

ECOEFIÊNCIA NOS PROCESSOS HIDRÁULICOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS E METODOLOGIA SEIS SIGMA

Gabriele Lopes Silva

gabrielesilva@alunos.utfpr.edu.br

Reginaldo Fidelis

reginaldofidelis10@gmail.com

Isabela Bruna de Tavares Machado Bolonhesi

ibtmachado@gmail.com

Marco Ferreira

adm.marcoferreira@gmail.com



O estudo de práticas para melhorias no sistema de tratamento de água destinada ao consumo humano, realizado pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs), configura-se como um aspecto importante para melhoria ou precaução de problemas relacionados à ETA. Os processos hidráulicos de uma estação de tratamento de água, estão relacionados com o tempo de operação do sistema, tempo este que pode ser otimizado, visando uma melhora na eficiência do processo e diminuição de custos energéticos. A metodologia aplicada é bibliográfica e experimental, o emprego das técnicas estatísticas do CEP e da metodologia Seis Sigma no aumento da eficiência operacional das Redes de abastecimento das Estações de tratamento de água (ETAs), foi avaliado por meio de uma simulação com base em dados retirados da Norma Brasileira referente a Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público (NBR 12216 (1992)). Portanto o resultado desse estudo demonstra a aplicação técnicas estatísticas do CEP – Controle Estatístico do Processo- e Seis Sigma, avaliando eficiência do processo hidráulico presente no Sistema de Tratamento de água, baseado em Legislações vigentes. Os principais resultados obtidos para os 3 processos avaliados os valores médios obtidos estiveram dentro dos valores médios recomendados pela NBR 12216 (1992), comprovando que os índices obtidos indicam que o processo esteve centrado, gerando valores de C_p e C_{pk} menores que 1,00 para o Tempo de Mistura Rápida - T_{mr} de coagulação, tendo assim menos de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma na análise do T_{mr} , obteve-se um valor de $C_p = 2$, estando assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância.

Valores de C_p e C_{pk} maiores que 1,3 para o Tempo de Mistura Lenta - T_{ml} de floculação, gerando assim um mínimo de 99,994% dos itens dentro da tolerância. Ao aplicar a filosofia Seis Sigma para análise do índice de capacidade desse processo, assim como para o processo de coagulação, também se obteve um valor de $C_p=2$, tendo assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância. E para valores de C_p e C_{pk} para a taxa de filtração foram encontrados valores iguais a 1, obtendo assim um mínimo de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma, também obteve um valor de $C_p= 2$ e $C_{pk}>1,33$ com mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância. Nestas condições, obteve-se indicadores de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) e o nível Sigma para cada processo, trabalhando com nível 3 e 6 Sigma, no intuito de reduzir ainda mais as não conformidades referentes ao T_{mr} , T_{ml} e taxa de filtração. Os resultado

Palavras-chave: Seis Sigma, Ecoeficiência, capacidade do processo, Estação de Tratamento de Água

1. Introdução

A água é essencial para a existência e o bem-estar humano, devendo estar disponível em quantidade e qualidade suficientes para a população (BRAGA, 2014). Segundo a Portaria 2914 (2011) Art. 3º do Ministério da Saúde, lei que define os padrões de potabilidade no Brasil, Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.

Neste contexto, o estudo de práticas para melhorias no sistema de tratamento de água destinada ao consumo humano, realizado pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs), configura-se como um aspecto importante para melhoria ou precaução de problemas relacionados à ETA.

A Estação de tratamento de água apresenta uma cadeia produtiva, podendo ser definida como todas as atividades que envolvem a transformação da água disponível no ambiente em água potável, desde o manancial, passando pelo tratamento e rede de distribuição até o reservatório domiciliar (SINGH & DEVI, 2006). A ETA possui processos como: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção química e fluoretação (MACEDO, 2007) que podem ser melhorados, fazendo com que o controle de qualidade em cada etapa da estação de tratamento de água (ETA) atenda aos critérios de qualidade e legislações pertinentes. (ACHON, 2008).

A verificação da metodologia Seis Sigma como uma ferramenta que promove a elevação da qualidade, pela redução das não conformidades nos processos produtivos, e a constatação de que o setor de tratamento de água necessita de um elevado rigor nos processos que o compõem corroboram a importância da integração entre o saneamento ambiental e a gestão de processos através da metodologia seis sigma (POHLMANN, et al., 2015).

Alguns autores definem o programa Seis Sigma como uma estratégia gerencial muito disciplinada e quantitativa tendo como objetivo o aumento da lucratividade das organizações, através da melhoria da qualidade, do aumento da satisfação dos clientes e dos consumidores (BASU, 2004; BLAKESLEE, 2001; SNEE; HOERL, 2002; INGLE; PANDE et al., 2001; SNEE, 2004).

De acordo com a pesquisa realizada, existe uma grande lacuna teórica acerca da aplicação da metodologia Seis Sigma em Estações de Tratamento de Água, logo, isso serviu como incentivo para a verificação das possibilidades de utilização dessa estratégia de qualidade na gestão dos processos envolvidos no tratamento de água para abastecimento humano

(POHLMANN, et al., 2015) afim de diminuir o desperdício e a deterioração da qualidade da água existente.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) utiliza técnicas estatísticas para analisar o comportamento do processo de fabricação e efetuar ações corretivas de melhoria, que permitam mantê-lo dentro de condições preestabelecidas (MARINS et al., 2006). Segundo Reis (2001), o CEP tem como objetivo auxiliar na obtenção dos padrões especificados de qualidade e reduzir a variabilidade em torno dos padrões.

Segundo Corrêa (2009), o uso de ferramentas estatísticas no controle da qualidade produz resultados consistentes no que diz respeito ao controle da variabilidade das variáveis, buscando manter seus níveis dentro dos limites aceitáveis ou pré-estabelecidos e, ainda identificando causas da variabilidade a serem eliminadas.

Nesta perspectiva, o trabalho teve como objetivo construir um modelo para a aplicação das técnicas estatísticas do CEP – Controle Estatístico do Processo- e Seis Sigma, avaliando eficiência do processo hidráulico presente no Sistema de Tratamento de água, baseado em Legislações vigentes.

2. Metodologia

A metodologia aplicada é bibliográfica e experimental, o emprego das técnicas estatísticas do CEP e da metodologia Seis Sigma no aumento da eficiência operacional das Redes de abastecimento das Estações de tratamento de água (ETAs), foi avaliado por meio de uma simulação de dados retirados da Legislação Brasileira. O estudo foi dividido nas seguintes etapas:

- Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água;
- Legislações aplicáveis;
- Capacidade do Processo;
- Implementação do CEP;
- Aplicação da ferramenta matriz de verificação de oportunidades e defeitos e Nível Sigma;

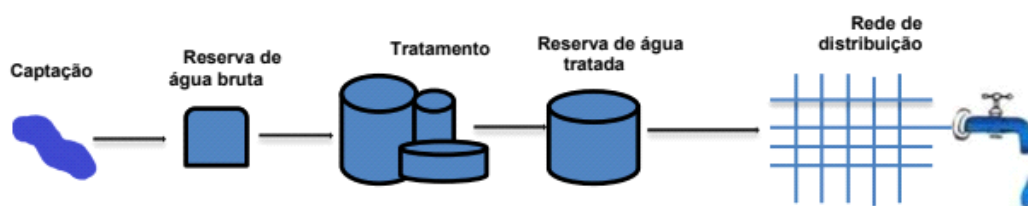
3. Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água

Segundo Azevedo Netto (1998), define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, serviços e equipamentos destinados ao abastecimento de água potável de uma

comunidade para fins de consumo doméstico, consumo industrial, serviços públicos entre outros usos.

O sistema de abastecimento e distribuição de água é constituído por um conjunto de infraestruturas (Figura 1). Cada uma destas partes corresponde a órgãos, constituídos por obras de construção civil, equipamentos elétricos e eletromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controle (MARTINS,2014). Segundo Sousa (2001).

Figura 1: Esquema conceptual de um sistema de abastecimento de água para consumo humano



Fonte: (MARTINS, 2014)

A água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista químico, físico e bacteriológico. O sistema de abastecimento de água é composto pelos seguintes setores representados na Figura 2.

Quadro 1: Setores que compõem o sistema de abastecimento de água

Setores	Descrição
Manancial	Fontes de água superficiais ou subterrâneas que são usadas para abastecimento humano.
Captação	É a primeira unidade do sistema de abastecimento de água. Responsável por coletar de modo adequado a água do manancial, também chamada de água bruta.
Adutora	É a tubulação de grande diâmetro usada para a condução da água do ponto de captação no manancial até a Estação de Tratamento de Água (EEAB-adutora de água bruta), e da Estação de Tratamento de Água até os reservatórios de distribuição (EEAT-adutora de água tratada).
Estação Elevatória	É o conjunto das instalações e equipamentos de bombeamento, destinados a transportar a água a pontos mais distantes ou mais elevada, ou para aumentar a vazão de linhas adutoras.
Estação de tratamento	Unidade industrial responsável pela purificação da água bruta coletada no manancial, seguindo critérios de qualidade especificados na legislação.
Reservatório	Grandes caixas de concreto onde fica reservada a água após tratamento.
Rede de distribuição	Adutoras, tubulações e encanamentos por onde se distribui a água tratada para a população.

Fonte: Tsutiya (2004)

4. Legislações aplicáveis aos processos hidráulicos

A Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12216 (1992) tem como objetivo fornecer diretrizes e estabelecer valores para o dimensionamento de ETAs. Ela faz referência aos seguintes processos hidráulicos: mistura rápida, mistura lenta, decantação, filtração rápida e filtração lenta (BRAGA, 2014). A norma define diversos valores de parâmetros para cada um desses processos hidráulicos, e dimensões que devem ser respeitados, tendo como objetivo otimizar a operação da ETA.

O tratamento de água para consumo humano, tem como objetivo adequar a água bruta coletada dos rios aos padrões estabelecidos na Portaria 2914 (2011), visando sempre os menores custos possíveis. Segundo Libânio (2010) a escolha da tecnologia mais adequada deve ser guiada pelos seguintes fatores de características da água bruta; custos envolvidos; manuseio e confiabilidade dos equipamentos; flexibilidade operacional; localização geográfica e características da população beneficiada pelo abastecimento.

As etapas utilizadas para o tratamento convencional ou tratamento de ciclo completo são: i) coagulação; ii) floculação; iii) decantação ou flotação; iv) filtração rápida descendente; v) ajustes finais, que envolvem desinfecção, fluoretação, ajuste de pH e outros processos necessários (BRAGA, 2014). A escolha do tratamento utilizado segundo critério adotado pela resolução CONAMA 357 (2005) e pela NBR 12216 (1992).

4.1. Coagulação e mistura rápida

O processo de coagulação visa à desestabilização de partículas coloidais e suspensas através de fenômenos químicos e físicos (BRAGA, 2014). O processo corresponde a uma etapa indispensável à remoção satisfatória das partículas suspensas, coloidais, dissolvidas e outros contaminantes, responsáveis pela turbidez, cor, odor e sabor nas águas para abastecimento (HELLER; PADUA, 2006).

Segundo Braga (2014), o objetivo da mistura rápida é fornecer à água uma agitação, mensurada em termos de gradiente de velocidade, que dispersa o coagulante, bem como provoca o choque entre o coagulante e as partículas coloidais na água.

A NBR 12216 (1992) recomenda valores para os parâmetros hidráulicos da coagulação (Tabela 1), caso as condições ideais em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida não seja alcançado.

Tabela 1: Valores recomendados para os parâmetros hidráulicos da coagulação

Tempo de mistura Rápida (Tmr)	Gradiente (G)
$Tmr \leq 5s$	$700 s^{-1} < G < 1100 s^{-1}$

Fonte: NBR 12216 (1992)

4.2. Floculação e mistura lenta

A floculação é um processo fundamentalmente físico e consiste no transporte das espécies hidrolisadas, para que haja contato com as impurezas presentes na água, formando partículas maiores denominadas flocos (FRANCISCO et al., 2011). Nessa etapa, a energia fornecida à água é menor quando comparada à energia da mistura rápida devido a isso, a etapa da floculação ocorre em unidades chamadas de mistura lenta (BERNARDO e PAZ, 2010; LIBÂNIO, 2010; VIANNA, 1992). Assim como na coagulação, a NBR 12216 (1992) recomenda valores de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Valores recomendados para os parâmetros hidráulicos da floculação

Tempo de Mistura Lenta (Tml)	
Hidráulico	Mecanizado
$20 \text{ min} < Tml < 30 \text{ min}$	$30 \text{ min} < Tml < 40 \text{ min}$

Fonte: NBR 12216 (1992)

4.3. Filtração

De acordo com Braga (2014), a filtração é a última etapa contra as impurezas da água, sendo responsável por reter as partículas que não foram removidas na decantação, sendo considerado, um sistema capaz de corrigir falhas dos processos anteriores.

Para realizar a remoção de tais impurezas da água é necessário analisar o tipo de material que se deseja separar, como também, o tipo de filtro que será o mais adequado para tal processo. Deste modo, é possível verificar a velocidade com que a água passa pelo mesmo e denominar qual filtro será mais apropriado: o filtro lento ou o filtro rápido (RICHTER, NETTO, 2007).

Braga (2014) afirma que o parâmetro que define se o filtro é rápido ou lento é a taxa de filtração, que segundo a NBR 12216 (1992) deve ser adotada de acordo com ensaios de filtração feitos em laboratório. Caso não seja possível, a NBR 12216 (1992) recomenda os valores definidos na Tabela 4.

Tabela 4: Valores recomendados para os parâmetros hidráulicos dos filtros

Tipo de Filtro	Taxa de filtração Máxima
Lento	$6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$
Rápido-Meio Filtrante: Camada Simples	$180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$
Rápido- Meio Filtrante: Camada dupla	$360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Fonte: NBR 12216 (1992)

5. Capacidade do processo

Segundo MONTGOMERY (2004), a capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade na produção. Corrêa (2009) afirma que das principais utilizações da análises de capacidade de um processo, destacam-se:

- Prever as tolerâncias do projeto;
- Auxiliar os planejadores do produto na modificação de um projeto;
- Auxiliar a criação de intervalos entre amostras para monitoramento do processo;
- Especificar as condições de desempenho para um equipamento novo;
- Selecionar entre vendedores concorrentes;
- Planejar a sequência de processos de produção quando existir um efeito interativo de processos sobre as tolerâncias;
- Reduzir a variação em um processo de produção.

6. Implementação do CEP

Neste trabalho, foram utilizados valores simulados de uma ETA referentes ao período de funcionamento de 90 dias, para os processos hidráulicos de coagulação, floculação e filtros, seguindo os parâmetros estabelecidos por Lei (Tabela 5), como limites de especificação.

Tabela 5- Limites de Especificação sugeridos

Parâmetro hidráulico	Coagulação	Floculação	Filtro Lento
Máximo	5s	30	6 m ³ /m ² d
Mínimo	0	20	0 m ³ /m ² d

Fonte: NBR 12216 (1992)

Através das ferramentas estatísticas foram calculados os valores de Cp e Cpk , sendo possível detectar as causas da variação e possível solução para um melhor comportamento dos resultados através da redução da variabilidade (CORRÊA, 2009).

6.1. Tratamento dos dados

Para os gráficos referentes à capacidade do processo foram usadas as seguintes fórmulas para os limites de tolerância: $LNTS = m + 3s$ é o limite natural de tolerância superior e $LNTI = m - 3s$ é o limite natural de tolerância inferior.

O índice Capacidade do Processo tem como objetivo comparar a amplitude dos limites de especificação (Tabela 5) com a amplitude do processo. O Cp não aponta a falta de centralidade presente em todas as situações, perante a isso, foi calculado o Cpk, que tem como objetivo a falta de centralização do processo.

A partir dos valores de Cp e Cpk encontrados, foram calculados novos valores de Cp e Cpk baseados na filosofia Seis Sigma, onde houve uma mudança nos limites trabalhados no gráfico, fazendo com que houvesse uma diminuição nas não conformidades da amostra.

6.1.1. Interpretando os gráficos de controle

Dos 90 dias analisados em relação ao tempo de mistura rápida referente ao processo hidráulico de coagulação, foram calculados os índices de capacidade do processo, levando em consideração os valores de especificação obtidos pela NBR 12216 (1992), o valor médio obtido (2,5s) esteve de acordo com o valor médio obtido pela especificação (2,5s), sendo assim comprovado que os índices obtidos indicam que o processo esteve centrado, gerando um valor de Cp e Cpk menores que 1,00, tendo assim menos de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma na análise do tempo de mistura rápida, obteve-se um valor de Cp =2, obtendo assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância.

Para o índice de capacidade referente a análise feita para o tempo de mistura lenta, referente ao processo de coagulação, também levando em conta os valores de especificação obtidos pela NBR 12216 (1992), o valor médio obtido (25,05 min) esteve de acordo com o valor médio obtido pela especificação (25min), comprovando que os índices obtidos indicam a centralização do processo, gerando um valor de Cp e Cpk maiores que 1,3, gerando assim um mínimo de 99,994% dos itens dentro da tolerância. Ao aplicar a filosofia Seis Sigma para análise do índice de capacidade desse processo, assim como para o processo de coagulação, também se obteve um valor de Cp=2, tendo assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância.

Quanto a análise de 90 dias para a taxa de filtração referente ao filtro lento, o valor médio obtido (2,8 m³/m²d) esteve bem próximo ao valor obtido pela especificação (3 m³/m²d) , comprovando assim a centralização do processo, tendo valores de Cp e Cpk iguais a 1, obtendo assim um mínimo de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma, também obteve um valor de Cp= 2 e Cpk>1,33 com mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância.

Figura 2- Gráficos de controle



Fonte: próprio autor

7. Aplicação da ferramenta matriz de verificação de oportunidades e defeitos e Nível Sigma

Considerando uma estação de tratamento hipotética, a partir das especificações requeridas pela NBR 12216 (1992), foram calculados indicadores de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) e o nível Sigma para cada processo.

Quadro 2- Cálculo para 3 níveis Sigma

Descrição da característica	Processo		Resultados		
	Média	Desvio	DPMO	Nível Sigma	Eficiência
Tmr	2,68	0,86	4.407,03	4,12	99,50%
Tml	25,34	1,52	1.281,25	4,52	99,87%
Taxa de filtração	3,17	1,08	6.197,04	4,00	99,40%

Fonte: Próprio autor

Quadro 3- Cálculo para 6 níveis Sigma

Descrição da característica	Processo		Resultados		
	Média	Desvio	DPMO	Nível Sigma	Eficiência
Tmr	2,68	0,86	3,00	6,00	99,99966%
Tml	25,34	1,52	3,00	6,00	99,99966%
Taxa de filtração	3,17	1,08	3,00	6,00	99,99966%

Fonte: Próprio autor

7.1. Interpretação dos dados

Os dados foram tratados com 3 níveis Sigma (Quadro2) dentro do tempo de mistura rápida para o processo de coagulação, tempo de mistura lenta para o processo de floculação e a taxa de filtração lenta para o processo de filtração, recomendados pela NBR 12216 (1992). Foram efetuados em conjunto cálculos para 6 níveis Sigma (Quadro 3), com intuito de reduzir ainda mais a probabilidade de defeitos para 3, aumentando assim o rendimento do processo.

Considerando o processo hidráulico de coagulação, o tempo de mistura rápida (Tmr) especificado pela NBR caso as condições ideais em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura rápida não seja alcançado, apresentou um potencial de defeitos por milhão de oportunidades de 4.407,03 s, que corresponde a um nível Sigma 4,12 e um rendimento de 99,5%, reduzindo a probabilidade de defeitos para 3 o rendimento do processo aumentou para 99,99966% .

Levando em conta o processo hidráulico de floculação, o tempo de mistura lenta (Tml), assim como na coagulação, a NBR 12216 (1992) recomenda valores limites de Tml. Para esses valores foram encontrados potencial de defeitos por milhão de oportunidades de 1.281,25, que corresponde a um nível Sigma 4,52 e um rendimento de 99,87%, reduzindo a probabilidade de defeitos para 3 o rendimento do processo aumentou para 99,99966%.

O mesmo foi feito para a taxa de filtração máxima especificada pela norma para o processo de filtração, onde foram encontrados valores de para potencial de defeitos por milhão de oportunidades de 6.197,04, que corresponde a um nível Sigma 4,00 e um rendimento de 99,40%, reduzindo a probabilidade de defeitos para 3 o rendimento do processo aumentou para 99,99966% .

8. Conclusão

O estudo demonstra a aplicação de ferramentas de controle, como CEP e a metodologia Seis Sigma a uma ETA. A partir de dados simulados utilizando o software Excel, foram obtidos gráficos de controle para uma análise 90 dias para cada processo hidráulico do sistema, referente ao tempo de mistura rápida (Tmr) do processo de coagulação, tempo de mistura lenta (Tml) do processo de floculação e a taxa de filtração máxima no processo de filtração.

Para os 3 processos avaliados os valores médios obtidos estiveram dentro dos valores médios recomendados pela NBR 12216 (1992), comprovando que os índices obtidos indicam que o processo esteve centrado, gerando valores de Cp e Cpk menores que 1,00 para o Tmr de coagulação, tendo assim menos de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma na análise do tempo de mistura rápida, obteve-se um valor de Cp =2, obtendo assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância. Valores de Cp e Cpk maiores que 1,3 para o Tml de floculação, gerando assim um mínimo de 99,994% dos itens dentro da tolerância. Ao aplicar a filosofia Seis Sigma para análise do índice de capacidade desse processo, assim como para o processo de coagulação, também se obteve um valor de Cp=2, tendo assim um mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância. E para valores de Cp e Cpk para a taxa de filtração foram encontrados valores iguais a 1, obtendo assim um mínimo de 99,73% dos itens dentro da tolerância. Aplicando a filosofia Seis Sigma, também obteve um valor de Cp= 2 e Cpk>1,33 com mínimo de 99,99% dos itens dentro da tolerância.

Nestas condições, obteve-se indicadores de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) e o nível Sigma para cada processo, trabalhando com nível 3 e 6 Sigma, no intuito de reduzir ainda mais as não conformidades referentes ao Tmr, Tml e taxa de filtração.

Segundo Silva et al. (2017), em uma ETA, a redução das não-conformidades ao longo do processo produtivo é fundamental para garantir os requisitos de potabilidade da água, no presente trabalho observamos que, não somente as não-conformidades presentes no processo de tratamento, mas também nos processos hidráulicos que compõem o sistema de tratamento podem ser melhorados com a implementação de ferramentas aplicadas no estudo, gerando posteriormente reduções no custo operacional e do preço da tarifa, visto que o consumo de energia utilizada para os processos hidráulicos diminuiria.

Com o estudo realizado, observa-se que, a implementação do CEP e derivação para a metodologia Seis Sigma, apresentam resultados satisfatórios para o monitoramento e controle da eficiência da ETA, em virtude das limitações impostas ao trabalho surgem como temas

para futuras pesquisas a coleta de dados in loco para o efetivo teste da metodologia proposta, bem como a inserção de outras ferramentas estatísticas de análise de eficiência como a *Data Development Analysis* (DEA).

REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L. **Ecoeficiência de Sistemas de Tratamento de Água a Luz dos Conceitos da ISO 14001**. Dissertação de doutorado USP – 2008.
- AZEVEDO NETTO, J.M. et al. Manual de Hidráulica; 8º edição. Editora Edgard Blucher, 670p. São Paulo, SP, 1998.
- BASU, R. **Six-Sigma to operational excellence: role of tools and techniques**. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, v. 1 (1), p. 44-64, 2004
- BLAKESLEE JR, J. A. **Achieving quantum leaps in quality and competitiveness: implementing the Six Sigma solution in your company**. ASQ's 53rd Annual Quality Congress Proceedings. USA, 2001. Anais. p. 486-496.
- BRAGA. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**. Faculdade de Engenharia da UFJF, 2014.
- CORRÊA, J.M. **ESTUDO DO CONTROLE E ANÁLISE DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL**. XLI SBPO 2009 – Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento.
- GONÇALEZ. **Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não normais**. Gest. Prod., São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121-132, jan.-mar. 2009.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.
- HOERL, R.; SNEE, R. D. **Statistical thinking: improving business performance**. Pacific Grove, CA: Duxbury Press, 2002.
- INGLE, S.; ROE, W. **Six Sigma. Black Belt Implementation**, v. 13 (4), p. 273-280, 2001.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010.
- MACEDO, J.A.B. (2007) **Águas & Águas**. 3. ed. Minas Gerais: CRQ – MG. 1027 p.
- MARTINS. (2014). **Sistemas de Abastecimento de Água para Consumo Humano – Desenvolvimento e Aplicação de Ferramenta Informática para a sua Gestão Integrada**. Bragança.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4ª ed., LTC (2004).
- 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.
- POHLMANN. **Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma**. Eng Sanit Ambient. V.20, n.3, 2015, 485-492 p.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento d água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991.
- SNEE, R. D.; HOERL, R. W. **A Step-by-Step Guide Based on Experience with GE and Other Six Sigma Companies**. Financial Times. Prentice Hall, 2002.
- SNEE, R. D. **Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology**. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, v. 1 (1), p. 4-20, 2004.
- SILVA et al. (2017). **ECOEFICIÊNCIA NO PROCESSO PRODUTIVO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA'S): UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA**. Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017.
- Singh, S.J. & Devi, H.P. (2006) **A study of water-borne morbidities of Thanga village**, Manipur. Journal of Human Ecology, v. 19, n. 2, p. 103-105

