

## **APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS NO CONTROLE DA QUALIDADE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM POÇOS DE CALDAS (MG)**

### **Amanda Carvalhaes Souto Valim<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química formada pela Universidade Federal de Alfenas em 2015, mestranda em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas, atuando como Analista de Engenharia no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas/MG.

### **André Felipe de Araújo**

Técnico de laboratório no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas/MG. Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas.

### **Leonardo Henrique Soares Damasceno**

Engenheiro Agrícola formado pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2001, Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (São Carlos) em 2004 e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (São Carlos) em 2008. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), no Instituto de Ciência e Tecnologia, em Poços de Caldas/MG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Praça Coronel Agostinho Junqueira, 77, Centro, Poços de Caldas/MG, CEP 37701-017, Brasil, Tel: +55 (35) 3697-0649, e-mail: amandav@dmaepc.mg.gov.br.

## **RESUMO**

O controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção com o objetivo de verificar causas que não são naturais ao processo e que possam prejudicar a qualidade de um determinado produto. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi aplicar ferramentas do CEP para avaliação de anomalias de processo na qualidade da água tratada de uma estação de tratamento de água (ETA), com a finalidade de garantir os padrões de potabilidade da água, de acordo com a Portaria de Consolidação Nº5 do Ministério da Saúde, em seu Anexo XX (antiga Portaria 2914). Os gráficos de controle foram elaborados através de medições de quatro parâmetros: cor, pH, turbidez e cloro residual, em intervalos de tempo, identificando as causas especiais nos critérios estabelecidos pela ISO 8258:1991. Os resultados

demonstraram que apenas o parâmetro turbidez não apresentou controle estatístico de processo, evidenciando a estabilidade do processo de tratamento de água estudado.

**Palavras-chave:** Controle estatístico de processo, Tratamento de água, Controle de qualidade, Cartas de controle de *Shewhart*.

## INTRODUÇÃO

O abastecimento público de água, em termos quantitativo e qualitativo, tornou-se uma preocupação crescente ao longo dos anos, devido a deterioração da qualidade dos mananciais de captação e da escassez desse recurso (BRASIL, 2006).

O controle estatístico do processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção que consiste em uma inspeção por amostragem, operada ao longo do processo, para verificar causas que não são naturais a este e que possam prejudicar a qualidade do produto final. Uma das ferramentas utilizadas pelo controle estatístico de processo são os gráficos de controle (SÃO PAULO, 2013).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi aplicar ferramentas do CEP para avaliação de anomalias de processo na qualidade da água tratada de uma estação de tratamento de água (ETA) do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) da cidade de Poços de Caldas (MG), com a finalidade de garantir os padrões de potabilidade da água, de acordo com a Portaria de Consolidação Nº5 do Ministério da Saúde, em seu Anexo XX (antiga Portaria 2914).

Através dessa aplicação obtêm-se um descritivo detalhado do comportamento do processo de tratamento de água, identificando sua variabilidade e proporcionando seu controle ao longo do tempo, através da coleta contínua e análise de dados, eliminando possíveis causas especiais que são responsáveis pelas instabilidades do processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Atualmente, no Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Poços de Caldas/MG, o sistema de abastecimento de água é realizado por três estações de tratamento de água (ETA) com capacidade nominal de tratamento de 880 l/s.

O presente estudo foi realizado na ETA-1, que possui uma capacidade de tratamento de 200 l/s, sendo responsável pelo abastecimento de 30% do município de Poços de Caldas.

É constituída de desinfecção com gás cloro, pré alcalinização com adição de hidróxido de cálcio em suspensão aquosa, uma unidade de mistura rápida – calha parshall, coagulação com adição de sulfato de alumínio líquido isento de ferro, oito floculadores hidráulicos, dois decantadores de alta taxa, seis filtros de fluxo ascendente, pós alcalinização e adição de ortopolifosfato na água tratada para redução de corrosões nas redes de distribuição.

Para caracterização físico-química da água tratada, as amostras de água foram coletadas na saída do tratamento, no mês de janeiro de 2018, totalizando 22 amostras, para os seguintes parâmetros: cor, pH, turbidez e cloro residual livre, de acordo com os métodos estabelecidos pelo Standart Methods (American Public Health Association, 1998).

É importante evidenciar que os parâmetros citados acima são analisados a cada duas horas na ETA-1, para amostras de água bruta, coagulada, decantada, filtrada e tratada, de modo a monitorar de forma contínua a qualidade da água de abastecimento público para que a mesma atenda aos parâmetros exigidos na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Os gráficos de controle são elaborados através de medições de variáveis de interesse em intervalos de tempo, registro dos resultados e plotagem dos valores medidos em função do tempo. A interpretação é feita em função de linhas horizontais denominadas de limite superior de controle (LSC), linha da média (LM) e limite inferior de controle (LIC), e suas respectivas zonas A, B e C formadas, as quais são calculadas de acordo com as equações (1) a (3):

$$\text{Zona A} = \bar{x} \pm 3s \quad (1)$$

$$\text{Zona B} = \bar{x} \pm 2s \quad (2)$$

$$\text{Zona C} = \bar{x} \pm s \quad (3)$$

em que  $\bar{x}$  é o valor da média das variáveis e  $s$  é o valor do desvio-padrão (SÃO PAULO, 2013).

Para detecção de causas especiais nas cartas de controle de *Shewhart* podem ser utilizados os critérios estabelecidos pela ISO 8258:1991, descritos na Tabela 1.

**Tabela 1 - Critérios para detecção de causas especiais de descontrole (ISO 8258/1991).**

---

**CRITÉRIOS PARA DETECÇÃO DE CAUSAS ESPECIAIS - ISO 8258:1991**

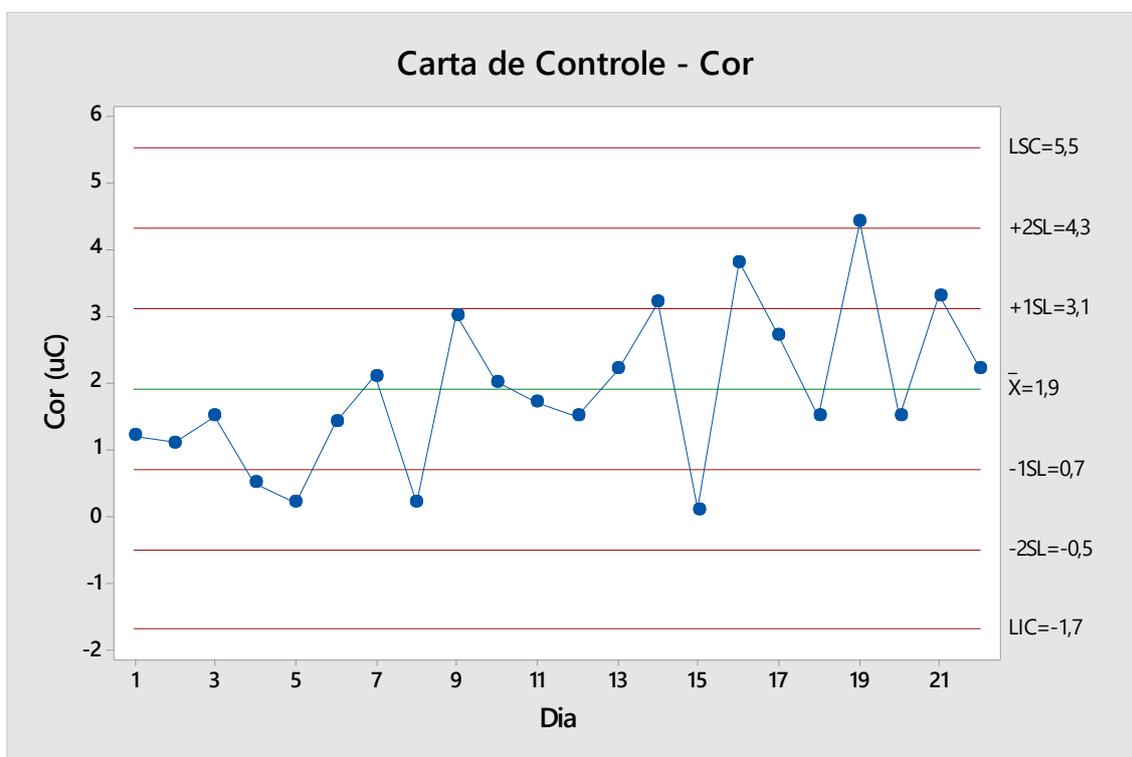
---

01. Um ponto além dos limites de controle
  02. Nove pontos consecutivos na zona C ou além, no mesmo lado da linha central
  03. Seis pontos consecutivos progredindo ou regredindo
  04. Quatorze pontos consecutivos alternando para cima e para baixo
  05. Dois de três pontos consecutivo na zona A, do mesmo lado da linha central
  06. Quatro de cinco pontos consecutivos na zona B ou além, do mesmo lado da linha central
  07. Quinze pontos consecutivos na zona C acima e abaixo da linha central
  08. Oito pontos consecutivos em ambos os lados da linha central, sem nenhum na zona C
-

## RESULTADOS/DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a carta de controle realizada no período para o parâmetro Cor. De acordo com a ISO 8258:1991, não houve pontos de descontrole no processo. Em nenhum momento o processo esteve fora dos limites de controle, e nem atendeu aos critérios para detecção de causas especiais, de acordo com a Tabela 1. Isso pode ser explicado pelo fato de a medição de Cor apresentar grande variabilidade, com média de 1,87 e desvio padrão de 1,17 (62% da média). Esta grande variabilidade dos dados, expressa pelo desvio padrão, é levada em conta na elaboração das cartas de controle, de forma que sejam necessárias grandes variações para que os valores fiquem fora dos limites de controle. É importante manter controlada a cor da água tratada pois uma água com cor não transmite confiança para o consumidor final, mesmo que não apresente riscos para saúde pública.

**Figura 1 - Carta de controle para o parâmetro Cor durante o período de janeiro de 2018.**



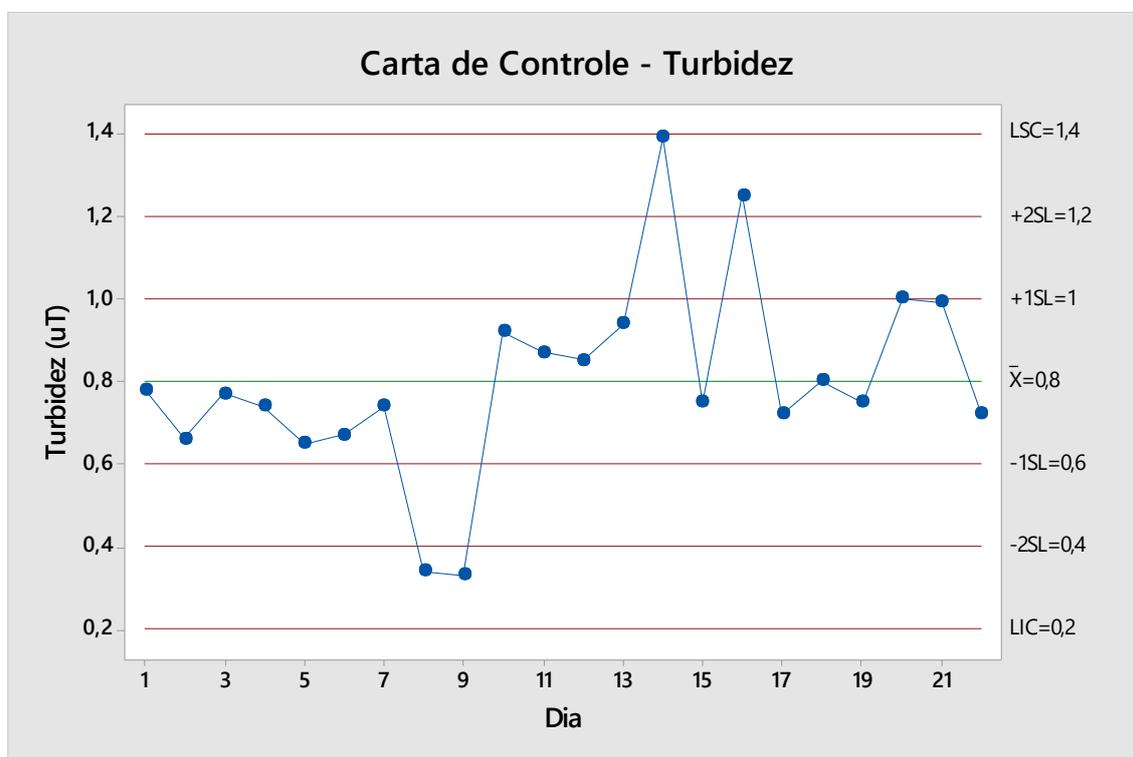
Fonte: Autor.

Para o parâmetro Turbidez, a carta de controle (Figura 2) atendeu, entre os dias 1 e 9 de janeiro, ao critério 2: nove pontos consecutivos na zona C ou além, no mesmo lado da linha central. Isso ocorreu em razão dos seguintes problemas: (1) baixa qualidade do hidróxido de cálcio em suspensão aquosa, que apresentava alta viscosidade, ocorrendo frequentemente entupimentos na linha dosadora do alcalinizante, o que interrompia a dosagem, fazendo com que o pH ideal

para floculação não fosse atingido, sobrecarregando os decantadores e filtros e, conseqüentemente, aumentando a turbidez da água tratada; (2) a sobrecarga e a falta de manutenção no decantador causou o desprendimento das lamelas de decantação, diminuindo a eficiência do processo; (3) chuvas de grande intensidade provocaram aumentos significativos na turbidez da água bruta recebida na ETA, que chegou a 242 UNT; (4) problemas na válvula solenóide da comporta de contra lavagem de um dos filtros, o que impediu sua lavagem, provocando aumento na turbidez.

É relevante observar que mesmo com estes problemas, a turbidez não esteve além do limite de 1,0 UNT determinado pela Portaria 2914/2011. Ou seja, as cartas de controle detectaram um problema que, observando apenas de acordo com a portaria, não seria identificado. Isso possibilita que, uma vez detectados os pontos de controle, sejam feitas intervenções pontuais apenas nesses problemas.

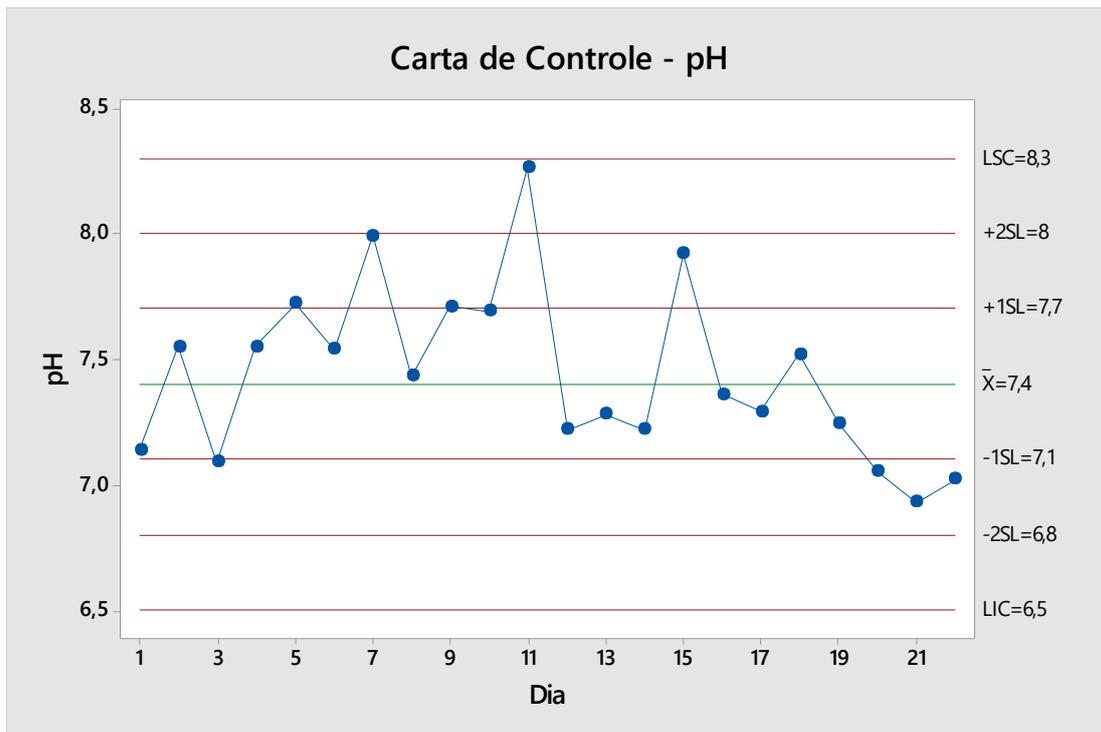
**Figura 2 - Carta de controle para o parâmetro Turbidez durante o período de janeiro de 2018.**



Fonte: Autor.

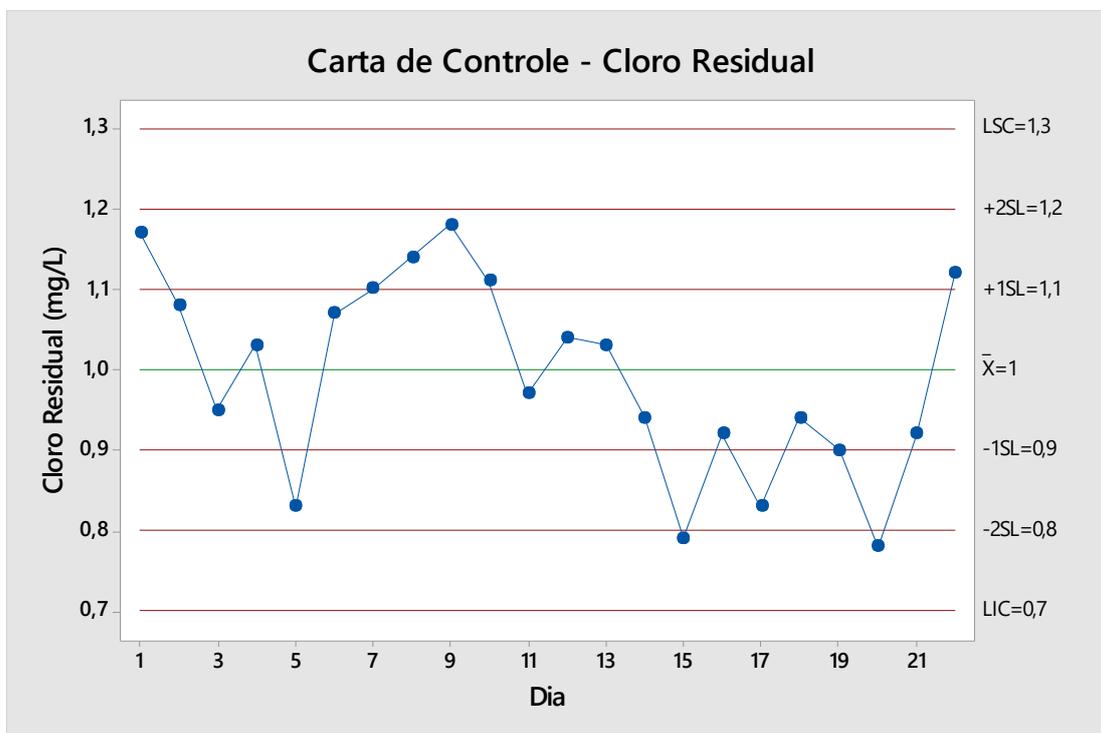
A carta de controle para o parâmetro pH, representada na Figura 3, não atendeu a nenhum critério de causas especiais. Da mesma forma, para o parâmetro Cloro, não foram observados critérios de não aleatoriedade no mesmo.

**Figura 3 - Carta de controle para o parâmetro pH livre durante o período de janeiro de 2018.**



Fonte: Autor.

**Figura 4 - Carta de controle para o parâmetro Cloro residual livre durante o período de janeiro de 2018.**



Fonte: Autor.

Através do Diagrama de Causa-Efeito, ou Diagrama de Ishikawa, pode-se analisar as principais possíveis causas de descontroles estatísticos em processo.

No grupo 'Medições' está listada como possível causa a falta de calibração dos equipamentos de medição de turbidez, no presente caso, os turbidímetros. Equipamentos analíticos, assim como toda medição, apresentam erros, que devem ser diminuídos sistematicamente, de forma que a calibração correta dos aparelhos é uma ferramenta importante para conferir maior precisão às medidas realizadas. Da mesma forma, é importante que os procedimentos da medição sejam seguidos fielmente, pois a execução incorreta do mesmo provoca erros.

No grupo 'Matéria-prima' a qualidade dos produtos químicos interferem diretamente no processo de tratamento de água. Entupimentos na linha de alimentação do agente alcalinizante provocam interrupção na dosagem, o que prejudica o processo de coagulação, o qual é de extrema importância para o tratamento. Outra possível causa é a condição da água bruta. Chuvas intensas provocam aumento na turbidez da água, o que pode provocar descontroles no processo.

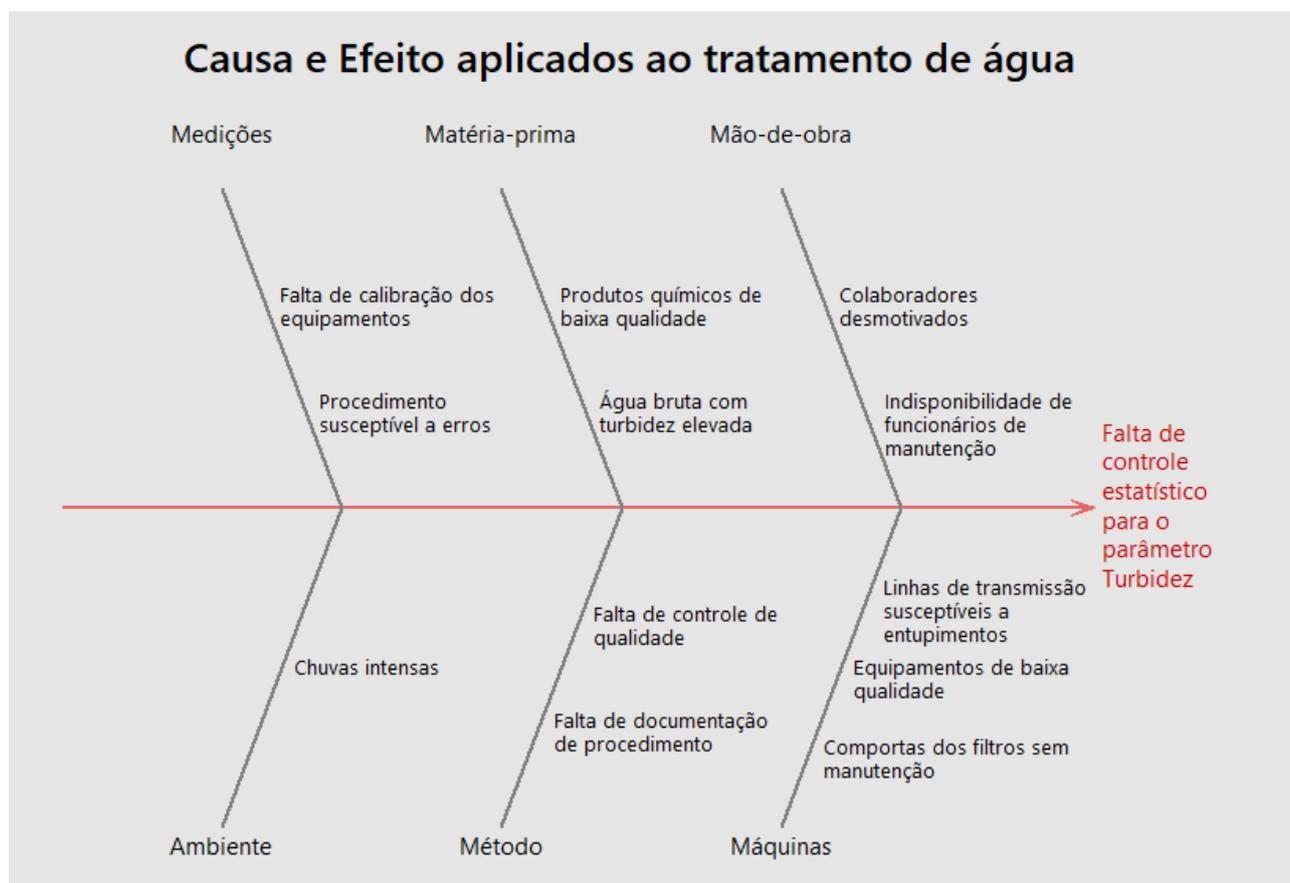
No grupo 'Mão-de-obra' é de conhecimento geral que trabalhadores desmotivados deixam de exercer suas funções de acordo com sua capacidade, o que pode influenciar diretamente na qualidade do produto. Colaboradores desmotivados realizam seus trabalhos com menos eficiência. Também é importante que haja pessoal especializado disponível para realização das manutenções nos equipamentos, uma vez que problemas nos equipamentos são frequentes e devem ser corrigidos da forma mais rápida possível.

No grupo 'Ambiente' é importante que se observe as condições de trabalho dos colaboradores. Chuvas intensas podem fazer com que os mesmos não consigam se deslocar entre as diversas etapas do tratamento, o que pode provocar descontrole e piora na qualidade do produto.

No grupo 'Método' a falta de controle de qualidade é listada como uma possível causa pois, ainda que seja realizado o controle de qualidade de acordo com o imposto pela legislação, um controle interno de qualidade pode ser aplicado com o objetivo de aumentar a qualidade da água tratada e reduzir custos no processo. A implantação de um controle rígido de qualidade requer a elaboração de procedimentos para padronização das tarefas realizadas no tratamento, garantindo que sejam realizadas da forma mais eficiente e eficaz possível.

No grupo 'Máquinas' é imprescindível que a manutenção dos equipamentos envolvidos nas diversas operações do tratamento seja realizada de forma preventiva, evitando que os problemas venham a ocorrer e que, quando ocorram, sejam corrigidos de forma rápida. É importante também que sejam utilizados equipamentos de qualidade, garantindo que sejam necessárias poucas interrupções para manutenção no processo. O entupimento das linhas dosadoras do agente alcalinizante pode ser devido ao diâmetro da tubulação não ser o mais adequado para o produto. É importante que as linhas sejam projetadas de acordo com o produto para evitar interrupções na adição do mesmo.

**Figura 5 - Diagrama de Ishikawa demonstrando as principais causas de falta de controle estatístico do processo.**



Fonte: Autor.

## CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados pode-se afirmar que a Estação de Tratamento de Água (ETA-1) apresentou controle estatístico de processo para três dos quatro parâmetros físico-químicos analisados: cor, pH e cloro residual. Com exceção do parâmetro turbidez, que não apresentou controle estatístico de processo, exibindo variabilidade em apenas um dos critérios estabelecidos pela norma ISO-8258:1991. Vale ressaltar que mesmo com este descontrole, a turbidez não esteve além do limite de 1,0 UNT determinado pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde. Ou seja, a carta de controle detectou um problema que, observando apenas com relação a portaria, não seria identificado. Isso possibilita que, uma vez detectados os pontos de controle, sejam feitas intervenções pontuais apenas nesses problemas.

O diagrama de Ishikawa mostrou-se uma ferramenta útil para detecção de problemas, e as cartas de controle foram úteis para constatar instabilidades, demonstrando que técnicas de controle de

qualidade podem ser aplicadas para obter melhores resultados no tratamento de água para abastecimento público.

## REFERÊNCIAS

- APHA. Standart Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed., Washington 1998.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2.914, de Dezembro de 2011. Dispõe dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília, 2006.
- ISO 8258:1991. Shewhart control charts. International Organization for Standardization, Switzerland, 1991.
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Saúde. Coordenadoria de Controle de Doenças. Instituto Adolfo Lutz. Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos. São Paulo, Instituto Adolfo Lutz, 2013.