



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde  
ISSN: 2526-690X  
v. 2 | n. 2 | 2018

**Luiz Henrique Marra da Silva Ribeiro**  
Mestrando em Estatística Aplicada e Biometria  
Universidade Federal de Alfenas  
luiz.marra@outlook.com

**Tatiane Gomes de Araújo**  
Mestranda em Estatística Aplicada e Biometria  
Universidade Federal de Alfenas  
tatigomesaraujo@yahoo.com.br

**Eric Batista Ferreira**  
Professor do Departamento de Estatística  
Universidade Federal de Alfenas  
eric.ferreira@unifal-mg.edu.br

## CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO E A QUALIDADE DA ÁGUA FORNECIDA PARA OS MUNICÍPIOS DE ALFENAS E BELO HORIZONTE

**Resumo:** A garantia da qualidade da água para consumo humano está inclusa em leis federais brasileiras. Em Minas Gerais, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais é a responsável pelo abastecimento de diversos municípios e precisa garantir a qualidade de seus serviços e produtos. Nesse trabalho, foi utilizado controle estatístico de processo multivariado para proporção, indicando uma sugestão de ferramenta para controle das variáveis que descrevem a qualidade da água. Foram utilizados dados de relatórios da COPASA das cidades de Alfenas e Belo Horizonte de 2012 a 2016 (60 meses), para as sete variáveis controladas pela empresa em proporção de violação dos limites legais, sendo elas: cloro, coliformes totais, cor, *Escherichia coli*, fluoreto, pH e turbidez. Com a ferramenta, verificou-se pontos fora de controle para ambas cidades, e para diferentes variáveis. Esta ferramenta pode ser utilizada em processo de triagem, embasando gestores em tomadas de decisão, como, por exemplo, para onde devem ser voltadas as atenções, decidindo quais partes do processo deve-se realizar estudos mais detalhados.

**Palavras-chave:** Água Potável. Ferramenta de Qualidade. Gestão da Qualidade.

## STATISTICAL PROCESS CONTROL OF THE WATER QUALITY PROVIDED FOR ALFENAS AND BELO HORIZONTE CITIES

**Abstract:** The quality assurance for water for human consumption is inserted in Brazilian federal laws. In the Brazilian state of Minas Gerais the sanitation company (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) is the responsible for the supply in several cities, and it needs to assure the quality of their services and products. In this paper, the multivariate statistical process control for proportion was used, suggesting one tool to control the variables that describe the quality of the water. It was used two cities' reports data (Alfenas and Belo Horizonte) from this company from 2012 to 2016 (60 months), considering seven variables, which are usually verified by the company, in proportion out of legal limits, the variables analyzed were: chlorine, total coliform bacteria, color, *Escherichia coli*, fluoride, pH, and turbidity. By using this tool, it was verified points out of control for both cities, and for different variables. This tool can be used during screening process, giving managers basis in decision-making, for example, to which part of the process to give more attention, and deciding where to make more careful studies.

**Keywords:** Drinking Water. Quality Management. Quality Tool.

Recebido em: 14/09/2018 - Aprovado em: 22/10/2018 - Disponibilizado em: 25/11/2018

## INTRODUÇÃO

A água é indispensável para a vida do ser humano, ela é utilizada para atividades sociais e econômicas, pode ser obtida de rios, lagos, represas e aquíferos, e tem influência direta sobre a saúde, qualidade de vida e desenvolvimento das populações (SCURACCHIO, 2010). Recentemente, foi incorporada pela Portaria de Consolidações 2.914, nº 5, de setembro de 2017, artigo 12, parágrafo primeiro, que compete às secretarias de saúde dos municípios “exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle da qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2011). Em Minas Gerais, a COPASA é uma das principais distribuidoras de água potável, e no artigo 121 do Decreto nº 44.884, de 1º de set. de 2008, ela “se obriga a controlar, rotineiramente, a qualidade da água por ela distribuída, a fim de assegurar a sua potabilidade conforme exigências dos órgãos competentes” (MINAS GERAIS, 2008).

De acordo com a portaria 2.914 de 2011, artigo 5, parágrafo segundo e terceiro, água potável se refere a “água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde”, e para tal, ela deve conter um “conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade

da água para consumo humano” (BRASIL, 2011).

Uma forma eficiente de se controlar variáveis importantes para a qualidade de um processo é utilizando cartas de controle. Elas são utilizadas onde se pode verificar quando tais variáveis saem de controle estatístico e ações podem ser tomadas para que elas retornem ao controle estatístico. Essa ferramenta é utilizada em muitos processos, inclusive em monitoramento de qualidade de água (HENNING et al., 2014).

Sendo o processo de tratamento de água um processo de fluxo contínuo, espera-se que as características acerca da qualidade da água sejam contínuas. Logo, assumindo que as características seguem uma densidade de probabilidade, são estabelecidas faixas de valores com baixas probabilidades de ocorrência, de forma que se ocorrerem tais valores, considera-se que houve uma mudança no processo. O maior valor em que se considera “comum” ser observado na variável é denominado limite superior de controle (LSC) e o menor valor é chamado limite inferior de controle (LIC) (FERREIRA, OLIVEIRA, 2008). Comportamentos com tendência, ou seja, de não aleatoriedade, também é considerado um sinal de que houve mudança no processo (FERREIRA, OLIVEIRA, 2008; QIU, 2014).

Tais variáveis devem ser controladas, pois, por exemplo, o pH deve estar entre 6 e 9,5, para que a água seja considerada potável (SCURACCHIO, 2010), além disso, se o pH estiver fora de padrão, ele pode danificar as tubulações e danificar o sistema de abastecimento (COPASA, 2017 A).

O objetivo desse trabalho foi aplicar, para ambas as cidades de pequeno e grande porte, respectivamente Alfenas – MG e Belo Horizonte – MG, as cartas multivariadas e verificar se as variáveis controladas pela COPASA estariam dentro de controle estatístico. Sugerindo uma ferramenta à diretoria da COPASA para tomada de decisão em distribuição de recursos e atenção dentre as cidades, podendo utilizar essa ferramenta também como uma primeira investigação para possíveis melhorias de seus processos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nos relatórios anuais da COPASA sobre a qualidade da água, são informados variáveis verificadas pela empresa (COPASA, 2017 B). Tais parâmetros estão detalhados na seção de Material e Métodos, juntamente com os limites legais pela legislação, que para o controle estatístico de processo são chamados limites de especificação, que são valores

aceitos no processo (FERREIRA et al., 2011). Coliformes totais e *Escherichia coli* são considerados fora de padrão no mês se, em um sistema de abastecimento para menos de 20.000 habitantes, apresente mais de uma amostra positiva, ou em sistemas de abastecimento para mais de 20.000 habitantes apresente pelo menos 5% de presença (COPASA, 2017 B).

Uma forma simples para o responsável pela qualidade da água verificar se suas estações de tratamento de água (ETA) municipais estão em controle estatístico seria utilizando cartas de controle de Shewhart, que gráficos, com limites de controle e plotagens de dados observados. Neste trabalho, foram utilizadas observações individuais, considerando as proporções das variáveis fora de especificação, conforme mostra a Tabela 1 adaptada da COPASA (2017 B).

Utilizando-se cartas de controle, aplicadas em valores obtidos dos relatórios anuais da qualidade da água da COPASA (2017, B) referentes aos anos de 2012 a 2016, foram selecionadas duas cidades de diferentes portes, sendo a cidade grande Belo Horizonte, com população estimada de 2,5 milhões de habitantes, e uma pequena Alfenas, população estimada de 80 mil habitantes, segundo IBGE (2018). As variáveis controladas e seus limites de

controles encontram-se representados na Tabela 2.

**Tabela 1** – Proporções fora de especificações e valores aceitáveis para a variável “Coliformes Totais”, adaptado do relatório anual da COPASA (2017 B), referente ao ano de 2012, da cidade de Belo Horizonte **Variável: Coliformes Totais (NMP/100mL)**

Período – 2012	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	%	
N <sup>o</sup> Amostras	Mínimo exigido	619	619	619	619	619	619	619	619	619	619	619	96,61	
	Realizadas	735	638	738	652	770	716	689	748	693	738	735		707
	Fora de Padrões	15	7	40	7	12	8	1	1	5	6	9		8
	Dentro dos padrões	720	631	698	645	758	708	688	747	688	732	726		699
Percentual de Ausência	97,9	98,9	94,5	98,9	98,4	98,8	99,8	99,8	99,2	99,1	98,7	98,8		
Limites da Portaria 2914	N <sup>o</sup> amostras > 40, então 95% de ausência; N <sup>o</sup> amostras <= 40, então presença em até uma amostra.													

**Tabela 2** – Tabela de variáveis controladas pela COPASA, e limites de especificação conforme a portaria 2914/ Ministério da Saúde

Variável	Unidade	Limites
Cloro	mg/L Cl	0,2 à 2
Coliformes totais	NMP/100 mL	95% de aus.
Cor	UH	15
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	100% de aus.
Fluoreto	mg/L F	0,6 à 0,85
pH	-	6 à 9,5
Turbidez	UT	5

As sete variáveis utilizadas pela COPASA (cloro, coliforme totais, cor, *Escherichia coli*, fluoreto, pH e turbidez) foram analisadas para ambas as cidades. O número mínimo mensal de amostras realizadas em Alfenas é 16, para pH, fluoreto e cor, enquanto em Belo Horizonte é de 77 para o fluoreto. Todas as outras variáveis possuem mais observações que estes valores. Isto indica haver uma possibilidade da distribuição

das proporções das amostras fora dos padrões terem uma distribuição normal segundo o teorema central do limite apresentado na Equação 1 (ROSS, 2006; MAGALHÃES, 2006):

$$\frac{X_1 + \dots + X_n - n\mu}{\sigma\sqrt{n}} \rightarrow N(0,1), \quad n \rightarrow \infty, \quad (1)$$

ou seja, quer dizer que a média de número de itens defeituosos terá uma distribuição aproximadamente normal à medida que  $n \rightarrow \infty$ , pelo teorema de DeMoivre-Laplace (ROSS, 2006). Logo, a proporção de amostras fora de especificação ( $\hat{p}$ ) também terá distribuição normal em mesmas condições. Ou seja, como mostra a Equação 2:

$$\frac{p_1 + \dots + p_n - np}{\sqrt{np(1-p)}} \rightarrow N(0,1), \quad n \rightarrow \infty \quad (2).$$

Como a qualidade da água potável para seres humanos é verificada por

diversas variáveis, e elas são controladas continuamente nos processos de tratamento de água, então, um controle multivariado de processo pode ser realizado para se auxiliar a análise de quando alguma das variáveis de qualidade da água sair do controle estatístico. Em especial, como a diretoria da COPASA deve assegurar a qualidade todas as unidades, nem sempre se tem recursos e tempo para se acompanhar todas as unidades da mesma maneira, utilizando-se de cartas de controle de proporção para os indicadores dos relatórios mensais de proporções fora de controle, é uma maneira simples de realizar tal triagem e controlar as unidades.

Para estações de tratamento de água de cidades que estão começando a adotar o controle estatístico de qualidade, as cartas de controle de Shewhart podem ser aplicadas com facilidade e são relativamente sensíveis a grandes deslocamentos do sistema. Assim, eles podem ser selecionados para a fase I de controle estatístico de processo, que é quando o CEP está no começo, e não se conhece muito sobre as variáveis do processo, que provavelmente não estão sob controle estatístico. Logo, o objetivo da fase I é entender melhor o comportamento das variáveis que descrevem o processo e verificar se elas

estão em controle estatístico. Caso não estejam, são tomadas ações para que as causas de variação sistemática sejam removidas, e as variáveis que descrevem o processo estejam em controle estatístico (QIU, 2014).

Todas as variáveis em estudo possuem o número de amostras realizadas mensalmente e o número de amostras fora das especificações. Logo, sendo 60 o número de meses analisados, e  $i$  ( $1 \leq i \leq 60$ ) um mês genérico qualquer, a Equação 3, segundo Ribeiro Júnior (2013) pode-se fazer controle pela estimativa da proporção das amostras fora dos padrões do mês  $i$ :

$$p_i = \frac{y_i}{n}, \quad (3)$$

em que  $y_i$  é o número de amostras fora dos padrões no mês  $i$  e  $n$  é o número de amostras realizadas naquele mês. E o parâmetro  $\hat{p}$  da população é estimado pela Equação 4:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n}. \quad (4)$$

Segundo Ribeiro Júnior (2013), para  $n$  grande o suficiente, as estimativas dos parâmetros  $\mu_p$  e  $\sigma_p^2$  da população são dados pelas Equações 5 e 6:

$$\mu_p = p, \quad (5)$$

$$\sigma_p^2 = \frac{p(1-p)}{n}. \quad (6)$$

Assim, a linha central e os limites de controle para  $\mathbf{p}$  são dados pelas Equações 7, 8 e 9:

$$LIC_p = p - k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (7)$$

$$LM_p = p, \quad (8)$$

$$LSC_p = p + k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}. \quad (9)$$

Para os limites e linha de centro multivariados, como a quantidade de meses  $n$  é a mesma para todas as variáveis, o vetor de médias das proporções  $\mathbf{p}$ , é dado pela Equação 10:

$$\mathbf{p} = \mathbf{X}' \mathbf{1} \left( \frac{1}{n} \right), \quad (10)$$

onde  $\mathbf{X}$  é a matriz de  $n$  observações e  $\mathbf{p}$  variáveis, e o desvio-padrão é dado pela Equação 11:

$$\sigma_p = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\mathbf{p} \otimes (\mathbf{1} - \mathbf{p})}, \quad (11)$$

então, os vetores de limites de controle e linha central podem ser calculados pelas Equações 12, 13 e 14:

$$LIC = \mathbf{p} - \frac{k}{\sqrt{n}} \sqrt{\mathbf{p} \otimes (\mathbf{1} - \mathbf{p})}, \quad (12)$$

$$LM = \mathbf{p}, \quad (13)$$

$$LSC = \mathbf{p} + \frac{k}{\sqrt{n}} \sqrt{\mathbf{p} \otimes (\mathbf{1} - \mathbf{p})}, \quad (14)$$

em que  $LIC$ ,  $LM$  e  $LSC$  são os vetores com limites inferior de controle, médias e limites superior de controle da carta de controle multivariada.

Todas as operações matriciais para os limites de controle e construções dos gráficos foram realizadas no software R (CORE TEAM, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas duas últimas cartas da Figura 2, pode-se verificar o comportamento do pH e turbidez para Alfenas. O pH, no primeiro semestre de 2016, apresentou tendência linear positiva e turbidez apresenta pontos fora dos limites de controle. As cartas de controle para as demais variáveis e para ambas as cidades estão representadas nas Figuras 2, 3, 4, 5 e 6.

Variáveis que apresentaram uma crescente, ou seja, um sinal de que algo estava acontecendo no processo, poderiam ter sido controladas, por ações no sistema, com o auxílio das cartas de controle indicando a necessidade de ações corretivas para que não saiam dos limites de especificação.

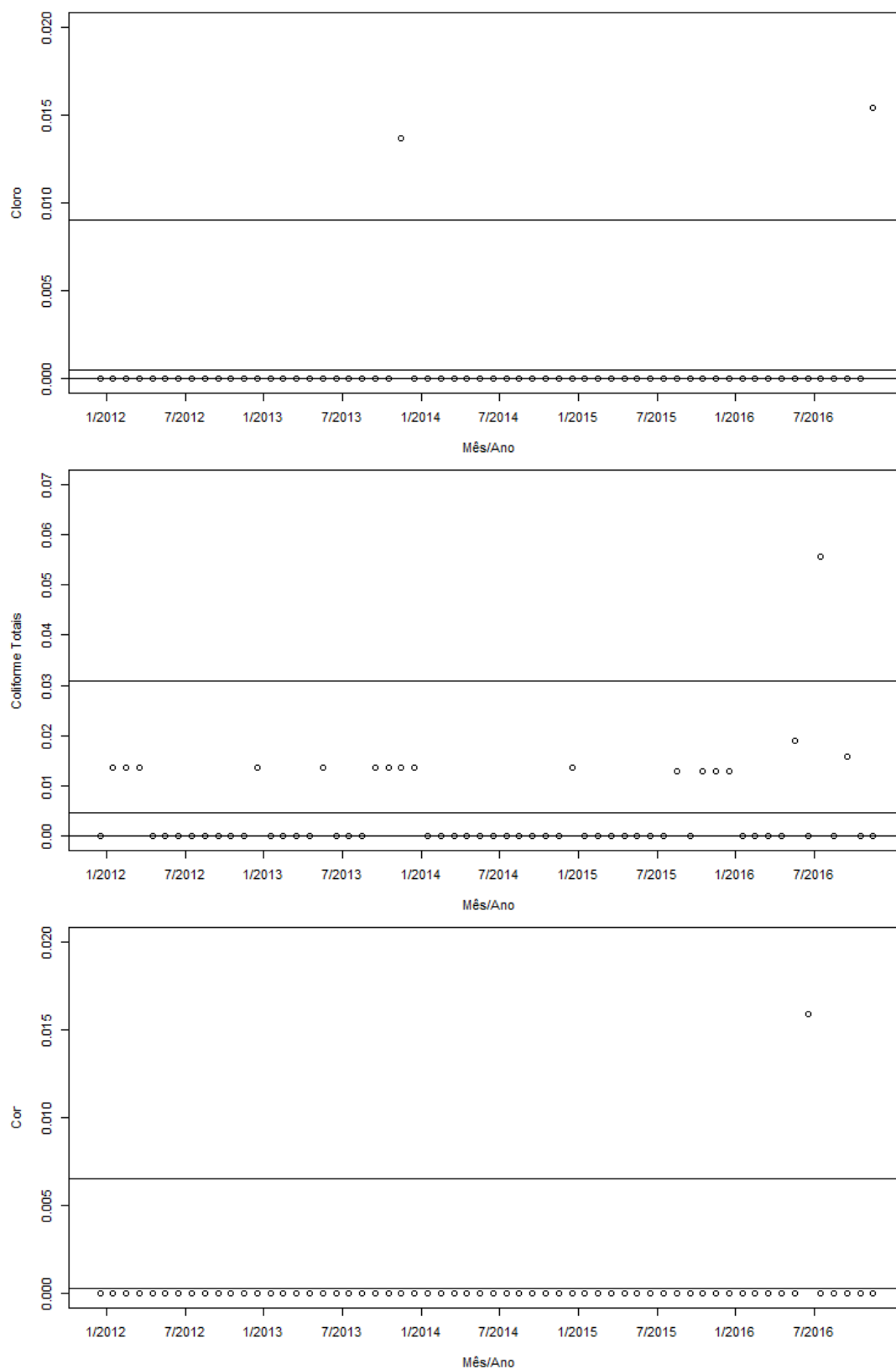
Para a cidade de Alfenas, verifica-se que o fluoreto, do final de 2014 ao início de 2015, começa a apresentar indícios de estar fora de controle, apresentando um aumento na proporção de amostras fora da especificação, até que em maio de 2015 apresentou o primeiro ponto fora dos limites de controle. O que

se repetiu em novembro e dezembro de 2015, e agosto de 2016. Nota-se que no intervalo entre dezembro de 2015 a agosto de 2016, os pontos não apresentam sinais de variação, mas há uma aparente relação de segundo grau, que pode ter sido causada por ações para corrigir o problema, ou algum fator do processo que está influenciando na variável. Em Belo Horizonte (Figuras 4, 5 e 6), pode-se verificar que durante o período observado, a variável apresenta comportamento aleatório, porém nos meses de fevereiro e março de 2016 há pontos fora de controle, sinalizando a necessidade de interferência no processo para entender as causas de estar fora de controle para corrigi-la. O controle dessa variável possui grande importância, pois em baixos níveis é ineficiente no combate às cáries, e em altos níveis pode causar fluorose dental (RAMIRES, et al., 2007). As proporções de amostras com pH fora da faixa aceitável em Belo Horizonte apresentaram valores fora dos limites de controle em agosto de 2012 e janeiro de 2013, indicando a necessidade de verificação dos fatores que influenciaram essa variável. Nos demais meses para a cidade não houve mais indícios de se estar fora de controle, mas Alfenas apresentou início de não aleatoriedade, apresentando uma

ascendência no primeiro semestre de 2016. Se valores de pH estiverem fora da faixa aceitável, ela não é considerada potável, além de danificar o sistema de abastecimento (COPASA, 2017 A, SCURACCHIO, 2010).

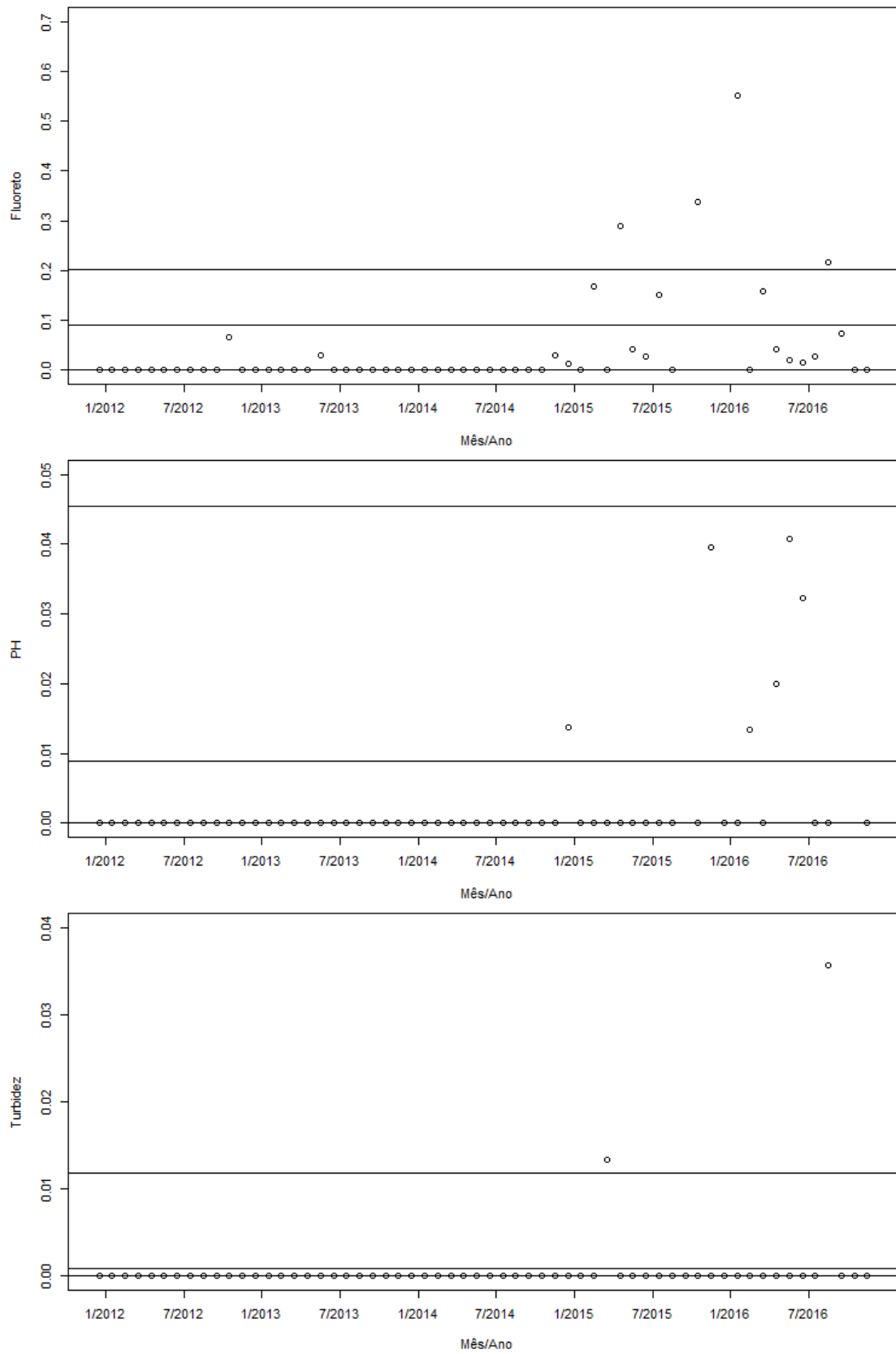
A proporção de turbidez apresentou dois pontos isolados fora de controle em abril de 2015 e setembro de 2016, indicando a necessidade de se entender as causas de estar fora de controle, para solucionar o problema para se reduzir as recorrências pelos mesmos motivos. A mesma variável para Belo Horizonte, apesar de não apresentar pontos fora dos limites de controle, apresenta um aumento de variabilidade a partir do primeiro semestre de 2014, o que vai de encontro a uma das definições de qualidade de Qiu (2014): redução da variabilidade. Pela análise da dispersão dos dados no gráfico, há um indício que a partir desse período, houveram mudanças no processo, que alterou sua variabilidade, logo, é necessário entender o porquê disso e verificar a possibilidade de se reduzir a sua variabilidade. Para isso, deve-se considerar duas cartas de controle, uma até 2013, e outra a partir de 2014, pois são dois processos diferentes, com variabilidades distintas (QIU, 2014).

**Figura 1** – Cartas de controle para a cidade de Alfenas, para as variáveis cloro, coliformes totais e cor

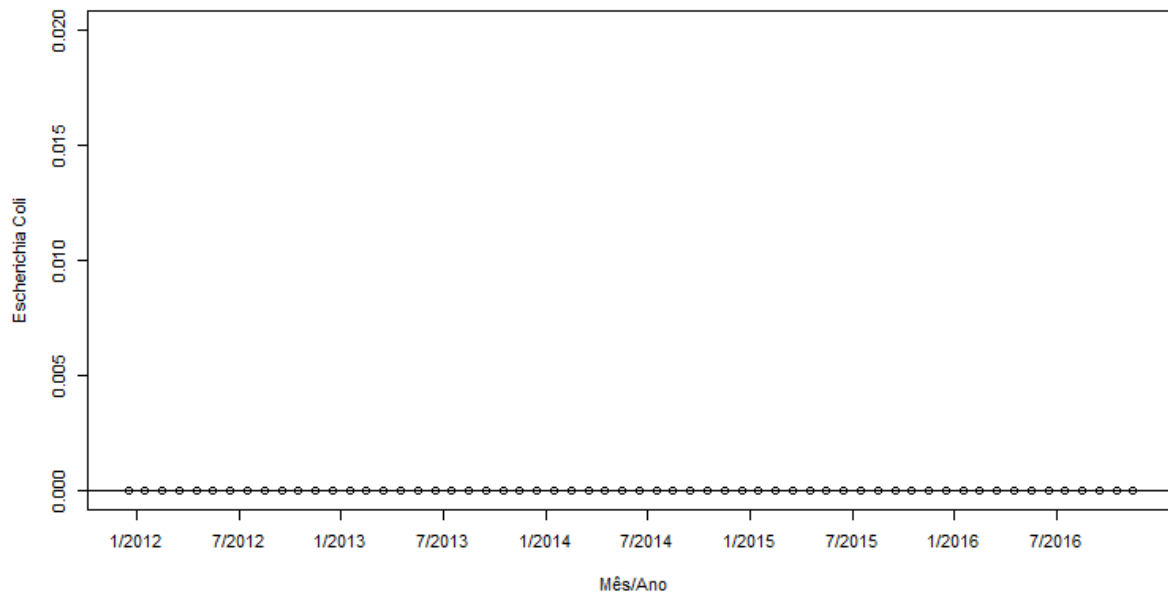




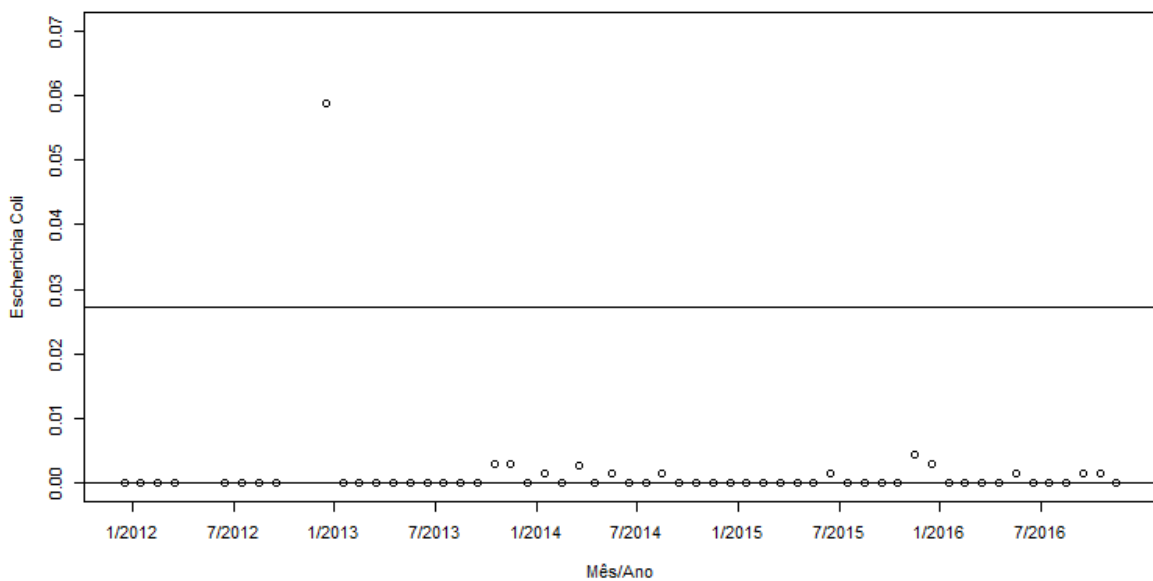
**Figura 2** – Cartas de controle para a cidade de Alfenas, para as variáveis fluoreto, pH e turbidez



**Figura 3** – Cartas de controle para a cidade de Alfenas para a variável *Escherichia coli*



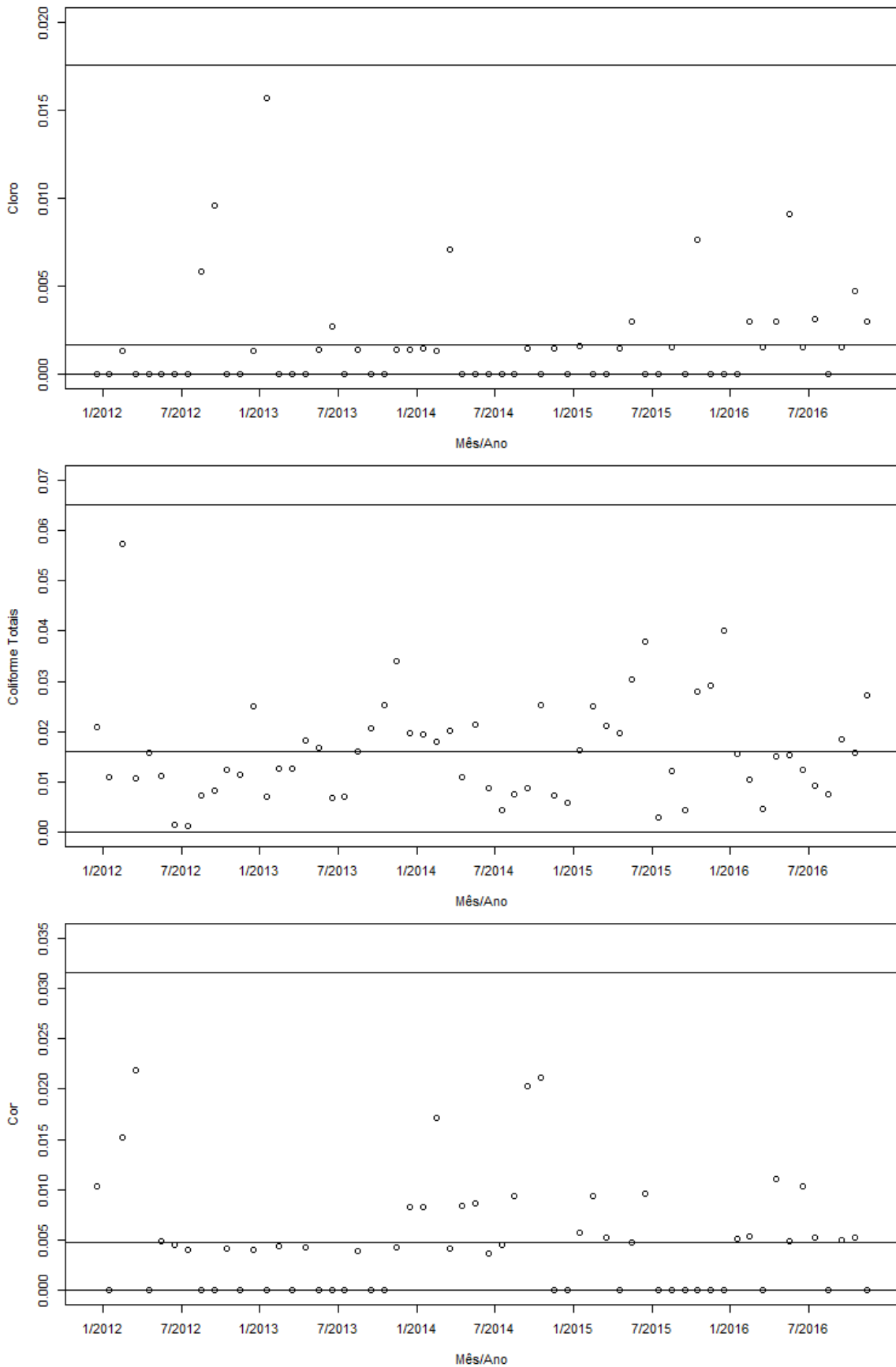
**Figura 4** – Cartas de controle para a cidade de Belo Horizonte para a variável *Escherichia coli*



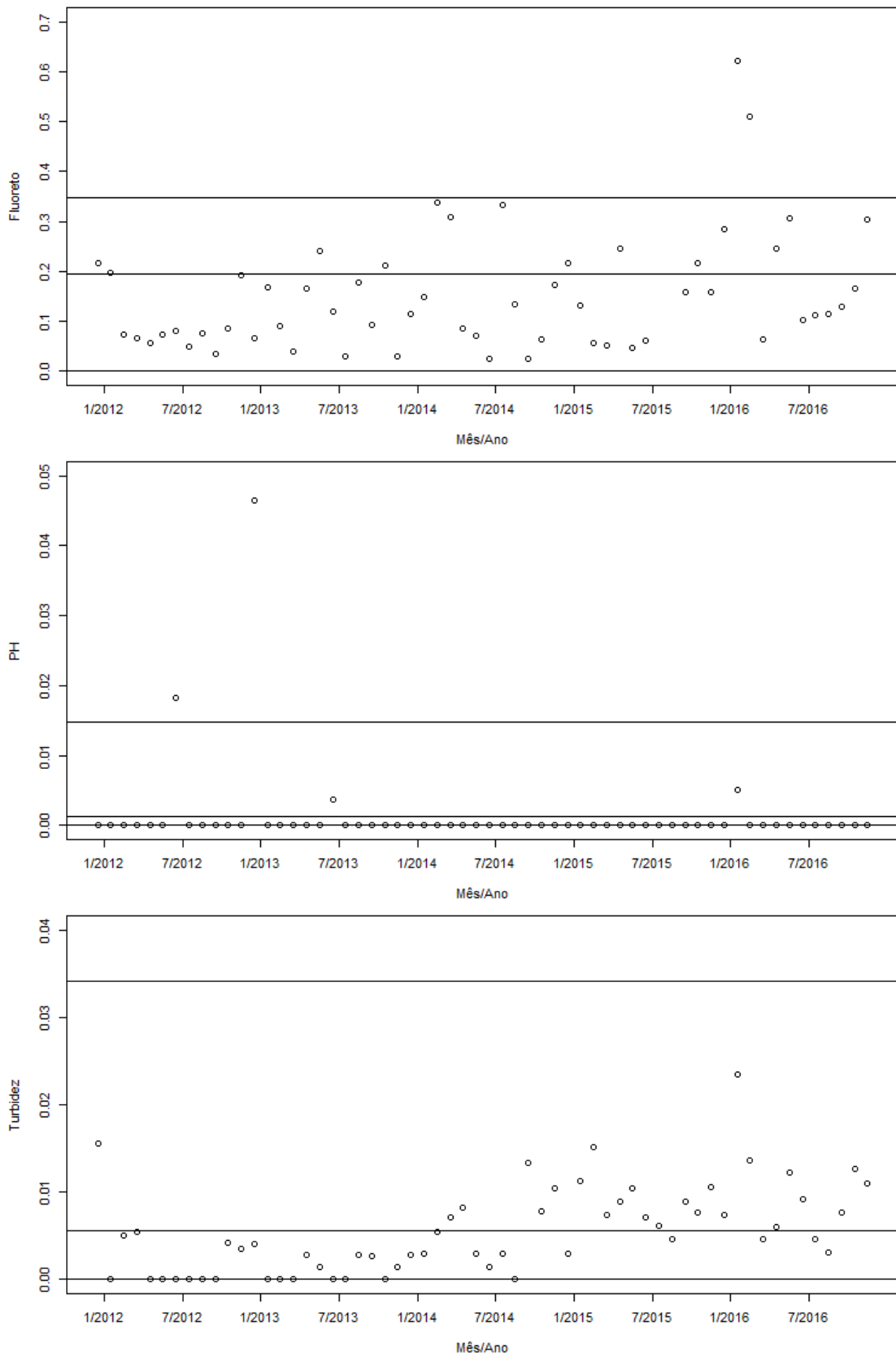
Alfenas apresentou as proporções de dezembro de 2013 e dezembro de 2016 fora de controle estatístico para as variáveis cloro, coliforme totais, cor, fluoreto, pH e turbidez. Belo horizonte não apresentou pontos fora dos limites de controle, nem aparência de não-

aleatoriedade. Porém, esses resultados não coincidem com os resultados verificados no gráfico de controle do pH, o que indica que o efeito de o pH estar fora de controle pode estar relacionado com a adição de cal, que é responsável pela estabilização do pH (COPASA, 2017 A).

**Figura 5** – Cartas de controle para a cidade de Belo Horizonte para as variáveis cloro, coliformes totais e cor



**Figura 6** – Cartas de controle para a cidade de Belo Horizonte para as variáveis fluoreto, pH e turbidez



As causas desses pontos encontrados fora dos limites de controle em Alfenas devem ser investigadas, pois o pH é essencial para eliminação de germes nocivos aos humanos, valores excessivos do pH da água podem causar danos já citados anteriormente.

Em julho de 2016, Alfenas apresentou proporção de coliformes totais fora de controle. Belo Horizonte não apresentou pontos fora dos limites de controle, nem sinais de não-aleatoriedade. Catão e Cebalhos (2001) mostram que coliformes totais, em alguns casos, são utilizados para verificação da qualidade de certos produtos, e a presença de certas espécies de coliformes colocam a vida de certas pessoas susceptíveis, como gestantes e crianças, em risco.

O gráfico da cor da água mostra, que em julho de 2016, a cor da água em Alfenas se mostrou fora de controle. A partir de 2014, nota-se mais um indicativo de que o processo de Belo Horizonte se alterou, apresentando uma maior variabilidade, e deve ser corrigido para que a melhorar a qualidade, como definida por Qiu (2014).

A quantidade de bactéria *Escherichia coli* não apresentou variabilidade para Alfenas no período avaliado, logo, não houve pontos fora de controle. Belo horizonte apresentou

janeiro de 2013 fora de controle. Esse fator, segundo Beloti et al. (2003), pode ser utilizado como indicativo da qualidade sanitária, sendo fácil a detecção da *Escherichia coli* na água.

Conforme Henning et al., 2014, as cartas de controle multivariadas podem ser utilizadas para o controle de qualidade de água para consumo humano, tanto em cidades pequenas, quanto para a cidades grandes. Essa ferramenta pode ser de grande valia para a direção da COPASA que deve ter de controlar várias unidades de tratamento, sendo atenção mais detalhada às que se apresentarem fora de controle estatístico para que medidas sejam tomadas para solucionar possíveis problemas.

## CONCLUSÕES

Pode-se verificar que as cartas de controle estatístico multivariadas por proporção são facilmente aplicadas em um controle macro de unidades de tratamento de água. Elas podem ser utilizadas tanto para solucionar problemas na qualidade encontrados pela unidade em início de implementação do CEP (fase I de controle) quanto para a diretoria da empresa que controla a qualidade da água. Essa ferramenta pode auxiliar no entendimento do funcionamento com base na qualidade de

suas unidades e seus processos. O responsável pela qualidade da água pode utilizar dessa ferramenta, como por exemplo, em processos de triagem para distribuição de recursos e atenção em suas unidades e processos.

Uma vez que as variáveis apresentaram, para ambas cidades, indícios de estarem fora de controle em intervalos de tempo diferentes, há indício de que não houve um período específico em que o processo estava fora de controle por completo. Logo, a utilização dessas cartas em tempo real, em conjunto com análises do processo de tratamento como um todo, e tomadas de ações, podem ser utilizadas para entender e corrigir o que está a ocorrer, eliminando as causas que fazem o processo sair de controle estatístico.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CAPES, CNPq e Unifal pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

BELOTI, V., et al. Evaluation of Petrifilm EC and HS for total coliforms and *Escherichia coli* enumeration in water. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.34., n.4, p.301-304, 2003.

BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de dez. de 2011. **Dispõe Sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e Seu Padrão de Potabilidade**, Brasília, DF.

CATÃO, R. M. R., CEBALLOS, B. S. O. *Listeria spp.*, coliformes totais e fecais e *E. coli* no leite cru e pasteurizado de uma indústria de laticínios, no Estado da Paraíba (Brasil). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p. 281-287, 2001.

COPASA, 2017 A. **Sistema Convencional de Abastecimento**. Acesso em: 13/12/2017. Disponível em: <[http://www.copasa.com.br/media2/PesquisaEscolar/COPASA\\_TratamentoDeAgua.pdf](http://www.copasa.com.br/media2/PesquisaEscolar/COPASA_TratamentoDeAgua.pdf)>

COPASA, 2017 B. **Relatório de Qualidade da Água**, (referentes aos anos de 2012 à 2016). Acesso em 11/12/2017. <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agencia-virtual/mais-servicos/agua-esgoto/relatorio-anual-de-qualidade-da-agua>>.

FERREIRA, E. B., et al. Controle Estatístico de Processo no Resfriamento de Aves: Um Estudo de Caso. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 9, n. 2, p. 119-128, 2011.

FERREIRA, E. B., OLIVEIRA, M. S. **Controle Estatístico da Qualidade**, 1Ed., UFLA/FAEPE, 2008.

HENNING, E., et al. Um Estudo Para a Aplicação de Gráficos de Controle Estatístico de Processo em Indicadores de Qualidade da Água Potável. **Sistemas & Gestão**, vol. 9, p. 2-13, 2014.

IBGE. **Conheça as cidades do Brasil**. Acesso em 16/01/2018. <<https://cidades.ibge.gov.br>>

MAGALHÃES, M. N. **Probabilidade e variáveis aleatórias**. Edusp, 2006.

MINAS GERAIS. Decreto nº 44.884, de 1º de set. de 2008. **Regulamento dos Serviços Públicos de Água e Esgoto Prestados Pela COPASA**, Belo Horizonte, MG.

QIU, P. **Introduction to Statistical Process Control**, Editora CRC, 2014.

R, Core Team. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2016.

<<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 13/09/2018.

RAMIRES, I. et al., Prevalence of Dental Fluorosis in Bauru, São Paulo, Brazil.

**Journal of Applied Oral Science**, v. 15, n. 2, p. 140-143, 2007.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Métodos estatísticos aplicados ao controle da qualidade**, Editora UFV, 2013.

ROSS, S. **A First course in probability**, Editora Pearson, 7 Ed., 2006.

SCURACCHIO, P. A. Qualidade da Água Utilizada para Consumo em Escolas no Município de São Carlos – SP.

**Dissertação** (Mestrado) – Pós Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Farmacêuticas – Campus de Araraquara. Araraquara/SP, 2010