

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DMAIC PARA ELIMINAÇÃO DE *BULK* FILAMENTOSO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Amanda Cristine da Silva (Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE)

amanda_eq@outlook.com

Ana Gabriela Assalin (Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE)

gabi_assalin95@hotmail.com

Ana Paula dos Reis (Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE)

anapa987@yahoo.com.br

Bárbara Lavoura Dízero (Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE)

babyld@hotmail.com

Francisco de Assis Bertini Moraes (Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE)

francisco@fae.br

Resumo:

Tratamento de efluentes líquidos pelo processo de lodo ativado é comumente utilizado em indústrias de papel e celulose. Neste processo podem ocorrer anomalias, como o intumescimento do lodo por bactérias filamentosas, conhecida por *bulk* filamentoso. Embora as bactérias sejam de extrema importância para sistemas de lodo ativado, auxiliando na formação do floco, esse *bulk* atrapalha o funcionamento da ETE, causando baixa eficiência no processo. Dada a gravidade do problema, foi realizado um estudo de caso com o objetivo de apresentar as principais variáveis que influenciam na formação do *bulk* filamentoso e como controlá-las e, ainda, mostrar medidas de eliminação deste, utilizando a técnica de melhoria contínua *kaizen*, operacionalizada com a ferramenta DMAIC. A implantação do sistema foi rigidamente cumprida em todas as etapas, proporcionando estabilidade operacional em todas as etapas do processo. Com mudanças realizadas a longo prazo, confirmou-se a diminuição do arraste de sólidos sedimentáveis, mostrando como o conjunto de ações da ferramenta DMAIC auxiliou na resolução do atual problema. Dentre as mudanças realizadas destacam-se aplicação de hipoclorito de sódio, redução da temperatura, vazão de entrada e teor de sulfeto, que contribuíram para a eliminação das bactérias filamentosas e, consequente, redução nos sólidos suspensos.

Palavras chave: Lodo Ativado, Bactérias Filamentosas, Intumescimento, *Kaizen*.

APPLICATION OF THE DMAIC TOOL FOR THE ELIMINATION OF FILAMENTAL BULK IN A STATION OF TREATMENT OF EFFLUENTS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Abstract

Treatment of liquid effluents by the process of direct use used in the paper and cellulose industries. In this process anomalies can occur, such as the swelling of the sludge by filamentous bacteria, known as filamentous in bulk. Although they are of extreme nature for activation systems, assisting in the formation of the flake, this is a method for the production of electrical materials. Given the severity of the problem, a case study was carried out with the aim of presenting as main variables that influence the formation of bulk files and how to control them, also show measures of elimination of this, use a technique of continuous improvement, operationalized with the DMAIC. The implementation of the system was rigidly adhered to at all stages, providing operational stability at all stages of the process. With changes made in the long term, the reduction of sedimentable sediment drag is confirmed, showing how the DMAIC tool set helped to solve the current problem. Among the changes, the application of sodium hypochlorite, reduction of temperature, inlet flow and sulfide content, contributed to the elimination of filamentous bacteria and, consequently, reduction in suspended solids.

Key-words: Activated Sludge, Filamentous Bacteria, Swelling, *Kaizen*.

1. Introdução

O processo de produção de celulose consiste em dissolver e extrair a lignina e resinas das fibras de celulose contidas na madeira. Aproximadamente, 98% desta lignina e resinas são extraídas no processo de polpação, concentradas em processo de evaporação e enviadas para queima na caldeira de recuperação, a qual fornecerá a energia térmica e elétrica para o funcionamento da fábrica.

Os remanescentes seguirão junto com as fibras para o processo de branqueamento, onde reagem com produtos químicos clorados, mais reativos com a lignina e resinas e em seguida são extraídas das fibras através do processo de lavagem com grandes quantidades de água. Este resíduo lavado é encaminhado ao tratamento de efluentes para redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e descarga ao manancial hídrico. As fibras seguem para a produção de papel ou para secagem de celulose (MORAES, 2011).

Desta forma, as principais cargas de DBO dissolvidas no efluente de uma fábrica de celulose e papel são provenientes dos resíduos gerados pela água evaporada e pelo processo de lavagem no branqueamento (MORAES, 2011).

O tratamento destas águas residuais ocorre normalmente pelo processo biológico aeróbio (necessita oxigênio), que consiste na reprodução do mecanismo de biodegradação natural que ocorre nos rios, conhecido por autodepuração. É definido como um processo fermentativo, aeróbio, contínuo, com reciclo de biomassa, que é um inóculo aclimatado e constante, também chamado de lodo ativado (VAZOLLÉR et al., 1991).

As alterações no processo de produção de celulose e papel devido, principalmente, às reduções de produção e paradas de emergência ou programadas, causam grandes variações na carga de poluentes e nas características do efluente na entrada da estação de tratamento de efluentes.

Essas variações influenciam no bom desenvolvimento e constância da população de micro-organismos, resultando muitas vezes no crescimento descontrolado de bactérias filamentosas, que em excesso prejudicam a formação dos flocos, formando o *bulk* filamentoso. Este é caracterizado pela flotação do lodo no decantador secundário, gerando arraste de sólidos sedimentáveis no efluente clarificado para a lagoa final de polimento. Geralmente, quando o arraste de sólidos fica acima de 1,0 ml/l, o descontrole do processo é comprovado, já que este é o limite máximo permitido pela legislação (CONAMA 430/2011).

Neste contexto, o presente trabalho trará na revisão da literatura as principais variáveis de influência na formação do *bulk* filamentoso, meios de controle e algumas medidas para eliminar as bactérias filamentosas.

Com o objetivo de discutir tais variáveis, foi utilizada a metodologia *kaizen* operacionalizada com a ferramenta DMAIC (*Define – Measure – Analyse – Improve – Control*), muito aplicada em processos de melhorias nas indústrias e também, na condução de resolução de problemas, que acabam por mostrar oportunidades de ganhos através da redução de desperdícios.

Sabe-se que o método *kaizen* significa melhoria contínua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, e tem por finalidade agregar mais valor com menos desperdício. Atualmente, é bastante comum indústrias realizarem eventos *kaizen* para buscar melhorias para o seu processo produtivo. O principal objetivo do *kaizen* é o combate ao desperdício de matéria-prima e tempo, bem como a eliminação de processos desnecessários.

Conforme a Figura 1, abaixo, o *kaizen* pode ser gerido em dois níveis: *kaizen* de fluxo ou de sistema, que enfoca no fluxo de valor, dirigido ao gerenciamento, e *kaizen* de processo, que enfoca em processos individuais, dirigidos às equipes de trabalho e à líderes de equipe (ARAUJO & RENTES, 2006).

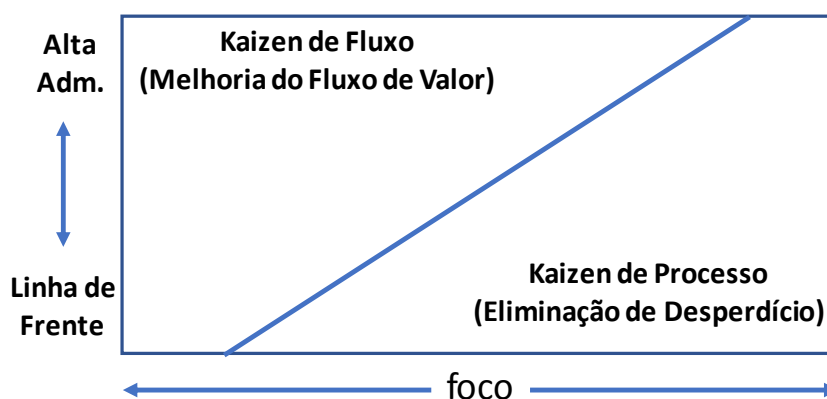


Figura 1 - Dois níveis de *kaizen*
Fonte: ARAUJO & RENTES (2006)

Para avaliação da eficácia do método abordado no presente trabalho, foi feito um estudo de caso com uma equipe composta por 10 funcionários, sobre o controle do *bulk* filamentoso a fim de facilitar a percepção e análise dos resultados obtidos.

Deste modo, é válido dizer que a pesquisa trata-se de um *kaizen* de processo, onde esforços de melhoria contínua são executados por um time de funcionários de todas as áreas envolvidas.

A dedicação consiste em uma rápida implantação de metodologias e ferramentas da manufatura enxuta, na área de tratamento de efluentes por lodo ativado de uma fábrica de celulose e papel, para redução de consumo de polímeros para controle da floculação do lodo e redução do arraste de sólidos no efluente tratado para menor que 1,0 ml/l.

2. Objetivo

Aplicação da metodologia *kaizen* operacionalizada com a ferramenta DMAIC, na indústria de papel e celulose para controlar o arraste de sólidos sedimentáveis.

3. Metodologia

A metodologia *kaizen* é utilizada mundialmente por muitas indústrias, para buscar melhores resultados e elevar a competitividade. Para a utilização de um método *kaizen* são necessários objetivos claros, trabalho em equipe, criatividade e utilização dos recursos disponíveis, tendo em vista que as atividades ocorrem com período determinado e com alta expectativa de resultados; e, por isso, a metodologia *kaizen* é considerada por muitos como uma filosofia, ou seja, uma técnica de implementação que detém de melhorias rápidas, improvisadas e contínuas (SHARMA; MOODY, 2003).

A metodologia *kaizen* está baseada no uso de soluções baratas, que se apoiem na motivação e criatividade dos colaboradores para melhorar a prática nos seus processos de trabalho, com foco na busca pela melhoria contínua. É importante ressaltar que toda sugestão é válida e que todo integrante da equipe tem liberdade para sugerir o que desejar, pois com isto, haverá o envolvimento de todas as pessoas da organização no sentido de buscar, de forma constante e sistemática, o aperfeiçoamento dos produtos e processos empresariais (SHARMA; MOODY, 2003).

Os grupos de *kaizen* devem ser formados por pessoas de todas as áreas afetadas e correlatadas, com o intuito de aprender a utilizar as técnicas nas soluções dos problemas. Como em todas as áreas da empresa existe um coordenador, um líder, aqui também deve ser eleito um líder que terá o papel de informar a todos do grupo o que esta acontecendo e canalizar todas as informações transformando-as em ação.

O *kaizen* ficou conhecido no mundo todo por ser um sistema de gestão que gera ótimos resultados, reduzindo consideravelmente os custos, sem qualquer investimento ou introdução de nova tecnologia e, conseqüentemente, aumentando a lucratividade (IMAI, 1996).

Para aplicação da técnica, em primeiro lugar, deve-se fazer um estudo do que se pretende melhorar, definindo, se é de fácil solução. Neste caso, deverá ser resolvido de forma simples e participativa em reuniões de análise de resultados, ou seja, através da formação de um grupo de *kaizen*, que por meio da utilização de ferramentas conduzirá a solução do problema (FERREIRA, 2009).

Uma importante ferramenta que pode ser aplicada juntamente com a filosofia *kaizen* na sua operacionalização é o DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*).

O DMAIC é um modelo formado por cinco fases que guiam as atividades necessárias e empregadas para a melhoria dos processos e que tem para o objetivo estruturado, a definição dos problemas e situações que serão melhoradas, a medição para obtenção das informações e dados, a análise da informação coletada, a obtenção de melhorias nos processos e o controle

dos mesmos. Cada letra desta sigla tem um significado bem definido, os quais são respectivamente, *Define* (Definir - D), *Measure* (Medir - M), *Analyze* (Analisar - A), *Improve* (Melhorar - I) e *Control* (Controlar - C), conforme representado na Figura 2 (SANTOS; MARTINS, 2003).

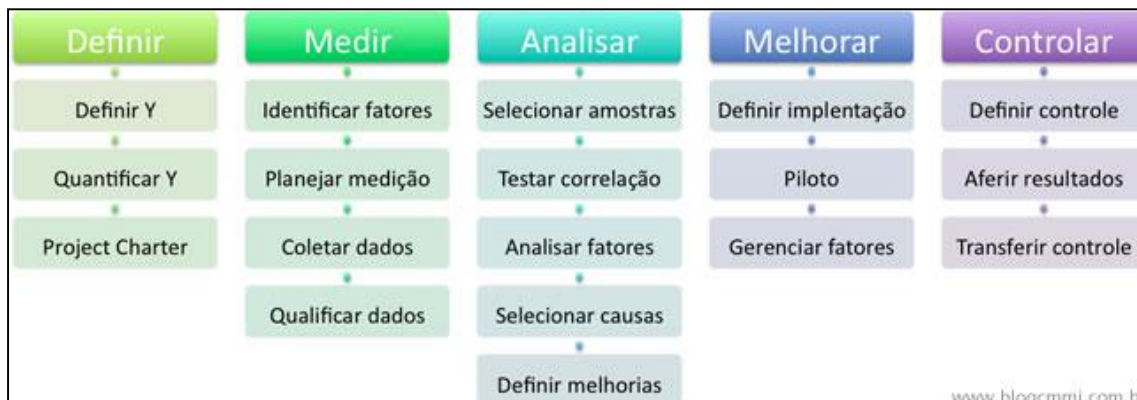


Figura 2 - Etapas a serem cumpridas no projeto *kaizen* e ferramentas de apoio

Fonte: FERREIRA, 2009

3.1 Definir

Seguindo a estrutura DMAIC, na fase “Definir”, é formada uma equipe de diversas funções e setores e são realizadas reuniões de *brainstorming* e enumeradas todas as ideias e sugestões para a solução do problema, incluindo a realização de treinamento com pessoal especializado externo à instituição.

3.2 Medir

Nesta etapa, é necessário conhecer o processo e seu desempenho. O processo deve ser documentado, as técnicas de medição devem ser validadas e o desempenho da linha de base deve ser avaliado. Algumas ferramentas podem ser utilizadas nesta fase, são elas: gráficos de tendência, gráfico de Pareto, fluxogramas do processo, espinha de peixe, entre outras.

3.3 Analisar

Após a fase “Medir”, deve-se “Analisar” os dados medidos. Esta etapa conduz a técnicas que permitem criticar o processo atual e sugerir mudanças que resultarão em melhorias.

Esta fase busca através da definição de variáveis de entrada chave – causas, identificar quais destas estão impactando mais diretamente no problema – efeito. Apenas conhecendo as principais causas de um problema que é possível atuar de modo agressivo, consistente e eficiente sobre ele (SILVA, 2017).

A matriz esforço/impacto é um diagrama gerado a partir do *brainstorming*, onde as ideias são pontuadas de acordo com o impacto que ela causará no projeto ou a solução de problemas e o esforço necessário para realizá-la. Devem-se atacar inicialmente as ideias que causam o maior impacto com o menor esforço (RISSI, 2007).

Desta forma um plano de ações é formalizado para sua aplicação e gestão conforme priorização oriundas da matriz de esforço e impacto.

A grande vantagem dessa técnica é a possibilidade de identificar os ganhos rápidos maximizando a produtividade, e assim poder priorizar as ações que trazem maiores resultados com menor esforço (PARIS, 2002).

3.4 Melhorar

Na fase “Melhorar”, é necessário testar as ações sugeridas em pequena escala, e, caso os resultados obtidos sejam positivos, é necessário implementar a mudança no processo, almejando a melhoria contínua.

A fase de melhoria foca em entender completamente as causas identificadas na etapa de análise, com o intuito de controlar ou eliminar tais causas para atingir um desempenho inovador.

3.5 Controlar

Na fase “Controlar” ocorre o monitoramento das ações, para garantir que os resultados esperados estejam sendo alcançados.

Os melhores controles são aqueles que não necessitam de monitoramento, porém, muitas vezes há ajustes de processo e procedimentos de configuração, que necessitam de funcionários para acompanhar os requisitos específicos em operações diárias, esses itens são normalmente documentados em um plano de controle.

4. Resultados e discussões

Na fase “Definir”, foram realizadas reuniões de *brainstorming* e enumeradas todas as ideias e sugestões para a solução do problema.

Na fase “Medir” e “Analisar” foram organizadas as variáveis que surgiram das ideias em uma matriz de causa e efeito de acordo com a Tabela 1, e a engenharia de processos realizou o levantamento gráfico destas variáveis para verificação de possível correlação com os eventos de arraste de sólidos no clarificador secundário.

MATRIZ CAUSA E EFEITO							
10-9-8: Forte Correlação		7-6-5-4: Média Correlação		3-2-1: Baixa Correlação		0: Não há correlação	
PROJETO		Desenvolvimento de filamentosas	Parâmetros CONAMA 357	Parâmetros da licença de operação	TOTAL	Esforço de Eliminação da Variável de Entrada	E/I
X ₁	Aplicação de Polímero	10	10	10	30	BAIXO	1
X ₂	Alto teor de sulfeto	10	10	10	30	MÉDIO	4
X ₃	Transbordos sem controle	9	8	9	26	MÉDIO	4
X ₄	Aplicação de Cloro	10	8	7	25	BAIXO	2
X ₅	Alta toxicidade do efluente	9	9	9	27	BAIXO	1
X ₆	Alta temperatura no efluente	7	8	8	23	MÉDIO	5
X ₇	Falhas no tratamento primário	5	7	7	19	ALTO	9
X ₈	Falta de nutrientes	6	7	7	20	MÉDIO	6
X ₉	Baixo teor de oxigênio do reator	9	10	9	28	MÉDIO	4
X ₁₀	Descontrole do IVL	8	9	9	26	BAIXO	1
X ₁₁	Alta vazão de efluente	7	6	7	20	MÉDIO	5

Fonte: Autores

Tabela 1 - Matriz causa e efeito

Foram enumeradas as principais causas e construída uma matriz esforço/impacto conforme Figura 3.

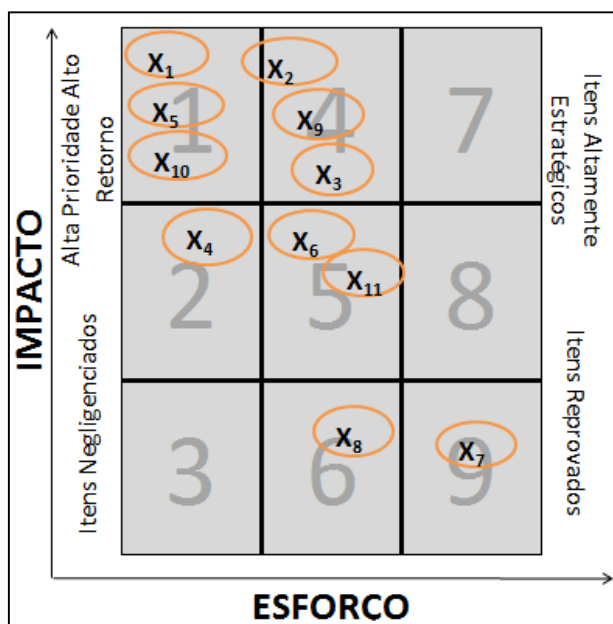


Figura 3 - Matriz esforço/impacto
Fonte: Autores

Dentro da etapa “Melhorar” e a partir da matriz causa e efeito elaborou-se o plano de ações, no qual priorizou-se as ações por meio da utilização da matriz esforço/impacto, partindo das que causam maior impacto no controle do *bulk* filamentoso exigindo um baixo esforço nas atividades. A sequência das ações, bem como seus prazos e responsáveis são apresentados na Tabela 2 a seguir:

PLANO DE AÇÃO			
ATIVIDADE		DATA	RESPONSÁVEL
1 (X ₁)	Aplicação Polímero Poliacrilamida	ago/2008	Operadores ETE
2 (X ₅)	Reduzir Toxicidade do Efluente	dez/2008	Eng ^a Processos Celulose
3 (X ₁₀)	Reduzir o IVL	abr/2009	Operadores ETE
4 (X ₂)	Reduzir Teor de Sulfeto	jul/2009	Eng ^a Processos Celulose
5 (X ₉)	Readequar Oxigênio no Reator	nov/2009	Eng ^a Processos Utilidades
6 (X ₃)	Controlar Transbordos	abr/2010	Eng ^a Processos Papel
7 (X ₄)	Aplicar Hipoclorito de Sódio	jul/2011	Operadores ETE
8 (X ₆)	Reduzir a Temperatura	set/2012	Eng ^a Processos Utilidades
9 (X ₁₁)	Reduzir a Vazão de Entrada	set/2013	Eng ^a Processos Utilidades

Fonte: Autores

Tabela 2 - Plano de ação

No contexto de melhoria, as ações foram conduzidas pelos seus responsáveis, de acordo com os prazos estipulados no plano de ação e paralelamente, analisou-se criteriosamente a execução das atividades e os respectivos resultados obtidos.

Por fim, na fase “Controlar”, com base na análise dos resultados obtidos foram adotadas novas estratégias operacionais e estabelecido controles, garantindo a sustentabilidade dos resultados.

A Figura 4, a seguir, mostra o arrastamento de sólidos sedimentáveis nos clarificadores e na lagoa de polimento, e as setas enumeradas apresentam as ações adotadas em cada período, conforme priorização na matriz esforço/impacto e executadas conforme plano de ação descrito na Tabela 2.

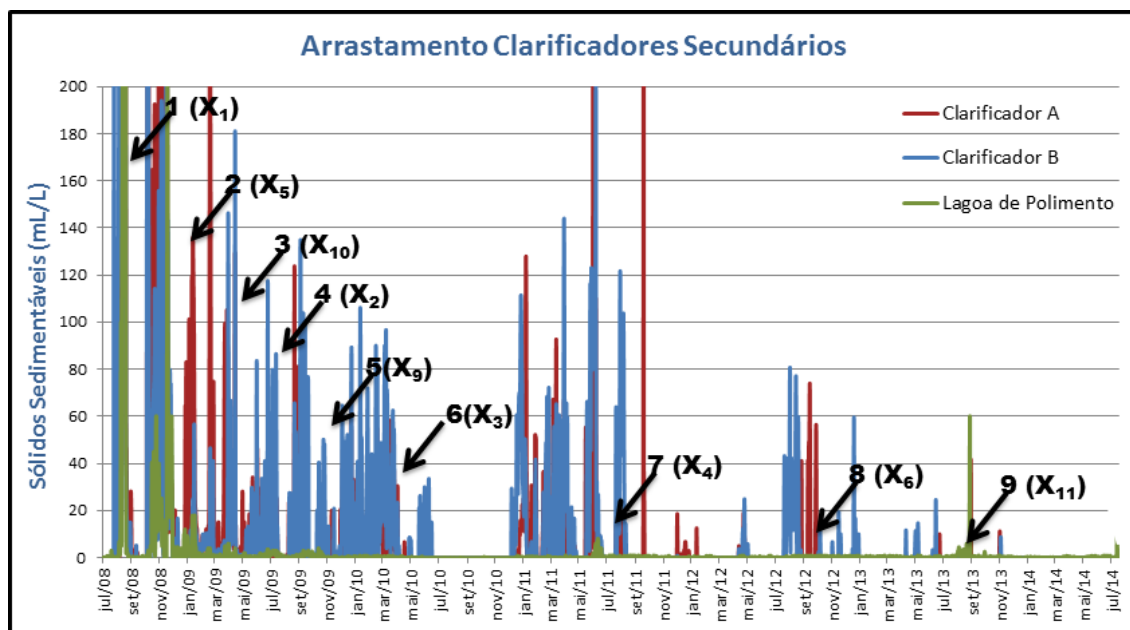


Figura 4 - Gráfico de resultados de sólidos suspensos

Fonte: Autores

Os resultados da implementação das ações da Tabela 2 são discutidos a seguir:

1- (X₁) Aplicar Polímero Poliacrilamida: O polímero é um auxiliar de decantação muito eficiente, porém, de dispêndio extenso, devido ao seu elevado preço. A partir destes gastos foi priorizada a metodologia *kaizen* operacionalizada com a ferramenta DMAIC, com o objetivo de resolver o problema evitando-se os custos excedentes.

2- (X₅) Reduzir Toxicidade do Efluente: A redução se deu através do reaproveitamento do filtrado do estágio de lavagem no branqueamento, conhecido como *open washer*, que lançava ao efluente um volume em torno de 200 m³/h de filtrado com resíduos de lignina. Este reaproveitamento no processo reduziu a carga de DBO e DQO (Demanda Química de Oxigênio) à ETE.

3- (X₁₀) Reduzir o IVL: A redução foi feita através da aplicação de uma solução aquosa contendo de 50 a 66% de sulfato férrico e de 0 a 0,5% de ácido sulfúrico, com uma dosagem de 45 kg/ton de DQO em um teste por 40 dias, equivalente a aproximadamente duas idades do lodo. Não surtiu efeito no processo, pois após os 40 dias não houve eliminação das bactérias filamentosas, mostrando que a falta de ferro não era a causa do problema.

4- (X₂) Reduzir Teor de Sulfeto: A fábrica possui um *stripper* com capacidade para processar com boa eficiência cerca de 60% do condensado contaminado com sulfeto gerado na evaporação. Em síntese, todo condensado com maior grau de contaminação foi desviado diretamente para o *stripper* e as correntes menos contaminadas continuaram sendo

direcionadas ao tanque geral que transborda o excedente para o efluente. Com esta medida conseguiu-se reduzir em aproximadamente 50% os valores médios de sulfeto no efluente, contribuindo para a redução de formação de filamentosas e consequente redução nos sólidos suspensos.

5- (X₉) Readequar Oxigênio no Reator: Neste tanque existe uma zona seletora separada do reator por uma parede com passagem do efluente para o tanque pela sua parte inferior. A oxigenação do reator se dá pelo processo de ar difuso, alimentado por três sopradores de ar. As válvulas de abastecimento de ar foram reguladas, reduzindo o ar no final do reator e priorizando a alimentação no seletor biológico, melhorando o residual de oxigênio no seletor biológico.

6- (X₃) Controlar Transbordos: Substâncias facilmente metabolizadas podem favorecer o desenvolvimento de bactérias filamentosas, uma destas substâncias é o amido, utilizado em larga escala no processo de produção de papel. Pela dificuldade de se quantificar a presença de amido no efluente, foi feita uma inspeção nos registros históricos dos níveis nos tanques, detectando os transbordos e quando ocorreram. Foram estabelecidos novos set points de controle em valores mais baixos e fechamento de válvulas de alimentação nos tanques, quando os mesmos fossem atingir nível de transbordo. Juntamente com o pessoal da produção, foram adotadas novas faixas de controle de nível, amenizando os transbordos.

7- (X₄) Aplicar Hipoclorito de Sódio: Foi aplicado a uma dosagem de 6 g de Cl₂ ativo /m³ no efluente da saída da torre de resfriamento, ou seja, início da lagoa de equalização, com o objetivo de eliminar as bactérias aeróbicas presentes nesta lagoa, pois estas bactérias produzem ácidos orgânicos voláteis, os quais contribuem para o desenvolvimento de bactérias filamentosas. Notou-se que no final desta lagoa, ou seja, entrada do reator, o residual de cloro era zero, parâmetro fundamental para que não houvesse perda da microbiologia presente no reator. Notadamente esta ação eliminou o excesso de bactérias filamentosas, normalizando a sedimentação do lodo no clarificador secundário, eliminando a dosagem contínua de polímero sedimentador e estabilizando o teor de sólidos suspensos na saída dos clarificadores em valores menores que 1,0 ml/l.

8- (X₆) Reduzir a Temperatura: Foi implantado um sistema de trocadores de calor, para reduzir a temperatura de alguns efluentes e reter a energia dentro do processo (produção mais limpa). No caso, o fluído frio responsável pela troca térmica foi a água desmineralizada, que retorna com temperatura mais elevada para o tanque de estocagem, economizando, assim, combustível nas caldeiras.

9- (X₁₁) Reduzir a Vazão de Entrada: Pequenas reduções nos consumos de água em várias áreas contribuíram para manter maior tempo de retenção nos tanques de aeração de lodo ativado, além da menor variabilidade na vazão contribuir com a maior estabilidade microbiológica no sistema de lodo ativado.

Portanto, pode-se observar que o plano de ação foi rigidamente cumprido e em cada ação completada o grupo se reunia e discutia os próximos passos de forma a aumentar a assertividade das ações.

5. Conclusão

A utilização da técnica de melhoria contínua *kaizen* na resolução de problemas em estação de tratamento de efluentes é uma ferramenta viável e alternativa aos métodos teóricos

tradicionais de gestão de problemas, os quais focam somente na área envolvida e não nas causas originárias do problema, que são as áreas emissoras de efluentes.

Com o emprego da ferramenta DMAIC para operacionalização da metodologia *kaizen*, foram identificadas condições recomendadas para controle de *bulk* filamentosos, levando a obtenção da estabilidade operacional da planta de lodo ativado, considerando controle rigoroso das cargas de DBO e DQO na área de branqueamento e evaporação, teor de sulfeto controlado, maior teor de oxigênio na zona inicial de aeração (seletor biológico), implantação de controle no *PI* (*Plant information*) de transbordos de produtos críticos ao efluente e aplicação de cloro como meio de eliminação de bactérias filamentosas no início do processo de formação em excesso.

As técnicas aqui empreendidas possibilitam a replicação de estudos similares em outras unidades fabris com estações de lodo ativado. Ratifica-se que os dados aqui reportados não foram encontrados na literatura.

6. Referências

ALMEIDA, M. R. de; BELO, J. N. de A.; SILVA, B. C. **Evento Kaizen: Estudo de Caso em uma Metalúrgica Brasileira**. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte, MG, 2011.

ALVES, H. B. **Controle no Desenvolvimento de Lodo Filamentoso em Estação de Tratamento de Esgoto de Lodos Ativados com Aeração Prolongada através da Adição de Cloro**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia, 2008.

ARAUJO, C. A. C.; RENTES, A. F.; **A Metodologia Kaizen na Condução de Processos de Mudança em Sistemas de Produção Enxuta**. Revista Gestão Industrial, v.02, no.02, p.133-142, 2006.

BARBOSA, L. A. **Metodologia DMAIC Aplicada à Solução de Problemas em uma Planta Petroquímica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, s. l., 2015.

CAO, Y.S., et al. **Performance Analysis of Anoxic Selector in Upgrading Activated Sludge Process in Tropical Climate**. Water Science and Technology, v. 52, p. 27-37, 2005.

CLAAS, I. C. **Lodos ativados: Princípios Teóricos Fundamentais, Operação e Controle**. Porto Alegre: Evangraf, 136p. 2007.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe Sobre as Condições de Lançamento de Efluentes**. Complementa e Altera a Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CONCEIÇÃO, S. V.; PINTO, L. R.; AGUILAR, R. S. de. **Adequação de um Sistema de Picking no Armazém de Produtos Acabados de uma Empresa de Produtos Elétricos**. Departamento de Engenharia de Produção da UFMG, Belo Horizonte, MG, s. d.

DIEZ, M. C. et al. **Operational Factors and Nutrient Effects on Activated Sludge Treatment of Pinus Radiata Kraft Mill Wastewater**. BioresourceTechnology, v. 83, p. 131-138, 2002.

FERREIRA, R. R. **O Kaizen como Sistema de Melhoria Contínua dos Processos: Um Estudo de Caso na Mercedes Benz do Brasil**. 75 p. Dissertação de Mestrado. UFV, Viçosa-MG, 2009.

FIGUEIREDO, M. G. **Microbiologia de Lodos Ativados** – Apostila do curso e treinamento prático especializado. CETESB, 2011. 206p.

HORNBURG, S. **Introdução da Filosofia de Melhoria Contínua nas Fábricas através de Eventos Kaizen.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de produção. Foz de Iguaçu-PR, 2007. Disponível em: www.abepro.orf.br/biblioteca/energep2007.

IMAI, M. **Gemba-Kaizen: Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica.** São Paulo: IMAM, 1996.

JABBOUR, C. J. C.; SANTOS, F. C. A. **Evolution of Environmental Management in the Company: A Taxonomy Integrated to the Management of Production and Human Resources.** Management & Production Magazine, v13, n.3, p.435-448, Sep-Dec.2006.

JENKINS, D., RICHARD, M.G., DAIGGER, G.T. **Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming.** 3. ed. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, 193 p. 2003.

MORAES, F. de A. B., **Modelo para Estimativa do Consumo de Madeira e Insumos Energéticos para Indústria de Celulose e Papel.** Programa de mestrado profissional em engenharia de produção, Centro universitário de Araraquara, S.P., 2011.

NICOLAU, A. et al., **Importância da Identificação das Espécies Responsáveis pelo Crescimento Filamentoso nas ETARS.** In: ENCONTRO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO; SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002. [cd-rom]. [s.l.: s.n., 2012].

NOLI, C. E.; MORAES, F. de A. B; **Aplicação da Metodologia Kaizen no Controle de Bulk Filamentoso do Processo de Lodo Ativado na Indústria de Papel e Celulose.** V Congresso de Sistema LEAN, Florianópolis, S.C., 2015.

PARIS, Wanderson S. **Material de Apoio dos Seminários - Ferramentas da Qualidade.** Curitiba, 2002. Disponível em: <http://torresnetworking.com/Ibpex/Ferramentas_da_Qualidade.pdf>. Acesso 05/11/2017.

REIS, R. A. dos. **Aplicação dos Conceitos da Produção Enxuta por meio da Ferramenta Kaizen:** Estudo de caso. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2010.

RISSI, L. A. **Aplicação da Metodologia 6 Sigma para Resolução do Problema que Falta de Acurácia no Estoque de uma Empresa.** Universidade de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção. São Carlos, SP. Dezembro de 2007.

SANTOS, B. ADRIANA; MARTINS F. MANOEL, **A Implementação dos Projetos Seis Sigma Contribuindo para o Direcionamento Estratégico e para o Aprimoramento do Sistema de Medição de Desempenho.** Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n.1, p. 1-14, dez.2003

SHARMA, A. & MOODY, P. E. **A Máquina Perfeita.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

SILVA, V. **Matriz de Causa e Efeito: Passos para sua Aplicação.** Gestão da Produção, Melhoria Contínua. Pindamonhangada, S.P, 2017.

SOTEMANN, S.W. et al. **Integrated Biological, Chemical and Physical Processes Kinetic Modeling part-1-Anoxic-aerobic C and N Removal in Activated Sludge System.** Water SA. v. 31, p. 529-544, 2005.

VAZOLLÈR, R. F.; GARCIA, A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. **Microbiologia de Lodos Ativados - Série Manuais.** CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo: CETESB, p.23.1991.

YANO, A. A. **Estudo Sobre o Controle do Intumescimento Filamentoso, utilizando Cloro em Lodos Ativados de Indústria Alimentícia.** Dissertação de Mestrado. UFMT, Cuiabá, 2012.