



# (APLICAÇÃO DE UM PROJETO GREEN LEAN SEIS SIGMA PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA) Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis

**Juliano Endrigo Sordan (UFSCar)**  
[julianosordan@yahoo.com.br](mailto:julianosordan@yahoo.com.br)

**Reinaldo Santos Lima (UNAERP)**  
[reinaldolima0208@gmail.com](mailto:reinaldolima0208@gmail.com)

**Pedro Carlos Oprime (UFSCar)**  
[pedro@dep.ufscar.br](mailto:pedro@dep.ufscar.br)

*A integração de práticas ambientais com a abordagem Lean Seis Sigma (Green LSS) desponta como uma estratégia de excelência operacional capaz de ampliar o escopo das ações de melhoria de modo a gerar resultados financeiros e, ao mesmo tempo, economia no consumo dos recursos naturais. O presente artigo tem como objetivo apresentar uma aplicação de um projeto Green LSS, estruturado pelo método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), cujo propósito foi o aumento da eficiência de uma estação de tratamento de água em uma fábrica de bebidas. Por meio de um estudo de caso único e longitudinal, o artigo descreve a sequência das etapas executadas, as ferramentas utilizadas e os resultados obtidos com o projeto. As ações de melhoria apresentadas, além de atingir os objetivos estabelecidos no projeto, proporcionaram uma redução no consumo de energia elétrica, assim como no volume de efluente gerado no processo. Esta pesquisa pode contribuir com a execução de futuros projetos Green LSS, cujo propósito seja a melhoria do meio ambiente e dos resultados operacionais por meio do modelo DMAIC.*

*Palavras-chave: Green, Lean Seis Sigma, DMAIC, Excelência Operacional.*

## 1. Introdução

A proposta de integração entre as abordagens *Lean Manufacturing* (LM) e Seis Sigma (SS) tem sido amplamente disseminada nas organizações a partir do início deste século. A estratégia *Lean Seis Sigma* (LSS) tem como principal objetivo oferecer aos praticantes uma estrutura comum para a implementação de projetos e iniciativas voltadas à excelência operacional, capazes de gerar resultados em termos de qualidade, custo e velocidade.

Enquanto o LM enfatiza ações voltadas para a eliminação de desperdícios e aceleração de processos, a estratégia SS se desdobra por meio da implementação de projetos de melhoria direcionados para a redução de defeitos, diminuição da variabilidade dos processos e redução de custos (ANDERSON *et al.*, 2014). A proposta de integração entre as duas abordagens foi inicialmente apresentada no livro “*Lean Six Sigma: Combining Six Sigma with Lean Speed*” (GEORGE, 2002), onde o autor apresenta estudos de caso reais e relata diversos benefícios decorrentes da integração entre as duas abordagens.

Os desafios socioambientais presentes na vida contemporânea, tais como a questão das mudanças climáticas, o aumento no consumo dos recursos naturais, a poluição, o crescimento demográfico, juntamente com o aumento nos custos energéticos, têm-se mostrado presentes nas estratégias organizacionais por meio de novos critérios competitivos (CHERRAFI *et al.*, 2016). Despontam neste cenário, os requisitos inerentes à três dimensões da sustentabilidade (econômica, social e ambiental), também referenciados na literatura pelo termo *triple bottom line*, doravante compreendidos como parte integrante das estratégias de gerenciamento e melhoria dos processos e operações (McCARTY *et al.*, 2011).

Diante deste cenário, o paradigma da sustentabilidade, denominado neste artigo por “*Green*”, emerge como uma filosofia de gestão e abordagem operacional direcionada para a redução dos impactos ecológicos negativos proveniente dos produtos e serviços fornecidos por uma organização, assim como uma proposta de melhoria da eficiência ambiental das operações, assegurando ao mesmo tempo, o alcance dos objetivos financeiros (GARZA-REYES, 2015).

Enquanto as similaridades entre LSS e *Green* abrangem iniciativas em torno de uma filosofia de melhoria contínua, redução de desperdícios e engajamento dos colaboradores, as principais diferenças entre elas residem no uso de uma linguagem específica (emprego de termos técnicos e palavras do idioma japonês, como por exemplo, *kaizen*, *kanban* e *muda*) e aplicação de um pacote de ferramentas, tais como eventos *kaizen*, 5S e *Value Stream Mapping* (EPA, 2009).

Embora a integração das práticas *Green* com a abordagem LSS (*Green LSS*) seja reconhecida no meio acadêmico como uma estratégia capaz de guiar iniciativas direcionadas para a melhoria do meio ambiente e dos resultados operacionais, estudos de campo envolvendo aplicações dessa natureza ainda representam uma lacuna na pesquisa (ALBLIWI *et al.*, 2015). Deste modo, observa-se uma carência de estudos práticos envolvendo a implementação de projetos *Green LSS* nas organizações. O presente artigo tem como objetivo descrever a implementação de um projeto *Green LSS* estruturado por meio do método DMAIC para o aumento da eficiência de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) em uma fábrica de bebidas.

## 2. *Green Lean Seis Sigma*

Após a publicação do livro “*A máquina que mudou o mundo*”, escrito a partir de uma pesquisa sobre as tendências na indústria automobilística, com destaque para o eficiente Sistema Toyota de Produção, o LM tornou-se uma referência mundial no que tange a eficiência dos processos de manufatura (WOMACK *et al.*, 1990). A implementação das práticas LM pode ser conduzida por meio do pensamento *lean*, que abrange os seguintes princípios: (i) especificação do valor sob o ponto de vista do cliente, (ii) identificação do fluxo de valor para cada família de produto, (iii) promoção do fluxo contínuo, (iv) produção puxada a partir das necessidades do cliente; e (v) contínua busca pela perfeição (WOMACK; JONES, 1996).

A abordagem Seis Sigma foi concebida na Motorola em 1987 com o intuito de melhorar drasticamente a qualidade de seus produtos. Dois anos após essa iniciativa, a empresa recebeu o prêmio *Malcolm Baldrige National Quality Award* como reconhecimento dos resultados obtidos com o programa (PANDE *et al.*, 2001). O termo “Seis Sigma” é utilizado para descrever a capacidade de um processo em gerar apenas 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), assumindo uma distribuição normal e média deslocada de  $1,5\sigma$  dos limites de especificação (MONTEGOMERY; WOODALL, 2008).

Os projetos Seis Sigma apresentam quatro características: (i) foco em resultados, com impacto financeiro; (ii) integração do elemento humano com o processo de melhoria e cultura de mudança; (iii) metodologia específica orientada para a melhoria de produtos e processos existentes (DMAIC) ou para o desenvolvimento de novos produtos e processos (DMADV); e (iv) infraestrutura técnica, que envolve um grupo de profissionais capacitados que desempenham papéis específicos para liderar, desenvolver e implementar os projetos, incluindo *Champions*, *Master Black Belts*, *Black Belts* e *Green Belts* (SNEE, 2004).

Enquanto o foco do LM reside na redução dos desperdícios em todos os processos e no aumento da velocidade, a estratégia SS enfatiza as ações para o desenvolvimento de projetos, eliminação de defeitos, redução da variabilidade inerente aos processos e redução de custos (ANDERSON *et al.*, 2014). Os projetos que aplicam as ferramentas de melhoria *lean* por meio da metodologia DMAIC são reconhecidos como projetos LSS (SNEE, 2010).

As iniciativas de melhoria que integram as práticas *Green* e LM geralmente apresentam melhor desempenho operacional devido a sobreposição de temas comuns às duas áreas, tais como a aplicação de técnicas para redução de desperdícios, redução de *lead time* e gestão da cadeia de suprimentos verde (DÜES *et al.*, 2013). Sob a ótica da gestão ambiental, o significado do termo “defeitos” pode ser ampliado para a economia na utilização dos recursos, que é uma prática essencial para promover a sustentabilidade dos recursos que se esgotam rapidamente (GARZA-REYES *et al.*, 2014). Neste contexto, a implementação das iniciativas *Green* LSS conduzidas em direção às práticas de prevenção da poluição e sustentabilidade podem incluir as seguintes ações (EPA, 2009):

- *Fast kaizen*: eventos tipicamente implementados durante 2 ou 5 dias, onde equipes buscam a reduzir *lead time*, custos e poluição, assim como a melhoria da qualidade do produto e eficiência ambiental.
- *Cultura de melhoria contínua*: engajamento dos colaboradores em práticas voltadas para identificação e eliminação de desperdícios, bem como na implementação de práticas ambientais:
- *Práticas preventivas*: práticas *Green* LSS podem minimizar os impactos ambientais e permitir a incorporação de aspectos legais e regulatórios nas práticas de excelência operacional.
- *Oportunidades para ideias sustentáveis*: sinergia entre praticantes LSS e especialistas ambientais para a implementação de estratégias de otimização dos recursos naturais.

### 3. Método de pesquisa

O presente estudo pode ser compreendido como sendo de natureza qualitativa, visto que esse tipo de abordagem, por ser essencialmente interpretativa, faz com que o pesquisador descreva o cenário por meio de uma perspectiva construtivista, recorrendo a análise de dados para identificar temas ou categorias por meio de uma lente pessoal (CRESWELL, 2007).

As atividades de coleta e análise dos dados foram estruturadas por meio de um estudo de caso único e longitudinal, visto que este método é recomendado para trabalhos que tenham como características a necessidade de encontrar respostas às questões “como” e “por que”, pouco ou nenhum controle sobre o evento por parte do pesquisador e foco em problemas contemporâneos dentro de um contexto real (YIN, 2009).

O caso discutido neste artigo retrata um problema real observado em uma organização de grande porte instalada no interior do Estado de São Paulo e que atua no seguimento de bebidas (identificada neste estudo como “Indústria X”). O critério de escolha da organização considerou a oportunidade de investigação de um caso real envolvendo a aplicação de um projeto *Green LSS* no interior do Estado de São Paulo.

Os dados foram coletados e registrados por meio de entrevistas envolvendo os colaboradores que participaram do projeto e análise documental. As entrevistas foram conduzidas de forma semiestruturada de modo que os participantes pudessem expressar livremente a experiência na condução do projeto. Após a coleta dos dados procedeu-se uma análise da abordagem adotada pela empresa na implementação do projeto *Green LSS*, assim como das técnicas e ferramentas utilizadas. A análise foi norteadada pela sequência de atividades previstas no modelo DMAIC e contraposta com as práticas recomendadas na literatura pertinente ao tema.

## 4. Resultados

### 4.1 Contextualização do problema

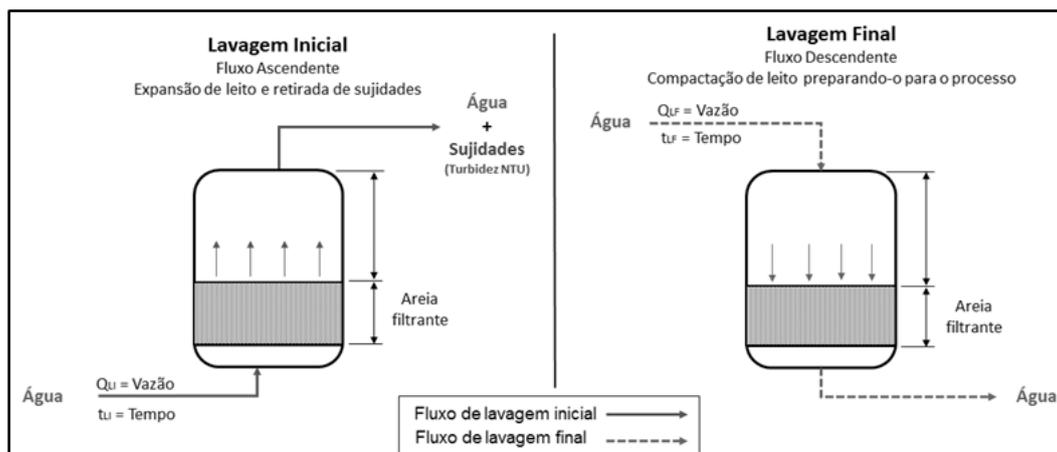
A Indústria X produz anualmente mais de 400 milhões de litros de bebidas e incorpora boa parte do *market share* de refrigerantes no mercado nacional. Seu processo de fabricação possui linhas de envase dedicadas para o processamento de mais de duzentos produtos de tamanhos variados que abastecem diversas cidades nos Estados de São Paulo e Minas Gerais.

A cultura de excelência operacional na Indústria X inclui a gestão de indicadores de alto nível, que priorizam as iniciativas de melhoria, o gerenciamento dos processos e a implementação de projetos LSS, que são estruturados de acordo com os métodos DMAIC/DMADV. Em 2014 a organização foi certificada como centro de referência internacional em excelência operacional em um programa que abrange 58 grupos de fabricantes de bebidas em 63 países e tem como propósito a melhoria contínua dos processos e a geração de valor ao negócio.

Considerando que a água é a principal matéria-prima dos produtos fabricados na Indústria X, a eficiência no consumo da água é um componente do pilar do sistema de gestão da organização voltado para a sustentabilidade. Além da operação da ETA, a gestão de efluentes inclui a promoção de ações voltadas para a redução do consumo de água e conscientização dos operadores, reutilização da água por meio de tecnologias de processo, reciclagem da água utilizada nos processos industriais e recuperação de água de chuva.

A eficiência no consumo de água é um indicador chave inerente à política de sustentabilidade da Indústria X. Neste contexto, a empresa identificou a necessidade de aumentar a eficiência da ETA por meio da recuperação da água utilizada na contralavagem. Tal eficiência é influenciada pela filtragem realizada nos filtros de areia e nas colunas de carvão ativado. A contralavagem (lavagem inicial + lavagem final) é um procedimento de limpeza aplicado nos filtros da ETA com o propósito de remover sujidades que ficam retidas na areia filtrante, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Procedimento de contralavagem



Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.2 Fase de Definição

Na fase de Definição foram desenvolvidas as declarações do problema a ser tratado no projeto, os objetivos e benefícios esperados, a definição da Equipe do Projeto (EP) e partes interessadas, os requisitos críticos para a qualidade (*critical to quality* - CTQs), assim como o desenvolvimento de um mapa de processo. Essas etapas podem ser auxiliadas por diversas ferramentas incluindo o termo de abertura de projeto, também conhecido como “*project charter*”, fluxogramas de processo, diagramas SIPOC, entre outras (MEHRJERDI, 2011).

O primeiro passo na execução do projeto de aumento da eficiência da ETA foi a elaboração de um *project charter* pela EP. O Quadro 1 sintetiza o conteúdo desse documento descrevendo os objetivos do projeto, os CTQs, o escopo das ações executadas, os colaboradores envolvidos e os benefícios potenciais decorrentes das ações implementadas. O projeto *Green LSS* teve início em fevereiro de 2018 e foi concluído no mês de dezembro do mesmo ano.

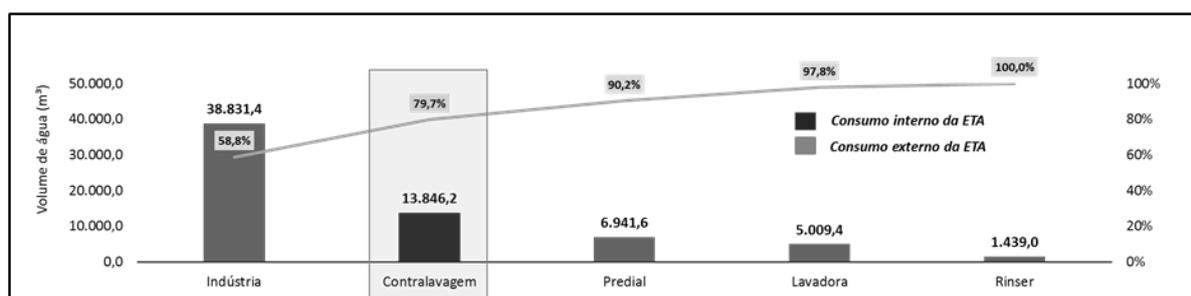
Quadro 1 – Síntese do *project charter*

| <b>Título do Projeto</b> | <b><i>Aumento da Eficiência da ETA</i></b>  |
|--------------------------|---|
| Objetivo do projeto      | Aumentar a eficiência da ETA por meio da recuperação da água utilizada na contralavagem.  |
| CTQs                     | Espaço para armazenamento da água de reuso (m <sup>3</sup> ); Menor volume de efluente; atendimento aos parâmetros de qualidade (pH, NTU, STD, Fe, Al); tempo de contralavagem e disponibilidade de água tratada.   |
| Escopo do projeto        | ETA instalada na unidade, com foco nos filtros.   |
| Time do projeto          | Coordenador da Qualidade (Champion); Analista OPEX (líder do projeto); Líder da ETA; Coordenador OPEX; Técnico ETA; Estagiária ETA  |
| Benefícios Esperados     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automação do processo e aumento da vida útil de equipamentos.</li> <li>• Otimização da capacidade de armazenamento da água de reuso.</li> <li>• Conscientização sobre o consumo de água na operação da ETA.</li> <li>• Melhoria do Sistema de Medição (Medidores de vazão).</li> </ul> |

Fonte: Dados da pesquisa

A primeira reunião de *brainstorming* realizada pela EP teve como pauta a identificação de problemas e oportunidades para melhoria no âmbito da operação da ETA. Foram discutidos diversos assuntos tais como nível de automação do processo, capacidade de armazenamento de água de reuso, conscientização dos operadores quanto ao consumo de água na operação de contralavagem, erros de medição dos medidores de vazão e desgaste de equipamentos. Buscando um melhor entendimento a respeito do problema, a EP elaborou um gráfico de Pareto com a estratificação do consumo interno e externo da ETA, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico de Pareto referente ao consumo de água na ETA



Fonte: Dados da pesquisa

Conforme observado na Figura 2, o procedimento de contralavagem corresponde a 20,90% do consumo total de água. Uma parte dessa operação é realizada em filtros de areia (48,6%) e a outra em colunas de carvão ativado (51,4%). O escopo do projeto foi direcionado para os filtros de areia devido à facilidade de implantação de mudanças no curto prazo. A EP então elaborou uma matriz SIPOC (*Suppliers-Input-Process-Output-Customers*) para o levantamento das principais saídas (Y's) e entradas (X's) do processo de operação da ETA.

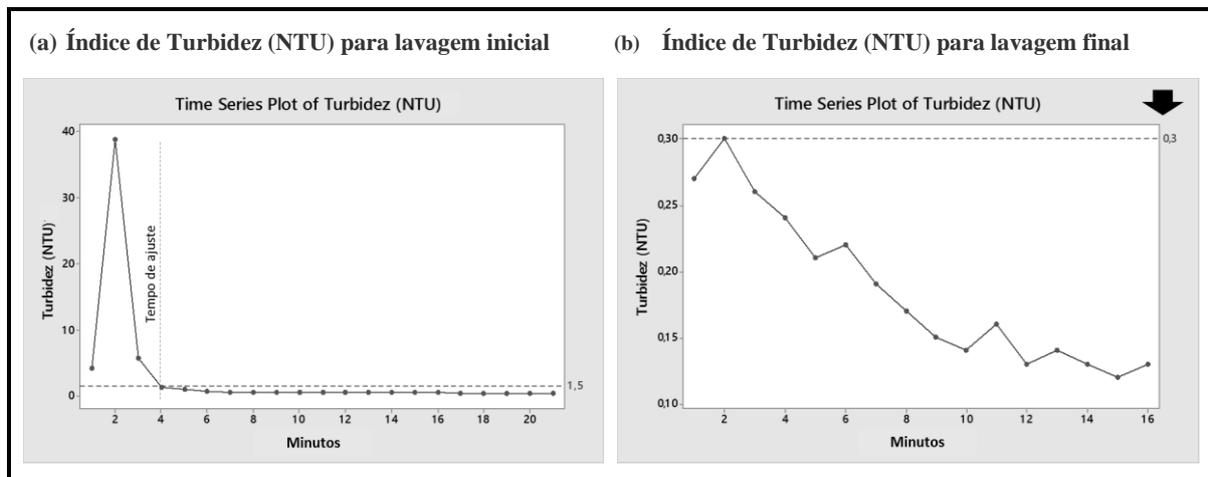
### 4.3 Fase de Medição

A fase Medição é dedicada para a seleção das características do produto, mapeamento do respectivo processo, estruturação da coleta de dados e análise do sistema de medição, assim como estimativa dos índices de capacidade do processo (DE KONING; DE MAST, 2006). As atividades executadas nessa fase do projeto incluíram a elaboração de um mapa do processo e análise de dados da operação da ETA para avaliar a adequação do processo atual com os parâmetros operacionais da organização. Tendo em vista que o propósito do projeto é aumentar a eficiência da ETA por meio da recuperação da água utilizada na contralavagem, a EP definiu o indicador “índice de água recuperada” como métrica de desempenho do processo.

Para assegurar a qualidade dos dados coletados, a EP desenvolveu uma definição operacional com os procedimentos para a medição dos indicadores de turbidez, tempo de lavagem (inicial e final) e vazão. Tais procedimentos definiram as responsabilidades para a coleta dos dados, assim como a frequência de registro. O tamanho da amostra foi estabelecido com base na estimativa de proporção populacional finita e nível de confiança de 95%. Foram coletadas 16 amostras de água de contralavagem abrangendo cinco filtros de areia para a medição da vazão e perfil de turbidez em função do tempo, sendo uma amostra coletada a cada minuto.

A Figura 3(a) apresenta o gráfico de tendência para o índice de turbidez da lavagem inicial. O requisito de operação interno determina que essa lavagem seja finalizada ao atingir 1,50 NTU (*Nephelometric Turbidity Unity*), sendo que foram desconsiderados na análise os 4 primeiros minutos de operação, por representarem o momento onde é retirado o maior volume de sujidades do filtro (ajuste do processo). A Figura 3(b) ilustra o índice NTU para a lavagem final, cujo requisito determina que a operação seja finalizada ao atingir 0,30 NTU respeitando um tempo mínimo de 5 minutos para que ocorra a compactação do leito de areia. O índice de turbidez mede o espalhamento de luz decorrente da presença de partículas em suspensão em unidade nefelométrica.

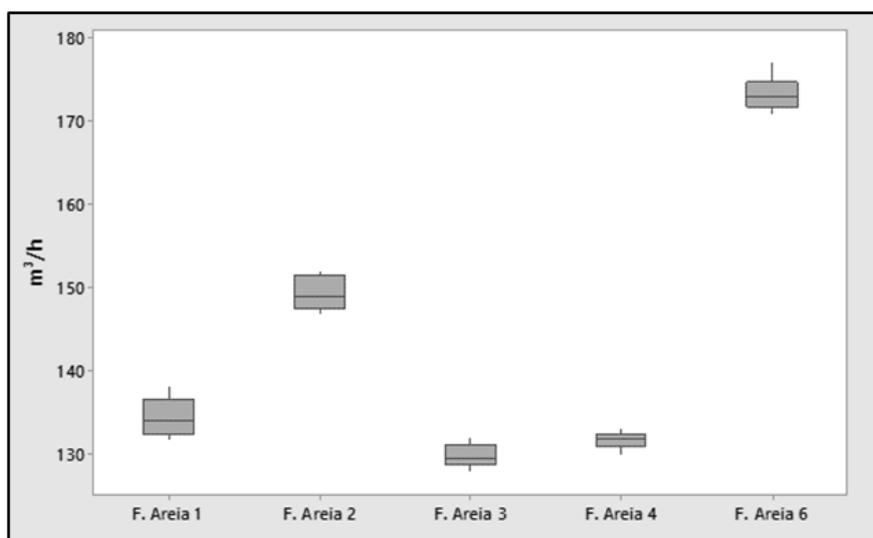
Figura 3 – Gráfico de tendência para indicadores de turbidez



Fonte: Dados da pesquisa

Os valores de turbidez levantados na fase de medição foram então registrados para posterior análise da eficácia das ações implementadas na fase de Melhoria. Como medição complementar, a EP elaborou um gráfico BoxPlot para a verificação da variabilidade da vazão dos filtros, conforme ilustrado na Figura 4. Sabendo-se que cada filtro possui diferentes vazões devido às suas dimensões, a EP concluiu que os desvios observados são causados por variações de processo, perda de carga hidráulica relacionada ao posicionamento do filtro e distância do filtro, assim como operação manual com uso de válvulas de baixa precisão para o ajuste de vazão.

Figura 4 – Gráfico BoxPlot para análise da vazão de filtro (m<sup>3</sup>/h)



Fonte: Dados da pesquisa

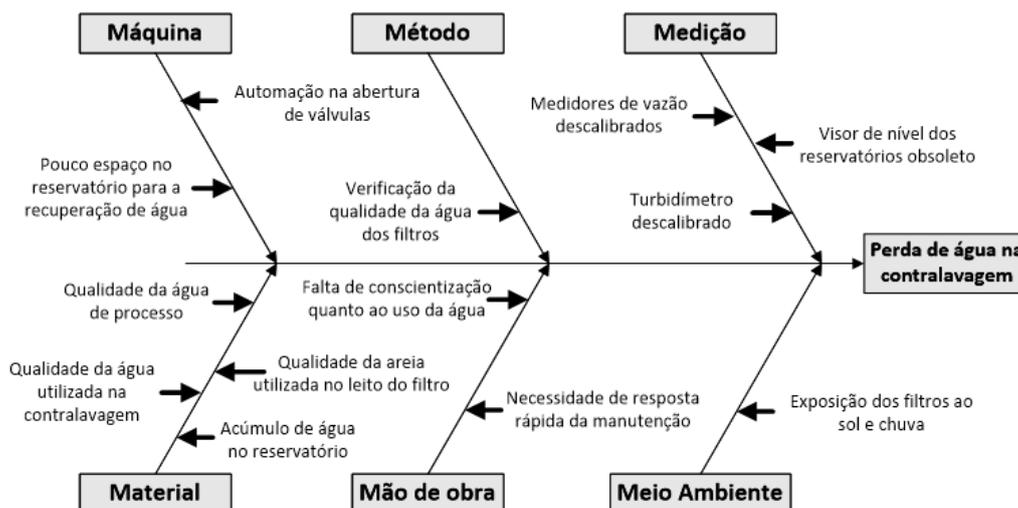
#### 4.4 Fase de Análise

O primeiro procedimento adotado nesta de Análise fase foi a condução de um estudo de correlação entre as variáveis “turbidez” *versus* “vazão”; e “turbidez” *versus* “tempo”. Para isso, foram analisados gráficos de dispersão e calculados os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ). Tal coeficiente é uma medida da força e direção de uma relação linear entre duas variáveis, calculada a partir da expressão 1 (LARSON; FARBER, 2010):

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (1)$$

Desse modo, a correlação linear entre as variáveis “turbidez” *versus* “vazão” ( $r = 0,370$ ) foi classificada como positiva e fraca, enquanto a correlação linear entre as variáveis “turbidez” *versus* “tempo” ( $r = -0,421$ ) foi interpretada como negativa e fraca. Deste modo, não foi observada nenhuma correlação linear estatisticamente significativa entre as variáveis selecionadas. Sendo assim, estudos de regressão linear e teste de hipóteses foram desconsiderados nesta fase do projeto. Para compreender as causas potenciais que poderiam resultar em perda de água no procedimento de contralavagem, a EP conduziu outra seção de *brainstorming* utilizando a técnica dos cinco “porquês” e diagrama de causa e efeito. A Figura 5 ilustra as prováveis causas raízes identificadas nessa análise.

Figura 5 - Diagrama de causa e efeito para perda de água na contralavagem



Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.5 Fase de Melhoria

Após a determinação das causas raízes, a fase Melhoria deve ser conduzida com o propósito de identificar potenciais soluções para reduzir o impacto negativo dessas causas no processo. Neste sentido, a EP identificou oito ações potenciais por meio de uma matriz de priorização considerando o esforço (em termos de custos, prazos e dificuldades na implementação das mudanças) e o impacto das ações quanto a eficácia para reduzir a perda de água na contralavagem. O Quadro 2 mostra a pontuação pertinente às propostas de melhoria (esforço e impacto) e a decisão tomada pela EP.

Quadro 2 – Matriz Esforço-Impacto

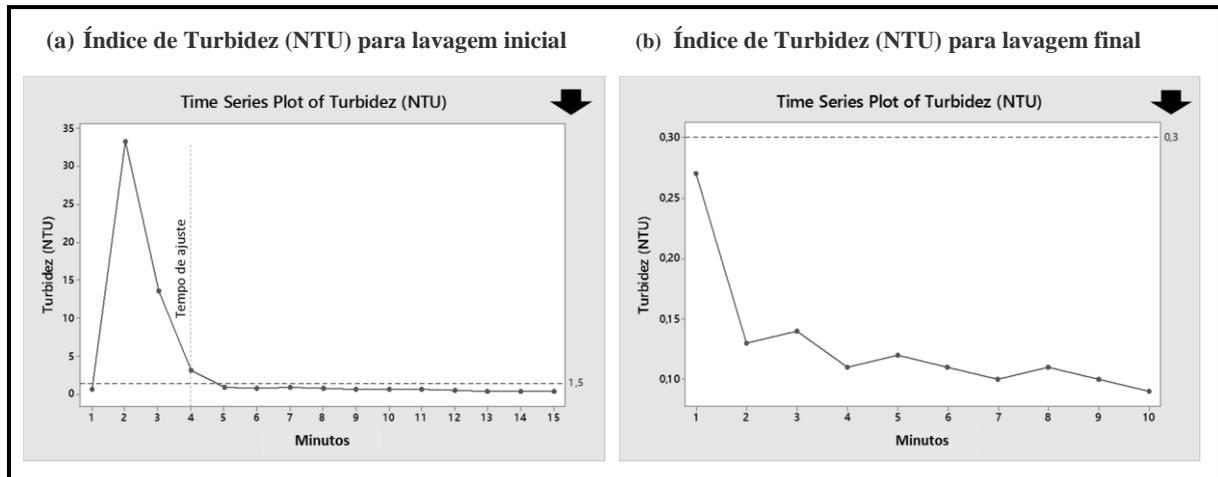
| Nº | Proposta de Ação de Melhoria                          | Esforço | Impacto | Decisão     |
|----|---|---------|---------|-------------|
| 1  | Automação da caixa de água de reuso                   | 2       | 5       | Implementar |
| 2  | Redução do tempo de retrolavagem                      | 1       | 3       | Implementar |
| 3  | Substituição de válvulas antigas                      | 5       | 3       | Complexo    |
| 4  | Construção de outro reservatório para água de reuso   | 5       | 2       | Descartar   |
| 5  | Aumento da frequência de verificações do turbidímetro | 4       | 2       | Descartar   |
| 6  | Instalação de cobertura metálica no local dos filtros | 5       | 1       | Descartar   |
| 7  | Sensibilização da equipe ETA quanto ao uso da água    | 1       | 4       | Implementar |
| 8  | Travamento com senha no modo manual da contralavagem  | 3       | 2       | Complexo    |

Fonte: Dados da pesquisa

Desta forma, as ações selecionadas na fase Melhoria incluíram: (1) automação da caixa de água de reuso e instalação de um sensor de nível hidrostático; (2) priorização do retorno de água de reuso para o processo e revisão do padrão operacional de limpeza da ETA reforçando a observação “*o critério de limpeza deve estar baseado em turbidez e não no tempo de contralavagem*”; e (3) conscientização da equipe de trabalho quanto aos impactos gerados pelas perdas de água do processo decorrente de falhas operacionais.

A Figura 6 apresenta o gráfico de tendência para o índice de turbidez da lavagem inicial após a implementação das ações de melhoria. O procedimento para coleta e análise dos dados seguiu o mesmo procedimento descrito na seção 4.3. Ao observar a Figura 6(b) percebe-se que o NTU para a lavagem final se encontra abaixo do limite especificado (NTU = 0,30) em todas as medições, bem como uma notável redução no tempo necessário para a compactação do leito de areia. Sendo assim, a EP propôs a redução do tempo de lavagem inicial (de 20 para 15 minutos), assim como do tempo de lavagem final (de 15 para 10 minutos). Embora a redução desses tempos não tenha um impacto direto no volume de água, ela reduz o volume enviado para a caixa de reuso, eliminando perdas no processo.

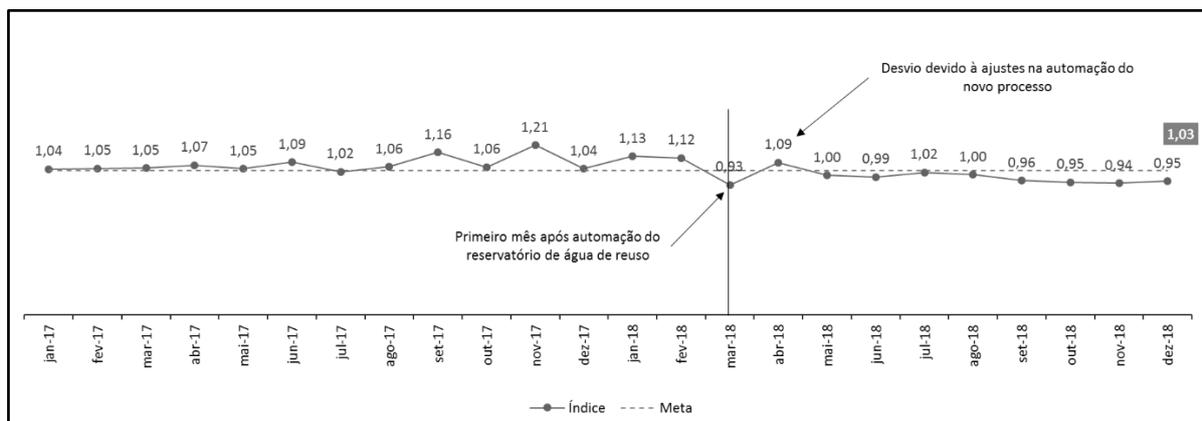
Figura 6 – Gráfico de tendência para indicadores de turbidez (após a fase de melhoria)



Fonte: Dados da pesquisa

A redução de 10 minutos em cada ciclo de contralavagem gerou uma economia de 220 horas/ano de operação na ETA e resultou em uma redução de energia elétrica em 9.570 kW. Além disso, a automação da caixa de água de reuso por meio de sensoriamento de nível hidrostático e monitoramento IHM (interface homem máquina) permitiu uma redução de 8.138,85 m<sup>3</sup> do efluente gerado no processo por ano. O gráfico ilustrado na Figura 7 mostra a evolução do índice de água recuperada no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2018. Observa-se que logo após o início do projeto Green LSS (março de 2018) o indicador ficou dentro da meta estabelecida (1,03m<sup>3</sup>) nos meses subsequentes.

Figura 7 – Índice de água recuperada



Fonte: Dados da pesquisa

#### 4.6 Fase de Controle

A fase Controle tem como objetivo assegurar a sustentabilidade dos ganhos decorrentes da implementação das ações de melhoria. Além disso, os projetos *Green LSS* devem incluir as ações necessárias para a sistematização das mudanças implementadas, de modo que o desempenho do processo melhorado não retroceda após a conclusão do projeto.

As ações implementadas pela EP nesta fase incluíram a revisão do plano de controle operacional para o monitoramento diário do volume de água utilizada na contralavagem e implementação de monitoramento estatístico de processo por meio da carta de controle para medições individuais (*I-Chart*). Desta forma, a sustentabilidade dos ganhos proporcionados pelo projeto foi mantida por meio da padronização e sistematização desses controles.

#### 5. Considerações finais

A integração entre as práticas voltadas à sustentabilidade e a abordagem LSS (*Green LSS*) desponta como uma estratégia de excelência operacional capaz de ampliar o escopo das ações de melhoria de modo a gerar resultados financeiros e, ao mesmo tempo, economia no consumo dos recursos naturais. Este artigo apresentou a implementação de um projeto *Green LSS* estruturado por meio do método DMAIC para o aumento da eficiência de uma ETA em uma fábrica de bebidas. O caso apresentado descreve a sequência das etapas executadas, as ferramentas utilizadas e o resultado obtido com o projeto. Além de alcançar os objetivos do projeto, as ações de melhoria proporcionaram uma redução no consumo de energia elétrica, assim como no volume de efluente do processo.

Embora este estudo não tenha a pretensão de generalizar os resultados observados, espera-se que a abordagem adotada pela Indústria X na aplicação do projeto *Green LSS* possa estimular profissionais da área (“*belts*” ou praticantes *lean*), na condução de futuros projetos de excelência operacional integrados à questão da sustentabilidade.

#### REFERÊNCIAS

ALBLIWI, S.A.; ANTONY, J.; HALIM LIM, S.A. A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry. **Business Process Management Journal**, v. 21, n. 3, p. 665-691, 2015.

ANDERSSON, R.; HILLETOFTH, P.; MANFREDSSON, P.; HILMOLA, O. P. Lean six sigma strategy in telecom manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**. v. 114, n. 6, p. 904-921, 2014.

CHERRAFI, A., ELFEZAZI, S., CHIARINI, A., MOKHLIS, A.; BENHIDA, K. The integration of lean manufacturing, Six Sigma and sustainability: A literature review and future research directions for developing a specific model. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 828-846, 2016.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha, 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DE KONING, H.; DE MAST, J. A rational reconstruction of Six-Sigma's breakthrough cookbook, **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 23, n. 7, p. 766-787, 2006.

DÜES, C.M.; TAN, K.H.; LIM, M. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of cleaner production**, v. 40, p. 93-100, 2013.

EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The Environmental Professional 's Guide to Lean & Six Sigma**. Disponível em: < <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-10/documents/enviro-prof-guide-six-sigma.pdf>> Acesso em: 20 Jul. 2019.

GARZA-REYES, J.A. Lean and green—a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18-29, 2015.

GEORGE, M.L. **Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed**. New York: McGraw-Hill, 2002.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

McCARTY, T.; JORDAN, M.; PROBST, D. **Six Sigma for Sustainability – How Organizations Design and Deploy Winning Environmental Programs**. New York: McGraw-Hill, 2011.

MEHRJERDI, Y.Z. Six-sigma: methodology, tools and its future. **Assembly Automation**, v. 31, n. 1, p. 79-88, 2011.

MONTGOMERY, D.C.; WOODALL, W.H. An overview of six sigma. **International Statistical Review**, v. 76, n. 3, p. 329-346, 2008.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma**. Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

SNEE, R.D. Six sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 1, n.1 p. 4-20, 2004.

SNEE, R. D. Lean six sigma: getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, vol. 1, n.1, p. 9-29, 2010.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROSS, D. **The Machine that Changed the World**. New York: Macmillan, 1990.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **Lean Thinking**. New York: Simon & Schuster, 1996.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**, 4th edition. Applied social research methods series, 5. SAGE Publication, Inc., 2009.