média do parâmetro de consumo específico é de 0,053, com mínimo em 0,043 e máximo de 0,072. Observa-se na Figura 6 que existe uma grande variabilidade no processo, em função da não padronização das operações, além de um grande número de *outliers* nos valores observados.

A oportunidade de ganho do projeto foi definida na identificação do melhor método de operação com três bombas acionadas, com o menor consumo de energia, e consequente redução da variação do processo.

3.3. Fase Analyze

Nesta fase, os dados coletados são analisados por meio de ferramentas estatísticas, para identificar as variáveis que impactam no processo, divididas em causas óbvias e não óbvias (ROTONDARO, 2002). As causas óbvias que impactam no processo estão mostradas na Figura 7.

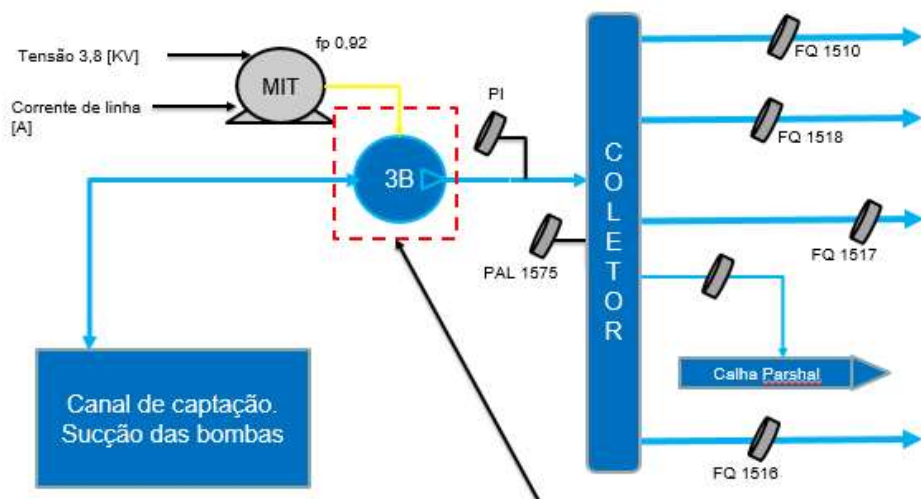


Figura 7: Causas óbvias de impacto no processo

Sabe-se que operar com três bombas que conseguem suprir a demanda do processo, e que demandam menor consumo de energia, impacta diretamente na eficiência operacional do sistema. Sendo que, com menos de três bombas em operação, as restrições impostas pelo

processo e pela voz do cliente não são atendidas. No caso em que mais de três bombas estão em operação, o sistema perde em eficiência, consequentemente aumenta o C.E e o consumo de energia elétrica.

As causas não óbvias estão relacionadas com o comportamento operacional do sistema, em diferentes métodos de operação com três bombas. Dessa maneira, quando a diretriz de operar somente com três bombas é estabelecida, é necessário identificar dentre esses métodos, os de melhor desempenho, conforme mostra a Figura 8.

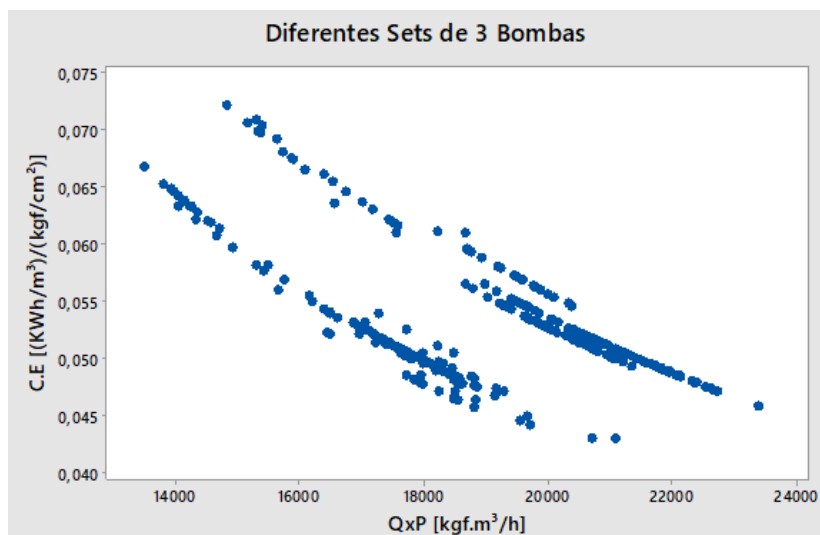


Figura 8: Diferentes set point operacionais com três bombas acionadas

A Figura 8 mostra o comportamento do denominador do C.E, vazão e pressão, no eixo X e o consequente consumo específico no eixo Y. Observa-se na Figura 8 que existem diferentes consumos específicos que atendem a mesma restrição de vazão e pressão do sistema, e com melhor desempenho.

3.4. Fase *Improve*

A fase de melhorar a condição operacional consiste em identificar qual o maior impacto das variáveis controláveis no processo para alcançar o objetivo proposto (ROTONDARO, 2002). Assim, é necessário identificar a condição operacional dos métodos testados anteriormente que possuem o melhor desempenho. A Figura 9 mostra que para as condições de operação requeridas pelo sistema é possível obter um consumo específico menor.

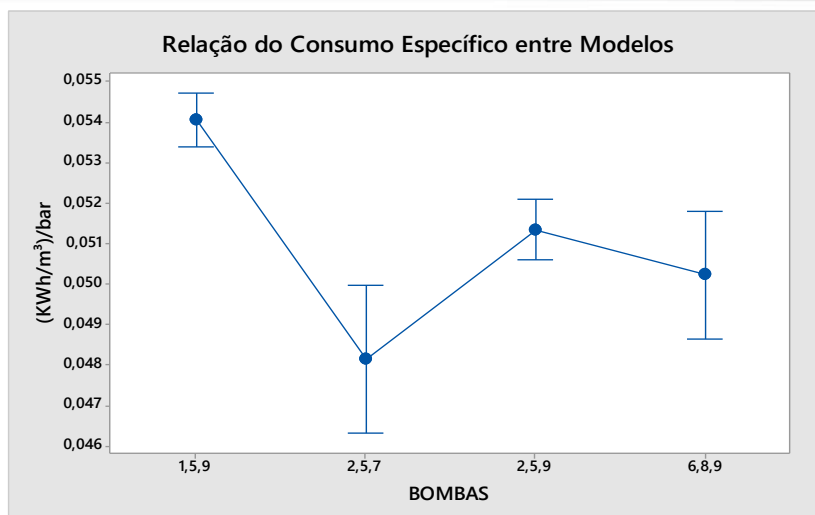


Figura 9: C.E. entre modelos operacionais

Pelo intervalo de variação do processo quando opera com as bombas 2,5,7; 2,5,9; e 6,8,9 não há variação significativa que possa ser estatisticamente comprovada, pois os intervalos de confiança dos gráficos para estas bombas, se sobrepõem. Porém, quando o modelo de operação é composto pelas bombas 1,5,9, o consumo específico é maior, portanto consome mais energia para suprir a mesma demanda que os demais modelos propostos.

Observa-se que já nessa fase do projeto é necessário inserir parâmetros que sejam possíveis de controle e, portanto, mais visíveis aos operadores do sistema, para tanto, o sistema de medidas do consumo específico teve seu denominador alterado de kgf/cm^2 para bar, que é uma unidade de medida de pressão, equivalente, e torna mais visível a operação.

O *boxplot* da Figura 10 mostra o comportamento do processo melhorado, operando com os modelos mais eficientes em um comparativo com a operação anterior.

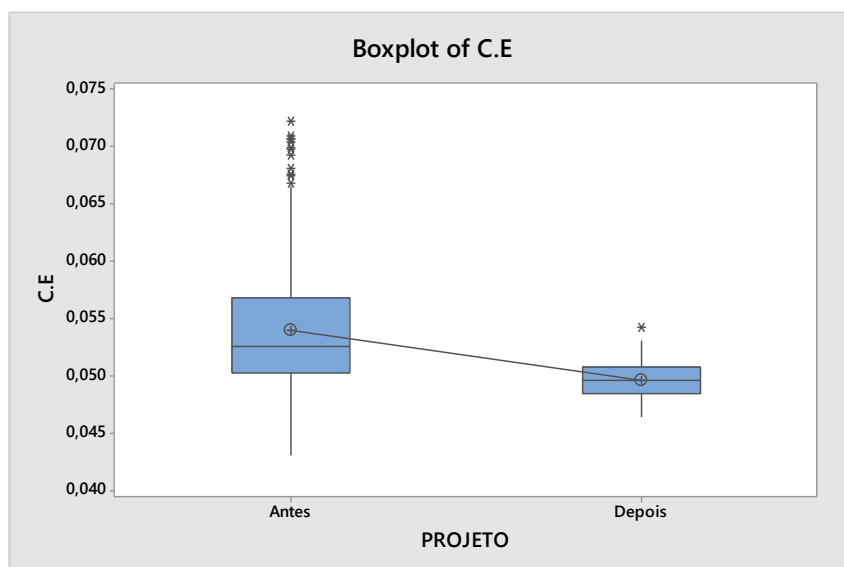


Figura 10: *Boxplot* antes e depois do processo melhorado

O consumo específico do processo definido antes do projeto possuía diversos valores discrepantes, observado pelo grande número de *outliers* na Figura 10 fora de controle, muito em função de não haver sistematização nas operações, para o processo melhorado, depois, observa-se apenas um *outlier*, indicando que o processo está se comportando dentro do

esperado e com variação menor.

Em termos quantitativos, a média do consumo específico anterior era de 0,054 contra 0,049 do processo melhorado, indicando que a meta de 5% do projeto foi superada.

3.5. Fase Control

O controle é a fase final do projeto, na qual são definidas as variáveis a serem controladas. Neste caso, o consumo específico é o indicador de desempenho do sistema, e a variação deste deve estar dentro dos limites estabelecidos pelo processo melhorado.

Para isso, o C.E é implementado como indicador chave do processo e controlado por medições em tempo real, para identificar possíveis desvios na operação e corrigi-los rapidamente. Além disso, as pessoas são parte fundamental dessa etapa, finalizada com a apresentação para os operadores envolvidos no sistema de captação de água para estarem cientes da importância de manter o processo operando de maneira eficiente, e dentro dos parâmetros de consumo estabelecidos.

5. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi de aplicar a metodologia *DMAIC* em um problema de alto consumo de energia elétrica de uma estação de bombeamento de água industrial, e reduzir 5% do consumo de energia elétrica do processo, sem impacto negativo nos parâmetros de restrição operacional do processo.

Todas as etapas do *DMAIC* foram sistematicamente aplicadas e os respectivos resultados foram apresentados e discutidos. Observou-se com o desenvolvimento deste trabalho que a metodologia *DMAIC*, quando bem estruturada e seguida de maneira rigorosa é uma ferramenta poderosa na solução de problemas não triviais. No caso deste estudo, ainda que a abrangência do trabalho não possa ser estendida para todos os sistemas de operação de estações de tratamento de água, os resultados mostraram que o foco necessário, aliado a uma estrutura de concepção para solução bem estruturada geram resultados satisfatórios.

Com relação à meta de redução do consumo de energia elétrica, proposta no projeto, nota-se que foi possível esta redução e a superação da meta de 5% definida previamente. Além disso, destaca-se que as melhorias foram alcançadas sem qualquer tipo de investimento financeiro, apenas com a utilização dos recursos disponíveis, conforme definido no início do projeto.

6. Referências

ABESCO. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. www.abesco.com.br, 2017. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/novidade/como-a-eficiencia-energetica-pode-ser-aplicada-no-tratamento-de-agua/>. Acesso em 15 ago. 2017.

CHRISTIANSEN, Ó. *Rethinking "quality" by classic grounded theory*. International Journal of Quality and Service Sciences, Vol. 3, p. 199-210, 2011.

EDWARDS, K. C.; FINN, D. P. *Generalised water flow rate control strategy for optimal part load operation of ground source heat pump systems*. APPLIED ENERGY, Vol. 150, p. 50-60, 2015.

GAIO, M. *Eficiência energética em sistemas de bombeamento: manual prático*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

GHOSH, S.; MAITI, J. *Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality - a case study*. Production Planning & Control, Vol. 25, n. 6, p. 478-493, 2014.

GRIMAA, P.; MARCO-ALMAGRO, L.; SANTIAGO, S.; TORT-MARTORELLA, X. *Six Sigma: hints from practice to overcome difficulties*. Total Quality Management, Vol. 25, n. 3, p. 198-208, 2014.

HARRY, M. J.; MANN, P. S.; DE HODGINS, O. C.; HULBERT, R. L.; LACKE, C. J. *Practitioner's Guide to Statistics and Lean Six Sigma for Process Improvements*. New York: John Wiley & Sons, 2010.

KNOWLES, G.; ANTONY, J. A. *Six Sigma and organizational learning: An opportunity missed?* Em Quality, Innovation and Knowledge Conference, p. 18-20, 2002, Kuala Lumpur, Malasia. Disponível em: www.monash.edu.au/oce/qikconference. Acesso em 20 mar. 2017.

LAUREANI, A.; BRADY, M.; ANTONY, J. *Applications of Lean Six Sigma in an Irish hospital.* Leadership in Health Services, Vol 26, n. 4, p. 322-337, 2013.

MKHAIMER, L. G.; ARAFEH, M.; SAKHRIEH, A. H. *Effective implementation of ISO 50001 energy management system: Applying Lean Six Sigma approach.* International Journal of Engineering Business Management, Vol. 9, p. 1-12, 2017.

RIMANTHO, D.; HERNADI, D.; CAHYADI, B.; PRASETYANI, R.; KURNIAWAN, Y. *The Application of Six Sigma in Process Control of Raw Water Quality on Pharmaceutical Industry at Indonesia.* International Journal of Applied Engineering Research, Vol. 12, n. 6, p. 848-860, 2017.

ROTONDARO, R. G. *Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços.* São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, N. *Administração da produção.* 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TSUTIIYA, T. M. *Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto.* Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 8, n. 3, p. 2611-2625, 1999.

ZHANG, M.; WANG, W.; GOH, T. N.; HE, Z. *Comprehensive Six Sigma application: a case study.* Production Planning & Control, p. 219-234, Vol 26, n. 3, 2015.