



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO**  
**SUSTENTÁVEL**

**MÁRCIO NOLASCO VARGAS**

**AVALIAÇÃO DE RISCO BASEADA NA METODOLOGIA DO**  
**PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DA**  
**ETA DO MUNICÍPIO DE VIANA-ES E PONTOS DE**  
**CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA**

VITÓRIA-ES  
2019

**MÁRCIO NOLASCO VARGAS**

**AVALIAÇÃO DE RISCO BASEADA NA METODOLOGIA DO  
PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DA  
ETA DO MUNICÍPIO DE VIANA-ES E PONTOS DE  
CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edumar Ramos Cabral Coelho.

Coorientador: Prof.<sup>o</sup> Ph.D. Mario Rodrigues Peres.

VITÓRIA-ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

V297a Vargas, Márcio Nolasco, 1984-  
Avaliação de risco baseada na metodologia do plano de segurança da água: estudo de caso da ETA do município de Viana-ES e pontos de captação de água bruta / Márcio Nolasco Vargas. 2019.  
118 f.: il.

Orientadora: Edumar Ramos Cabral Coelho.

Coorientador: Mario Rodrigues Peres

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Avaliação de riscos. 2. Água – Captação. 3. Água - Estações de tratamento. 4. Água - Qualidade. 5. Controle de qualidade da água. I. Coelho, Edumar Ramos Cabral. II. Peres, Mario Rodrigues. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

---

**AVALIAÇÃO DE RISCO BASEADA NA METODOLOGIA DO PLANO DE  
SEGURANÇA DA ÁGUA: ESTUDO DE CASO DA ETA DO MUNICÍPIO DE VIANA-  
ES E PONTOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (modalidade profissional) da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável na área de concentração Sustentabilidade, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa Saneamento Ambiental e Saúde Pública.

Aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edumar Ramos Cabral Coelho  
Orientadora - PPGES / CT / UFES

---

Prof.<sup>o</sup> Ph.D. Mario Rodrigues Peres  
Coorientador - PPGES / CT / UFES

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fátima Maria Silva  
Examinadora Interna - PPGES / CT / UFES

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mariângela Dutra de Oliveira  
Examinadora Externa – IFES

À minha mãe, Maria de Lourdes, que nos momentos mais difíceis sempre manteve a serenidade e me incentivou a nunca desistir.

À minha esposa, Vera, pelo seu amor, apoio e compreensão.

Aos meus professores e amigos que sempre me apoiaram.

## **AGRADECIMENTOS**

A toda minha família, em especial a minha mãe, Maria de Lourdes Daumas Nolasco, e a minha esposa, Verenice Machado Lapa, pelo apoio, confiança, amor e incentivo que sempre me ofereceram. A minha irmã, Mariana Nolasco Vargas, que desde o início da minha vida acadêmica sempre esteve presente e apoiando todos os trabalhos escritos. Três mulheres muito importantes na minha vida.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edumar Ramos Cabral Coelho, por confiar e apoiar no desenvolvimento desta pesquisa e ao meu coorientador Prof. PhD Mario Rodrigues Peres por toda paciência e objetividade no compartilhamento do saber.

Aos membros da banca examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fátima Maria Silva e a Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariângela Dutra de Oliveira pelas críticas e sugestões oferecidas, visando sempre à melhoria da dissertação.

Aos colaboradores da empresa CESAN, em especial a gestora Nadja Lima Gorza, Juliana Guasti Lozer, Márcia Cristina M. C. Cardoso e Lorena Olinda Degasperi Rocha por todo apoio, disponibilização de horas de trabalho e por todo o comprometimento técnico aplicado nesta pesquisa.

Aos meus amigos e colegas do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (PPGES), em especial ao Walter Pereira Cossuol Neto e a Ludmila Costa de Aguiar companheiros inseparáveis desde o início da turma de 2017/2.

"A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,  
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo  
que todo mundo vê."

**Arthur Schopenhauer**

## RESUMO

VARGAS, M. N. **Avaliação de risco baseada na metodologia do plano de segurança da água: estudo de caso da ETA do município de Viana-ES e pontos de captação de água bruta.** Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, 2019.

A aplicação da avaliação de risco em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) conforme os princípios do Plano de Segurança da Água (PSA) está descrita na Portaria Nº 5/2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde (MS). Tal avaliação de risco visa garantir a segurança da qualidade da água potável para o consumo humano. Para tal, a Organização Mundial da Saúde (OMS) introduziu conceitos bases que ressaltam a importância da realização da avaliação de risco em todo o SAA, da captação até o consumidor final. A presente pesquisa de mestrado aborda um estudo de caso da Estação de Tratamento de Água (ETA) no município de Viana-ES, Brasil, e seus dois pontos de captação (Rio Santo Agostinho e Rio Formate). Foram realizadas duas avaliações de risco baseadas na metodologia de caracterização semi-quantitativa dos riscos. Na primeira avaliação, *checklists* foram aplicados para identificar possíveis eventos perigosos estruturais e em sequência o risco foram caracterizados. A segunda avaliação buscou caracterizar o risco de alguns parâmetros utilizados como indicadores de qualidades da água potável descrito na Portaria do MS Nº 5/2017 (Anexo XX), o qual também, foi realizado uma análise dos dados estatísticos da água potável no período de janeiro de 2015 até dezembro de 2018. Os indicadores estudados foram turbidez, cloro residual livre, íon fluoreto, Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), e subprodutos da desinfecção. A metodologia proposta baseou-se nas diretrizes apresentadas no *Manual de PSA - Gestão de risco passo a passo para fornecedores de água potável* da OMS e Associação Internacional da Água (AIA). Os resultados das classificações dos riscos foram consolidados em dois quadros, denominados de “painel de risco”. Os riscos da avaliação estrutural obtiveram grau de risco mais críticos do que os resultados da avaliação de riscos dos parâmetros de potabilidade. Entretanto, foi possível concluir que os riscos estruturais não afetam diretamente a qualidade da água na saída do tratamento. Visto que os riscos dos parâmetros foram baixos, com exceção de dois parâmetros caracterizados como risco médio (CT/*E.coli* e ácidos haloacéticos totais). Por fim, conclui-se que as diretrizes da OMS e AIA foram bastantes relevantes para a aplicação da metodologia de avaliação dos riscos e descrição da área de estudo.

**Palavras-chave:** Análise de Risco. Plano de Segurança da Água. Identificação de Perigos. Eventos perigosos. Controle da Qualidade da Água.



## ABSTRACT

VARGAS, M. N. **Risk assessment based on water safety plan methodology: ETA case study from Viana-ES and raw water catchment points.** Dissertation (Professional Master in Engineering and Sustainable Development) - Technological Center, Federal University of Espírito Santo - UFES, 2019.

The application of risk assessment in Water Supply Systems (WSS) according to the principles of the Water Safety Plan (WSP) is described in Ordinance N<sup>o</sup>. 5/2017, Annex XX, of the Ministry of Health (MH). Such a risk assessment aims to ensure the quality of drinking water for human consumption. To this end, the World Health Organization (WHO) introduced basic concepts that underline the importance of conducting risk assessment throughout the SAA, from capture to the final consumer. This master's research addresses a case study of the Water Treatment Plant (WTP) in the municipality of Viana-ES, Brazil, and its two collection points (Santo Agostinho river and Formate river). Two risk assessments were performed based on the semi-quantitative risk characterization methodology. In the first assessment, checklists were applied to identify possible structural hazardous events and the risk sequence was characterized. The second evaluation sought to characterize the risk of some parameters used as indicators of drinking water quality described in the Ordinance of MH N<sup>o</sup>. 5/2017 (Annex XX), which also carried out an analysis of drinking water statistical data in January. from 2015 to December 2018. The indicators studied were turbidity, free residual chlorine, fluoride ion, Total Coliforms (TC) and *Escherichia coli* (*E. coli*), and disinfection by-products. The proposed methodology was based on the guidelines presented in the WSP Manual - Step by Step Risk Management for WHO and International Water Association (IWA) drinking water providers. The results of the risk ratings were consolidated into two tables, called the "risk scoreboard". The structural assessment risks obtained more critical risk grades than the potability parameters risk assessment results. However, it was concluded that the structural risks do not directly affect the water quality at the treatment exit. Since the risks of the parameters were low, except for two parameters characterized as medium risk (TC/*E.coli* and total haloacetic acids). Finally, it is concluded that the WHO and IWA guidelines were quite relevant for the application of the risk assessment methodology and description of the study area.

**Keywords:** Risk analysis. Water Safety Plan. Hazards identification. Hazardous events. Water Quality Control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Técnicas usuais de tratamento de água para abastecimento público.....	24
Figura 2 – Macro etapas do PSA .....	38
Figura 3 – Etapas de desenvolvimento do PSA .....	39
Figura 4 – Entidades gestoras globais que colaboram com a Rede de Bona .....	41
Figura 5 - Número total de países com PSAs implementados (total de 40 países) ..	42
Figura 6 – Localização do município de Viana, da ETA e dos pontos de captação ..	47
Figura 7 – Percentual do volume total de água tratada que abastece ao município de Viana por ETAs.....	48
Figura 8 – Pontos de captação de água bruta (A - Rio Formate; B - Rio Santo Agostinho).....	49
Figura 9 – Vista geral da ETA do município de Viana .....	50
Figura 10 – Esquemático do sistema de abastecimento de água.....	50
Figura 11 – Etapas do tratamento de água da ETA de Viana.....	51
Figura 12 – Reservatórios da ETA Viana .....	52
Figura 13 – Exemplo da descrição do índice de referência do <i>checklist</i> .....	53
Figura 14 – Fluxograma de análise da média geométrica anual de <i>E. coli</i> para determinar limite da turbidez da água filtrada.....	62
Figura 15 – Fluxograma de análise da obrigatoriedade de monitoramento de cianotoxinas.....	63
Figura 16 – Diagrama de fluxo geral (pontos de captação e ETA) .....	66
Figura 17 – Diagrama de fluxo da ETA .....	67
Figura 18 – Ausência telas e gradeamento na captação do Rio Santo Agostinho ....	68
Figura 19 – Bomba reserva inoperante na captação do Rio Santo Agostinho.....	69
Figura 20 – Ausência da calha de dispersão do coagulante .....	69
Figura 21 – Chicanas do floculador deterioradas .....	70
Figura 22 – Ausência de agitador mecânico reserva para o tanque de diluição de Cal .....	70
Figura 23 – Escadas deterioradas no interior dos reservatórios de água tratada .....	71

Figura 24 – Ausência de gerador de energia elétrica na ETA .....	71
Figura 25 – Painel de riscos dos pontos de captação e da ETA.....	77
Figura 26 – Caminho resposta do fluxograma de determinação do limite de monitoramento e controle da turbidez na saída dos filtros em função da média geométrica anual de <i>E.coli</i> .....	78
Figura 27 – Caminho resposta do fluxograma de determinação da obrigatoriedade de monitoramento de cianotoxinas nos pontos de captação e na ETA. ....	79
Figura 28 – Painel de riscos dos parâmetros do padrão de potabilidade .....	79
Figura 29 – Exemplo de diagrama de fluxo da OMS .....	118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição das etapas do tratamento de água .....	25
Quadro 2 – Número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistemas de abastecimento considerando captação em manancial superficial.....	29
Quadro 3 – Padrão microbiológico da água .....	30
Quadro 4 – Padrão de turbidez da água pós-filtração e pré-desinfecção .....	31
Quadro 5 – Metas progressivas para atendimento ao padrão de turbidez para filtração rápida.....	31
Quadro 6 – Padrão de CRL e valores recomendados .....	32
Quadro 7 – Padrão de potabilidade para algumas substâncias químicas que representam risco à saúde.....	32
Quadro 8 - Lista de países que publicaram artigos científicos sobre PSA.....	43
Quadro 9 – Fluxograma metodológico .....	45
Quadro 10 – Matriz semi-quantitativa de classificação do grau de risco.....	55
Quadro 11 – Quantitativos de amostras por banco de dados.....	57
Quadro 12 – Planilha de classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Formate .....	73
Quadro 13 – Planilha de classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Santo Agostinho.....	74
Quadro 14 – Planilha de classificação dos riscos da ETA.....	75
Quadro 15 – Percentual de atendimento ao quantitativo de amostragem anual na saída do tratamento e de produtos secundários da desinfecção (TTHM e AHT).....	90
Quadro 16 – Percentual de atendimento ao padrão de potabilidade .....	92
Quadro 17 – Checklist aplicado no ponto de captação e na adução de água bruta do Rio Formate .....	101
Quadro 18 – Checklist aplicado no ponto de captação e na adução de água bruta do Rio Santo Agostinho .....	102
Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana.....	103
Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade	109

Quadro 21 – Dados estatísticos da água bruta - Rio Formate: análises do laboratório central no período de Jan/2015 a Dez/2018.....	114
Quadro 22 – Dados estatísticos da água bruta - Rio Santo Agostinho: análises do laboratório central no período de Jan/2015 a Dez/2018 .....	114
Quadro 23 – Dados estatísticos do laboratório ETA no período de Jan/2015 a Dez/2018 .....	115
Quadro 24 – Dados estatísticos do laboratório central e do laboratório externo (AHT e TTHM) no período de Jan/2015 a Dez/2018 .....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação dos padrões de potabilidade do Brasil, Estados Unidos, Canadá e diretriz da OMS para a água tratada .....	33
Tabela 2 – Classificação da probabilidade de ocorrência.....	54
Tabela 3 – Classificação da gravidade das consequências.....	54
Tabela 4 – Classificação da probabilidade de ocorrência dos parâmetros de potabilidade .....	60
Tabela 5 – Critérios de classificação da gravidade das consequências dos parâmetros de potabilidade analisados.....	64
Tabela 6 – Média geométrica anual de <i>E. coli</i> na água bruta coletada nos pontos de captação .....	80
Tabela 7 – Número de amostras da água tratada com presença de CT ou <i>E. coli</i> ...	88
Tabela 8 – Distribuição da frequência anual em função do VMP de AHT .....	88
Tabela 9 – Distribuição da frequência anual em função do VMP de TTHM.....	89

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Valores máximos anuais de cianobactérias por ponto de captação (de jan/2015 a dez/2018) .....	81
Gráfico 2 – <i>Boxplot</i> dos dados de (A) <i>E. coli</i> e (B) <i>cianobactérias</i> das análises do laboratório central nos pontos de captação de água (de jan/2015 a dez/2018) .....	81
Gráfico 3 – <i>Boxplot</i> dos dados de turbidez das análises do laboratório ETA (de jan/15 a dez/18) .....	82
Gráfico 4 – <i>Boxplot</i> dos dados de CRL e íon fluoreto das análises do laboratório ETA (de jan/15 a dez/18) .....	83
Gráfico 5 – <i>Boxplot</i> dos dados de turbidez, CRL e íon fluoreto das análises do laboratório central (de jan/15 a dez/18) .....	83
Gráfico 6 – Distribuição de frequência dos valores anuais da turbidez da água filtrada do laboratório ETA .....	84
Gráfico 7 – Distribuição de frequência dos valores anuais do CRL na água tratada .....	84
Gráfico 8 – Distribuição de frequência dos valores anuais do íon fluoreto na água tratada.....	85
Gráfico 9 – Valor mínimo mensal observado por ano de CRL na água tratada .....	86
Gráfico 10 – Valor máximo mensal observado por ano de CRL na água tratada .....	86
Gráfico 11 – Valor máximo mensal observado por ano da turbidez da água filtrada .....	87
Gráfico 12 – Valor máximo mensal observado por ano do íon fluoreto na água tratada .....	87
Gráfico 13 – <i>Boxplot</i> dos dados do laboratório externo (de jan/15 a dez/18).....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
AHT	Ácidos Haloacéticos Totais
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CRL	Cloro Residual Livre
CT	Coliformes Totais
<i>C.t</i>	Concentração de produto químico x tempo de contato
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ES	Espírito Santo
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAs	Estações de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índices de Coleta
ICOR	Índice de Cor
ICRL	Índice de Cloro Residual Livre
ICT	Índice de Coliformes Totais
IEC	Índice de <i>Escherichia coli</i>
IF	Índice de íon Fluoreto
IT	Índice de Turbidez
IFES	Instituto Federal do Espírito Santo
<i>IWA</i>	<i>International Water Association</i>
L.s <sup>-1</sup>	Litros por segundos
m	Metros



m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetros
mg.L <sup>-1</sup>	Miligramas por litro
MS	Ministério da Saúde
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial hidrogeniônico
PSA	Plano de Segurança da Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAC	Solução Alternativa Coletiva
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SUS	Sistema Único de Saúde
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TTHM	Trihalometanos Totais
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
uH	Unidade Hazen (mgPt-Co/L)
uT	Unidade de Turbidez
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da água para Consumo Humano
VMP	Valor Máximo Permitido
<i>WHO</i>	<i>World Health Organization</i>
<i>WSP</i>	<i>Water Safety Plan</i>
<i>WTP</i>	<i>Water Treatment Plant</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Segurança da qualidade da água</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>ETA e processos associados</b> .....	<b>24</b>
3.2.1	Etapas do tratamento de água para abastecimento público .....	24
<b>3.3</b>	<b>Qualidade da água para consumo humano</b> .....	<b>27</b>
3.3.1	Portaria do MS Nº 2.914/11 .....	27
3.3.2	Vigilância da Qualidade da Água (VIGIAGUA).....	28
3.3.3	Padrão de potabilidade .....	30
3.3.4	Portaria de Consolidação do MS Nº 5/17 .....	34
<b>3.4</b>	<b>Avaliação de risco</b> .....	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>PSA</b> .....	<b>37</b>
3.5.1	Avaliação do sistema .....	40
<b>3.6</b>	<b>Disseminação do PSA em escala global</b> .....	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Etapas preliminares</b> .....	<b>46</b>
4.1.1	Descrição geral da área de estudo .....	47
4.1.2	Descrição dos pontos de captação de água bruta e ETA Viana.....	48
<b>4.2</b>	<b>Identificação dos eventos perigosos</b> .....	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>Avaliação de risco estrutural</b> .....	<b>54</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise estatística dos dados</b> .....	<b>56</b>
4.4.1	Coleta e análise dos dados .....	56
4.4.2	Estatística descritiva .....	58
<b>4.5</b>	<b>Percentual de atendimento à Portaria do MS Nº 5/17</b> .....	<b>58</b>
<b>4.6</b>	<b>Avaliação de risco dos parâmetros de potabilidade</b> .....	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Diagrama de fluxo</b> .....	<b>65</b>
<b>5.2</b>	<b>Perigos e eventos perigosos (<i>checklist</i>)</b> .....	<b>68</b>

5.2.1	Ponto de captação .....	68
5.2.2	ETA Viana.....	69
<b>5.3</b>	<b>Classificação do grau de risco .....</b>	<b>72</b>
5.3.1	Checklist e registros fotográficos .....	72
5.3.2	Parâmetros do padrão de potabilidade .....	78
<b>5.4</b>	<b>Parâmetros de qualidade da água e análise estatística .....</b>	<b>80</b>
5.4.1	Dados da água bruta .....	80
5.4.2	Dados da água potável .....	82
<b>5.5</b>	<b>Atendimento à Portaria do MS N° 5/17 (Anexo XX).....</b>	<b>90</b>
5.5.1	Plano de amostragem .....	90
5.5.2	Padrão de potabilidade .....	91
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>114</b>
	<b>APÊNDICE F .....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>116</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>118</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A atual crise hídrica no Estado do Espírito Santo (ES) e a degradação dos mananciais, contribuem no sentido de piorar a qualidade da água captada para abastecer a população. Mapear os possíveis riscos existentes no Sistema de Abastecimento de Água (SAA), traz um melhor preparo para combater situações críticas ou condições adversas à saúde coletiva.

Algumas condições adversas, podem ser descritas como as contaminações nos mananciais devido a descarga de águas residuais e agrotóxicos. Bem como, valores elevados dos parâmetros utilizados como indicador de poluição no manancial (*Escherichia coli*, cianobactérias, entre outros). Já nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), alguns parâmetros como a ineficiência na desinfecção, a turbidez acima do padrão de potabilidade, produção acima da vazão de projeto e equipamentos com necessidade de manutenção ou até mesmo defeituosos, aumentam o risco de contaminação por agentes patógenos (MOREIRA; BONDELIND, 2017).

As metodologias convencionais utilizadas para gerenciar a qualidade da água, são estratégias com foco no atendimento de requisitos do padrão de potabilidade, que muitas vezes não garante o abastecimento seguro de água, pois quando os resultados das análises são obtidos, a população já consumiu a água produzida. Apesar de recentes avanços tecnológicos, os surtos de contaminação pela água têm persistido, o que pode ser resultantes de um conhecimento insuficiente dos possíveis riscos associados à produção de água para abastecimento público (DO NASCIMENTO et al., 2016; EFSTRATIOU; ONGERTH; KARANIS, 2017).

Desta forma, a produção de água segura para abastecimento público tem passado por uma revisão de paradigmas, seja pelos recentes estudos de contaminantes emergentes, ou até mesmo pelo reconhecimento das limitações das técnicas do controle laboratorial da qualidade. Tais mudanças de abordagem implicam no entendimento e na aceitação de que os métodos de avaliação e gerenciamento de risco, aplicados de modo abrangente e integrado, são uma forma efetiva de garantir a

segurança da qualidade da água para consumo humano (SUMMERILL; POLLARD; SMITH, 2010; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

Portanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda uma abordagem preventiva conforme os Planos de Segurança da Água (PSAs). Definido como um instrumento de avaliação e gestão de riscos em SAA, o PSA identifica os possíveis perigos e eventos perigosos, classificando-os em riscos potenciais, visando estabelecer medidas de controle para reduzir ou eliminá-los, promovendo assim, maior proteção à saúde pública (WHO, 2004).

A avaliação e gestão dos riscos nos moldes do PSA, devem ser estabelecidos não somente por necessidade de regulamentação, prevista na Portaria de consolidação do Ministério da Saúde (MS) Nº 5/2017, mas de forma a visar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são objetivos integrantes da agenda de sustentabilidade adotada por países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) e que devem ser cumpridos até 2030. Em especial o ODS número 6, que menciona “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” (ALCAMO, 2019; RONDÍ; SORLINI; COLLIVIGNARELLI, 2015).

Logo, a proposta deste projeto de pesquisa, objetivou realizar um estudo minucioso da Estação de Tratamento de Água (ETA), que abastece o município de Viana-ES, para identificar os perigos e eventos perigosos e, posteriormente, avaliar os riscos associados. Além disso, os dados de monitoramento da qualidade da água da ETA foram analisados para a identificação de possíveis falhas na frequência de amostragem, bem como, no atendimento ao padrão de potabilidade (qualidade da água produzida).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Realizar uma avaliação de risco nos pontos de captação de água bruta e na ETA do município de Viana-ES, com base nos princípios da metodologia do PSA e nos parâmetros de qualidade da água tratada da Portaria do MS N° 5/17 (Anexo XX).

### 2.2 Objetivos específicos

1. Elaborar o diagrama de fluxo dos pontos de captação até a ETA;
2. Aplicar *checklists* para identificar os eventos perigosos nos pontos de captação e na ETA visando uma avaliação estrutural;
3. Caracterizar o grau dos riscos dos pontos de captação e da ETA, com base na identificação do objetivo específico 2 e nos registros fotográficos em campo;
4. Determinar o percentual de atendimento ao plano mínimo de amostragem e o percentual de atendimento ao padrão de potabilidade (qualidade da água);
5. Caracterizar o grau dos riscos dos parâmetros de turbidez da água filtrada, cloro residual livre, coliformes totais e *Escherichia coli*, íon de fluoreto, ácidos haloacéticos totais e trihalometanos totais, com base nos limites estabelecidos pela Portaria do MS N° 5/17 (Anexo XX).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Segurança da qualidade da água

A garantia da qualidade, e conseqüentemente, a segurança da água para consumo humano vem passando por uma revisão de seus paradigmas, tornando evidente que apenas controle laboratorial, para verificar o atendimento ao padrão de potabilidade, é insuficiente para garantir a efetiva segurança da água para consumo humano. Neste sentido, as ferramentas de avaliação e gerenciamento dos riscos, denominadas PSA, constituem os instrumentos mais efetivos, pois utilizam uma abordagem que engloba a avaliação de todas as etapas do fornecimento de água, desde a captação até o consumidor (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009; DO NASCIMENTO et al., 2016; VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

De acordo com o MS, o controle da qualidade da água (controlados pela operadora do SAA), bem como a sua vigilância, são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde dos consumidores. Entretanto, somente a compreensão de que basta a concepção do projeto, implantação, operação e a manutenção adequada do SAA para que este esteja livre de riscos à saúde humana, já não se sustenta (BRASIL, 2006).

Existem fatores diversos que podem afetar a segurança dos SAA, por mais eficientes que estes sejam. Esses fatores, de variadas formas e imprevisíveis, podem expor os SAA aos riscos de uma qualidade indesejada da água produzida. Problemas operacionais e de manutenção, podem ser um dos fatores que resultam em uma distribuição de água fora dos padrões de qualidade. Algumas das situações operacionais indesejadas que podem ocorrer nas ETAs são (BRASIL, 2006):

- Coagulação incorreta;
- Produto químico inadequado;
- Lavagem ineficiente de filtros;
- Comprometimento do leito filtrante;
- Danos em equipamentos de manuseio de produtos químicos;

Contudo, não somente algumas situações operacionais indesejadas são suscetíveis de ocorrerem nos SAA, mas também algumas ETAs são construídas em locais distantes do abastecimento final ao consumidor, ou até mesmo localizadas em áreas rurais com logística complexa no abastecimento de produtos para o tratamento da água, a qual necessitam de uma gestão do SAA com maior planejamento e previsibilidade (BARRINGTON; FULLER; MCMILLAN, 2013; LANE; STODDART; GAGNON, 2017; STRING; LANTAGNE, 2016).

A gestão do SAA é uma tarefa que exige da companhia gestora, o desenvolvimento de procedimentos que confirmem confiança ao consumidor na água que lhe é fornecida. Para isso, é necessário garantir a qualidade (segurança em aspectos físicos, químicos, microbiológicos, radioativos e organolépticos), a quantidade (vazão de abastecimento) e a continuidade da prestação do serviço de produção e distribuição de água (ALMEIDA; VIEIRA; SMEETS, 2014; STABEN; NAHRSTEDT; MERKEL, 2015).

Em relação ao primeiro quesito, a qualidade, Vieira (2013) diz que a metodologia de controle de qualidade da água tratada é lenta, complexa e dispendiosa, apresenta sérias limitações, em especial no que diz respeito à qualidade microbiológica da água. Algumas dessas limitações estão relacionadas com:

- A pequena correlação entre microrganismos patogênicos e os organismos indicadores, geralmente indicados nas normas legais;
- A demora no conhecimento dos resultados analíticos que pode inviabilizar medidas de prevenção de situações acidentais;
- A limitada significância estatística dos resultados monitorados.

Assim, as metodologias de avaliação e gestão de riscos voltadas para o controle da qualidade da água, devem desenvolver ações para garantir a segurança da água consumida pela população, tais como a implementação do PSA. O PSA é um plano de avaliação e gerenciamento de riscos, utilizado para avaliar e identificar os pontos vulneráveis dos SAA. De forma geral, assegura a garantia da qualidade da água tratada (AGHAEI *et al.*, 2017).

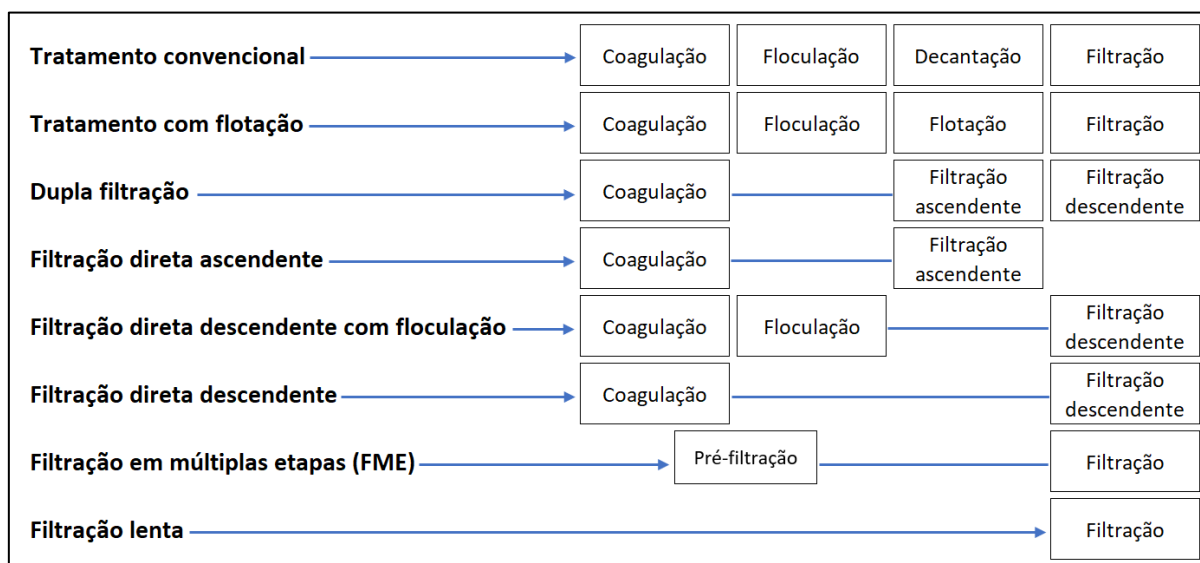


### 3.2 ETA e processos associados

As ETAs, consistem em uma parte do SAA, que têm a finalidade de tratar a água bruta para adequá-la aos padrões de potabilidade. As ETAs são dimensionadas com base no manancial onde ocorre a captação de água bruta, avaliando sua qualidade e o volume. Entre as técnicas empregadas no tratamento, destaca-se como mais usual no Brasil o tratamento convencional (ou ciclo completo) (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

Na Figura 1 pode-se observar as técnicas usuais de tratamento da água para abastecimento público. Na qual, não estão demonstradas o pré-tratamento, a correção de pH, fluoretação e desinfecção, pois são etapas comuns a todas as técnicas demonstrada na figura (HELLER; PÁDUA, 2010).

Figura 1 – Técnicas usuais de tratamento de água para abastecimento público



Fonte: adaptado de Heller; Pádua (2010).

#### 3.2.1 Etapas do tratamento de água para abastecimento público

Conforme mencionado no subcapítulo anterior, a ETA é a unidade operacional responsável para realizar o tratamento da água bruta. O tratamento da água tem o objetivo de adequar a água bruta aos padrões estabelecidos na Portaria do MS N° 2.914/11, com os menores custos de implantação, manutenção e operação possíveis.

A escolha da tecnologia mais adequada deve ser guiada pelos seguintes fatores: i) características da água bruta; ii) custos envolvidos; iii) manuseio e confiabilidade dos equipamentos; iv) flexibilidade operacional; v) localização geográfica e características da população (LIBÂNIO, 2017).

O Quadro 1 demonstra as principais etapas para a realização do tratamento convencional ou tratamento de ciclo completo com suas devidas descrições, bem como, os fatores que influenciam na eficiência de cada etapa de tratamento.

Quadro 1 – Descrição das etapas do tratamento de água

<b>Etapa do tratamento</b>	<b>Descrição da etapa</b>	<b>Fatores que influenciam na eficiência</b>
Coagulação	Desestabilização química das partículas contidas na água bruta, para posterior aglutinação e sedimentação.	Concentração e tamanho do material particulado; pH; temperatura; tipo, dosagem e mistura do coagulante.
Floculação	Processo fundamentalmente físico e consiste no transporte das espécies hidrolisadas, para que haja contato com as impurezas presentes na água, formando partículas maiores denominadas de flocos.	Eficiência da etapa anterior; intensidade da agitação; concentração e tamanho dos flocos.
Decantação	Processo físico, onde as impurezas que foram previamente aglutinadas em flocos, na etapa de floculação, são depositadas no fundo do tanque, formando um lodo, e por consequência atribuindo menor turbidez na água à força da gravidade.	Eficiência das etapas anteriores; tamanho e densidades dos flocos; Intensidade da agitação; velocidade de sedimentação.
Filtração	Pode envolver fenômenos físicos, químicos e até mesmo biológicos. Nesta etapa ocorre a remoção de partículas suspensas e coloidais dispersas na água, quando estas, escoam por um meio poroso.	Eficiência das etapas anteriores; tipo de leito filtrante; tamanho do material a ser filtrado; método de filtração.
Desinfecção	Destruição ou inativação de organismos patogênicos e outros indesejáveis, normalmente ocorre entre a etapa de filtração e reservação da água tratada. Alguns produtos desinfectantes são: o gás cloro e seus compostos (hipoclorito de sódio, cal clorada, cloraminas orgânicas), ozônio, dentre outros.	Tempo de contato com a água; método de desinfecção; características do desinfectante; microrganismos envolvidos.

(continuação)

Quadro 1 – Descrição das etapas do tratamento de água

(conclusão)

Etapa do tratamento	Descrição da etapa	Fatores que influenciam na eficiência
Ajuste de pH	No final do tratamento o pH da água poderá estar alcalino ou ácido, com isso tem-se a necessidade de ajustar o valor do pH. A adição de cal, carbonato sódico ou soda cáustica faz com que o pH aumente e os ácidos diminuem o valor do pH.	Alcalinidade ou acidez da água; pH; temperatura.
Fluoretação	Etapa onde é adicionado compostos de flúor à água filtrada, com intuito de prevenção às cáries dentárias. É um método eficaz e econômico para o controle da cárie dental.	Eficiência da etapa anterior (ajuste do pH) e temperatura.

Fonte: adaptado de Di Bernardo; Dantas; Voltan (2017); Heller; Pádua (2010); Pohlmann *et al.* (2015).

Conhecer as etapas de tratamento e os fatores que influenciam a eficiência do tratamento, é tão importante quanto, conhecer algumas definições e conceitos do tratamento da água. Neste trabalho, são adotadas algumas definições conceituais básicas, mas importantes para o entendimento do estudo apresentado. Algumas definições previstas na Portaria vigentes são (BRASIL, 2017):

- **água para consumo humano:** água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;
- **água potável:** água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido por normativa vigente e que não ofereça riscos à saúde;
- **água tratada:** água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade;
- **padrão de potabilidade:** conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido por normativa vigente.

As demais definições previstas na normativa vigente no Brasil, estão descritas no Anexo A.

### 3.3 Qualidade da água para consumo humano

#### 3.3.1 Portaria do MS Nº 2.914/11

A Portaria do MS Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Tal Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água (BRASIL, 2011).

Segundo Bensoussan *et al.* (2015), a previsão constitucional do princípio da prevenção, é abordada na Portaria do MS Nº 2.914/11, pois a mesma recomenda a necessidade do PSA conforme as diretrizes da OMS. Desta forma, o termo “água potável”, descrito na portaria, leva em consideração o atendimento ao padrão de potabilidade, o controle e vigilância da qualidade da água, bem como, recomenda que a água seja produzida e distribuída de forma segura sem de riscos à saúde humana.

O artigo 5º, da Portaria 2.914/11 define como controle e vigilância:

- Controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas pelo responsável do SAA ou da Solução Alternativa Coletiva (SAC), destinado a verificar se a água fornecida à população se encontra dentro do padrão de potabilidade vigente, de forma a assegurar a manutenção desta condição;
- Vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a Portaria do MS nº 2.914/11, avaliando se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana.

Na Seção IV da Portaria 2.914/11, no artigo 13, descreve as principais competências que os responsáveis pelo SAA ou SAC de abastecimento, devem obedecer. Entre elas, manter e controlar a qualidade da água conforme princípios do PSA.

Art. 13º. Compete ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano:

[...]

III - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, nos termos desta Portaria, por meio de:

[...]

e) na qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos Planos de Segurança da Água (PSA) recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) ou definidos em diretrizes vigentes no País; (BRASIL, 2011, Seção IV, Art. 13, Inciso III, Alínea e).

Assim, a Portaria 2.914/11, estabelece competências e responsabilidades para as Secretarias de Saúde e os responsáveis pelo SAA, de modo, a promover e acompanhar o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano, bem como, estabelecer as ações especificadas pelo Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA).

### *3.3.2 Vigilância da Qualidade da Água (VIGIAGUA)*

O programa VIGIAGUA consiste no conjunto contínuo de ações adotadas para garantir que a água distribuída para a população esteja dentro do padrão de potabilidade estabelecido na Portaria 2.914/11, abrangendo todo o SAA, desde a captação até o ponto de consumo, incluindo ETAs, reservatórios e a rede de distribuição (BRASIL, 2016).

O VIGIAGUA possui uma ferramenta de consolidação dos dados chamada de Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). O banco de dados construído com base na Portaria do MS nº 2.914/2011, que regulamenta a obrigatoriedade de uma periodicidade de amostragem e número mínimo de amostras, com objetivo auxiliar o gerenciamento de riscos à saúde associados à qualidade da água tratada, como parte integrante das ações de prevenção de agravos e de promoção da saúde, previstas no Sistema Único de Saúde (SUS) (BEVILACQUA et al., 2014; CARMO; BEVILACQUA; BASTOS, 2008).

O Quadro 2 apresenta o número mínimo de amostras na etapa final do tratamento (saída do tratamento), bem como nos reservatórios e redes, considerando a captação realizada em manancial superficial.

Quadro 2 – Número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistemas de abastecimento considerando captação em manancial superficial.

Parâmetro	Saída do Tratamento		Sistema de distribuição (reservatórios e redes)	
	Nº de amostras	Frequência	Nº de amostras	Frequência
			População abastecida	
			De 50 mil a 250 mil hab.	De 50 mil a 250 mil hab.
Cor	1	A cada 2 horas	1 para cada 5mil hab	Mensal
Turbidez, Cloro residual livre <sup>(1)</sup> , Cloraminas <sup>(1)</sup> , Dióxido de Cloro <sup>(1)</sup>			Conforme § 3º do art. 41	Conforme § 3º do art. 41
pH e fluoreto	1	A cada 2 horas	Dispensada a análise	Dispensada a análise
Gosto e odor	1	Trimestral		
Cianotoxinas	1	Semanal quando número de cianobactérias ≥ 20.000 células/mL		
Subprodutos da desinfecção	1	Trimestral	4 <sup>(2)</sup>	Trimestral
Demais parâmetros <sup>(3) (4)</sup>	1	Semestral	1 <sup>(5)</sup>	Semestral
Parâmetro	Número de amostras por ETA	Frequência	Número de amostras	Frequência
			20 mil a 250 mil hab.	
Coliformes totais <i>Escherichia Coli</i>	2 <sup>(6)</sup>	Semanal	30 + (1 para cada 2.000 hab.)	Mensal

NOTAS:

(1) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

(2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.

(3) A definição da periodicidade de amostragem para o quesito de radioatividade será definido após o inventário inicial, realizado semestralmente no período de 2 anos, respeitando a sazonalidade pluviométrica.

(4) Para agrotóxicos, observar o disposto no § 5º do art. 41 da Portaria do MS Nº 2.914/11.

(5) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas ao longo da distribuição.

(6) Recomenda-se a coleta de, no mínimo, quatro amostras semanais.

hab. - habitantes

Fonte: adaptado de Brasil (2011).

Assim, a Portaria do MS Nº 2.914/11, que é espelhada nas diretrizes da OMS, demonstra uma preocupação com a vigilância e o controle da qualidade da água para consumo humano, bem como, a necessidade de um gerenciamento preventivo sistemático dos parâmetros da qualidade da água. Além da frequência de amostragem, tais parâmetros devem estar adequados dentro do padrão de potabilidade que preconiza a portaria.

### 3.3.3 Padrão de potabilidade

O padrão de potabilidade da água constitui-se por valores mínimos e/ou máximos permitidos para cada parâmetro estabelecido na Portaria 2.914/11, desta forma, a água tratada e distribuída deve estar em conformidade com este padrão. Em relação aos Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*), a Portaria 2.914/11 em seu Anexo I define o Valor Máximo Permitido (VMP) no padrão microbiológico, conforme o Quadro 3 (BRASIL, 2011).

Quadro 3 – Padrão microbiológico da água

Parâmetro	VMP
Água para consumo humano	
<i>E. coli</i>	Ausência em 100 mL
Água Tratada (Saída do Tratamento)	
CT	Ausência em 100 mL

Fonte: adaptado de Brasil (2011).

Para o parâmetro da turbidez, a Portaria 2.914/11 determina os VMPs da água pós-filtração ou pré-desinfecção, conforme demonstrado no Quadro 4. Para a filtração rápida, o qual é abordado neste trabalho, os 5% das amostras que são maiores que 0,5 uT, não podem ultrapassar o limite de 1 uT, pois a portaria determina este valor de parâmetro máximo para os 5% restante da amostra (BRASIL, 2011).

Quadro 4 – Padrão de turbidez da água pós-filtração e pré-desinfecção

<b>Tratamento da Água</b>	<b>VMP</b>
Desinfecção (Águas subterrâneas)	1 uT em 95% das amostras
Filtração Rápida	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração Lenta	1 uT em 95% das amostras

Fonte: adaptado de Brasil (2011).

Entretanto, quando em vigor a portaria 2.914/11, a mesma estabeleceu o atendimento de metas progressivas ao padrão da turbidez, de forma a permitir que as empresas responsáveis pelo SAA pudessem adequar os seus sistemas de tratamento de água progressivamente ao padrão estabelecido. Assim, conforme é demonstrado no Quadro 5 o período e o percentual de atendimento ao VMP (BRASIL, 2011).

Quadro 5 – Metas progressivas para atendimento ao padrão de turbidez para filtração rápida

<b>Filtração rápida</b>		
<b>Período após a publicação da Portaria</b>	<b>Data vigente</b>	<b>Turbidez <math>\leq</math> 0,5 uT</b>
1° ano	de 12/12/2011 até 12/12/2012	Mínimo de 25 % das amostras mensais
2° anos	de 13/12/2012 até 12/12/2013	Mínimo de 50 % das amostras mensais
3° anos	de 13/12/2013 até 12/12/2014	Mínimo de 75 % das amostras mensais
4° anos	de 13/12/2014 até 12/12/2015	Mínimo de 95 % das amostras mensais

Fonte: adaptado de Brasil (2011).



Em termos de desinfecção da água por meio da cloração, o Anexo IV da Portaria 2914/11, indica a relação entre concentração de Cloro Residual Livre (CRL) na saída do tratamento e o tempo de contato do produto utilizado com a água ( $C.t$ ). Essa relação depende da temperatura média mensal da água tratada e do pH. Além da relação mencionada, a portaria estabelece o padrão para o CRL, determinando o valor mínimo e o VMP, bem como, os valores recomendados para este parâmetro conforme é demonstrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Padrão de CRL e valores recomendados

Concentração de CRL	Padrão de Potabilidade	Valores Recomendados
Mínima	0,2 mg/L	0,2 mg/L
Máxima (VMP)	5 mg/L	2 mg/L

Fonte: adaptado de Brasil (2011).

Ainda referentes aos padrões de potabilidade da Portaria 2.914/11, dentre os parâmetros estudados neste trabalho, para o íon fluoreto, os Ácidos Haloacéticos Totais (AHT) e o Trihalometanos Totais (TTHM) a portaria cita no seu Anexo VII, referente ao padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde os VMP conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Padrão de potabilidade para algumas substâncias químicas que representam risco à saúde

Parâmetro	VMP
Substância inorgânica	
Fluoreto	1,5 mg/L
Desinfetantes e Produtos Secundários da Desinfecção	
AHT	0,08 mg/L
TTHM	0,1 mg/L

Fonte: adaptado de Brasil (2011).

A concentração mínima e máxima de íon fluoreto recomendado na água tratada deve ser determinada de acordo com a Portaria nº 635/GM/MS (1976), que varia de acordo com a temperatura média das temperaturas máximas diárias para a cidade onde a ETA está localizada. Para o parâmetro de cor aparente, a portaria 2.914/11 cita em seu Anexo X o VMP de 15 uH referente ao padrão organoléptico de potabilidade (BRASIL, 2011).

Em resumo, a legislação brasileira normatizada pela Portaria do MS baseia-se nas diretrizes de normas estrangeiras, principalmente a OMS que é mencionada na própria portaria. A OMS é a autoridade internacional de coordenação em saúde da ONU desde abril de 1948. Outras normatizações internacionais que o Brasil se espelha são a da agência Canadense (*Health Canada*) e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S.EPA).

A Tabela 1 demonstra um resumo comparativo de alguns parâmetros dos padrões de potabilidade propostos para o Brasil, Estados Unidos, Canadá e a diretriz da OMS para a água tratada, na saída do tratamento (BRASIL, 2011; EPA, 2018; HEALTH CANADA, 2019; WHO, 2018).

Tabela 1 – Comparação dos padrões de potabilidade do Brasil, Estados Unidos, Canadá e diretriz da OMS para a água tratada

<b>Parâmetros</b>	<b>Brasil</b> Portaria do MS Nº 2.914/11	<b>Estados Unidos</b> (EPA, 2018)	<b>Canadá</b> (Health Canada, 2019)	<b>OMS</b> (WHO, 2018)
Turbidez da água filtrada	Máx. 1 uT e 95% < 0,5 uT no ano 2015 Máx. 0,5 uT no ano 2016 em diante	Máx. de 1,0 uT 95% < 0,3 uT	Máx. de 1,0 uT 95% < 0,3 uT	Máx. de 0,5 uT e média ≤ 0,2 uT
CRL (rede de distribuição)	Mín. 0,2 mg.L <sup>-1</sup> e Máx. 5 mg.L <sup>-1</sup> (a)	Máx. 4 mg.L <sup>-1</sup>	— (b)	Mín. 0,2 mg.L <sup>-1</sup> e Máx. 5 mg.L <sup>-1</sup> (a)
AHT	Máx. 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 0,06 mg.L <sup>-1</sup> <sub>1</sub>	Máx. 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 0,08 mg.L <sup>-1</sup>
TTHM	Máx. 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 0,08 mg.L <sup>-1</sup> <sub>1</sub>	Máx. 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Fluoreto	Máx. 1,5 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 2 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 1,5 mg.L <sup>-1</sup>	Máx. 1,5 mg.L <sup>-1</sup>

(continuação)

Tabela 1 – Comparação dos padrões de potabilidade do Brasil, Estados Unidos, Canadá e diretriz da OMS para a água tratada

(conclusão)

<b>Parâmetros</b>	<b>Brasil</b> Portaria do MS Nº 2.914/11	<b>Estados Unidos</b> (EPA, 2018)	<b>Canadá</b> (Health Canada, 2019)	<b>OMS</b> (WHO, 2018)
CT	Ausência em 100 mL	95% ausentes, para os SAA que coletam ≥ 40 amostras/mês  1 amostra positiva para SAA com < 40 amostras/mês	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
<i>E. coli</i>	Ausência em 100 mL	Ausência	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL

**Máx.** - Valor máximo permitido (VMP); **Mín.** - Valor mínimo.

(a) O valor máximo permitido para cloro residual livre é de 5 mg.L<sup>-1</sup>, no entanto, recomenda um teor máximo de 2 mg.L<sup>-1</sup> em qualquer ponto do sistema de abastecimento.

(b) Não há valor padrão. Recomenda manter entre 0,04 a 2 mg.L<sup>-1</sup> no sistema de distribuição.

Fonte: Brasil, 2011; EPA, 2018; Health Canada, 2019; WHO, 2018.

### 3.3.4 Portaria de Consolidação do MS Nº 5/17

No dia 03 de outubro de 2017, foi publicado no Diário Oficial da União (DOU) Nº 190 a Portaria 2.500, a qual, dispõe sobre a elaboração, a proposição, a tramitação e a consolidação de atos normativos no âmbito do MS. Tal consolidação, revogou a Portaria do MS nº 2.914/11, através de uma consolidação, conforme determinação da Lei Complementar nº 95 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998).

Devido tais alterações, previstas em Lei, foram criadas 06 (seis) Portarias de Consolidação. Destas seis, a Portaria de Consolidação Nº 5 do MS, consiste na consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do SUS.

Logo, a Portaria MS 2.914/11 foi revogada por completo e passa a ser o objeto legal de controle e vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade a Portaria de Consolidação Nº 5 do MS, na forma do Anexo XX. Em linhas gerais, não houve alteração no padrão de potabilidade, nos parâmetros de referência, nem mesmo nos textos que estavam descritos na portaria anterior. Assim, o Anexo XX em seu Art. 1º

diz que “Ficam definidos os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.” (BRASIL, 2017, Anexo XX, Art. 1º).

### **3.4 Avaliação de risco**

Uma abordagem preventiva de risco, aplicada no gerenciamento da qualidade da água, auxilia na garantia da segurança da água para consumo humano. O controle da qualidade microbiológica e química da água para consumo humano requer o desenvolvimento de planos de gestão de riscos. Esses, quando implementados, fornecem uma melhor proteção do sistema e o controle dos processos, garantindo que patógenos e substâncias químicas não representem risco à saúde pública, e que a água distribuída para a população esteja sob a gestão da segurança da qualidade (VICENTE et al., 2015; WHO, 2011).

A gestão de risco eficaz exige a determinação dos potenciais perigos e de suas fontes, bem como, avaliar os possíveis eventos perigosos que podem estar presentes no SAA. Após estes estabelecidos (perigos e eventos perigosos), os mesmos deverão ser avaliados quanto ao nível de risco que cada qual representa à saúde humana (DEERE; DAVISON, 2005; POST; THOMPSON; MCBEAN, 2017; WHO, 2011).

De acordo com Brasil (2006), devem ser ressaltados, na definição de risco, os termos incerto e indesejável. Assim, a água tratada, pode acarretar a efeitos incertos sobre a saúde do usuário, alguns deles benéficos e outros nocivos, logo indesejáveis. Dessa forma, as avaliações de risco buscam mitigar a probabilidade de ocorrência dos efeitos indesejáveis, para a saúde humana no SAA. Nesse contexto:

- Perigo: agente físico, químico ou biológico com potencial de provocar danos à saúde humana;
- Evento perigoso: situação ou ato que pode levar à exposição ao perigo;
- Risco: é o produto entre a probabilidade de ocorrência dos perigos identificados vezes a gravidade das consequências de causar danos à saúde da população exposta.

É importante distinguir o termo risco do termo perigo. O risco está associado à probabilidade de ocorrência de um evento indesejado, já o perigo é uma característica intrínseca de uma substância, de uma fonte, de um agente ou de uma situação/ato. Desta forma, a presença de organismos patogênicos ou substâncias químicas na água seriam exemplos de perigo. O consumo da água contaminada, seria a exposição, que pode levar à ocorrência de efeitos adversos para a população consumidora, significando o risco, o qual pode ser quantificado e expresso em termos numéricos, denominado de grau de risco (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009).

De acordo com Godfrey e Howard (2005), numa perspectiva geral, a avaliação de risco pode ser descrita em 3 tipos:

- a) **Avaliação qualitativa** – o risco é avaliado qualitativamente quanto a sua probabilidade de ocorrência e o impacto que o perigo ou evento perigoso pode causar à saúde humana. Normalmente é aplicado esta metodologia em SAA ou SAC com pouca informação, sem monitoramento dos parâmetros de qualidade ou sem dados de ocorrência dos perigos ou eventos perigosos. Segundo Ramona (2011), os resultados obtidos são subjetivos, uma vez que eles dependem da perspectiva do avaliador e da interpretação intuitiva da equipe participante da avaliação.
- b) **Avaliação semi-quantitativa** – o risco é estimado, utilizando métodos de caracterização e classificação do risco. Ainda pode haver subjetividade neste tipo de avaliação de risco, principalmente na adoção das escalas de classificação. No entanto, os cálculos utilizados são de simples entendimento e implementação. Assim o processo permite maior dedução na tomada de decisão (GODFREY; HOWARD, 2005; WHO, 2011).
- c) **Avaliação quantitativa** – o risco é numericamente avaliado quanto o efeito do perigo ou evento perigoso à saúde humana. Normalmente baseado numa modelagem matemática, trata-se de um método mais complexo. No abastecimento de água é muito utilizado em relação ao risco microbiológico, conhecido como Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) (DE MAN et al., 2014; DEERE; DAVISON, 2005; HASS; ROSE; GERBA, 1999; SUNGER; HAAS, 2015).

O desenvolvimento e a adaptação de ferramentas metodológicas de avaliação e gerenciamento de riscos à saúde, associados aos SAA, desde a captação até o consumidor, facilita a implementação dos princípios de múltiplas barreiras, boas práticas no setor do saneamento e gerenciamento de riscos, inseridos na portaria do MS sobre potabilidade da água para consumo humano – Portaria do MS Nº 5/2017. Tais ferramentas são denominadas pela OMS como PSA (BRASIL, 2012).

### **3.5 PSA**

O PSA é uma metodologia de avaliação e gerenciamento de riscos à saúde, associados aos SAA e SAC, que aborda desde a captação da água, passando pela ETA e sistema de distribuição até o ponto de consumo, visando estabelecer medidas de controle para reduzir ou mitigar os riscos à saúde, para garantir a segurança da água para consumo humano (WHO, 2011).

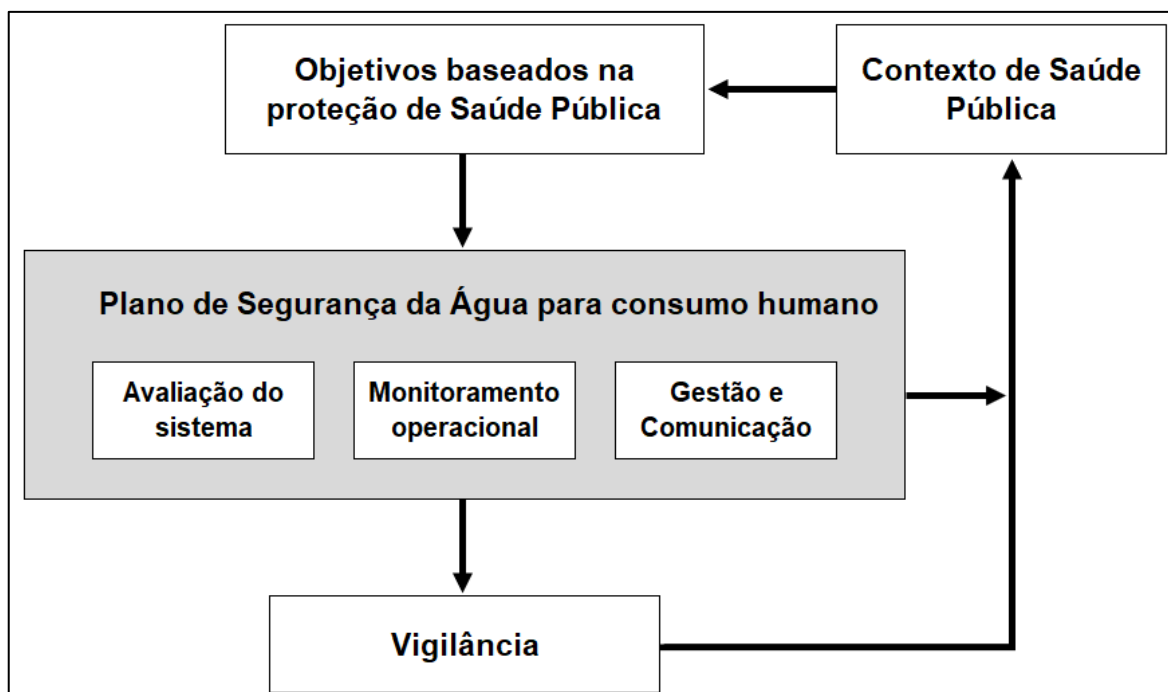
O PSA deve ter a finalidade e visão voltados para a saúde pública, tornando-se necessário que haja regularmente uma verificação de todos os elementos que o constituem, sua eficácia e conformidade, objetivando a garantia de segurança da água a ser consumida (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Os três elementos macro do PSA, que são normalmente desenvolvidos de forma sequencial e integrada é a avaliação de risco, o gerenciamento de risco e a gestão e comunicação de risco, cada um possui um papel distinto. Entretanto, tais elementos de forma conjunta são utilizados na tomada de decisão para prevenir e controlar os riscos (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009).

A prevenção e controle dos riscos devem ser comumente incorporados no dia-a-dia das companhias de tratamento de água. Entretanto, as companhias estão envolvidas com problemas cotidianos, de modo a solucionar desafios como vazamentos na rede de distribuição e atender a demanda crescente por água potável, fazendo com que o planejamento de longo prazo, como por exemplo a gestão dos riscos, fique em segundo plano (PARKER; SUMMERILL, 2013).

Vieira e Moraes (2005) conceituam que a segurança no abastecimento de água para consumo humano é conseguida de forma efetiva, quando aplicado processo de gestão de riscos aos SAA e SAC baseados nas diretrizes da OMS, de forma a implementar um PSA mais confiável. A Figura 2 demonstra as principais macro etapas de um PSA.

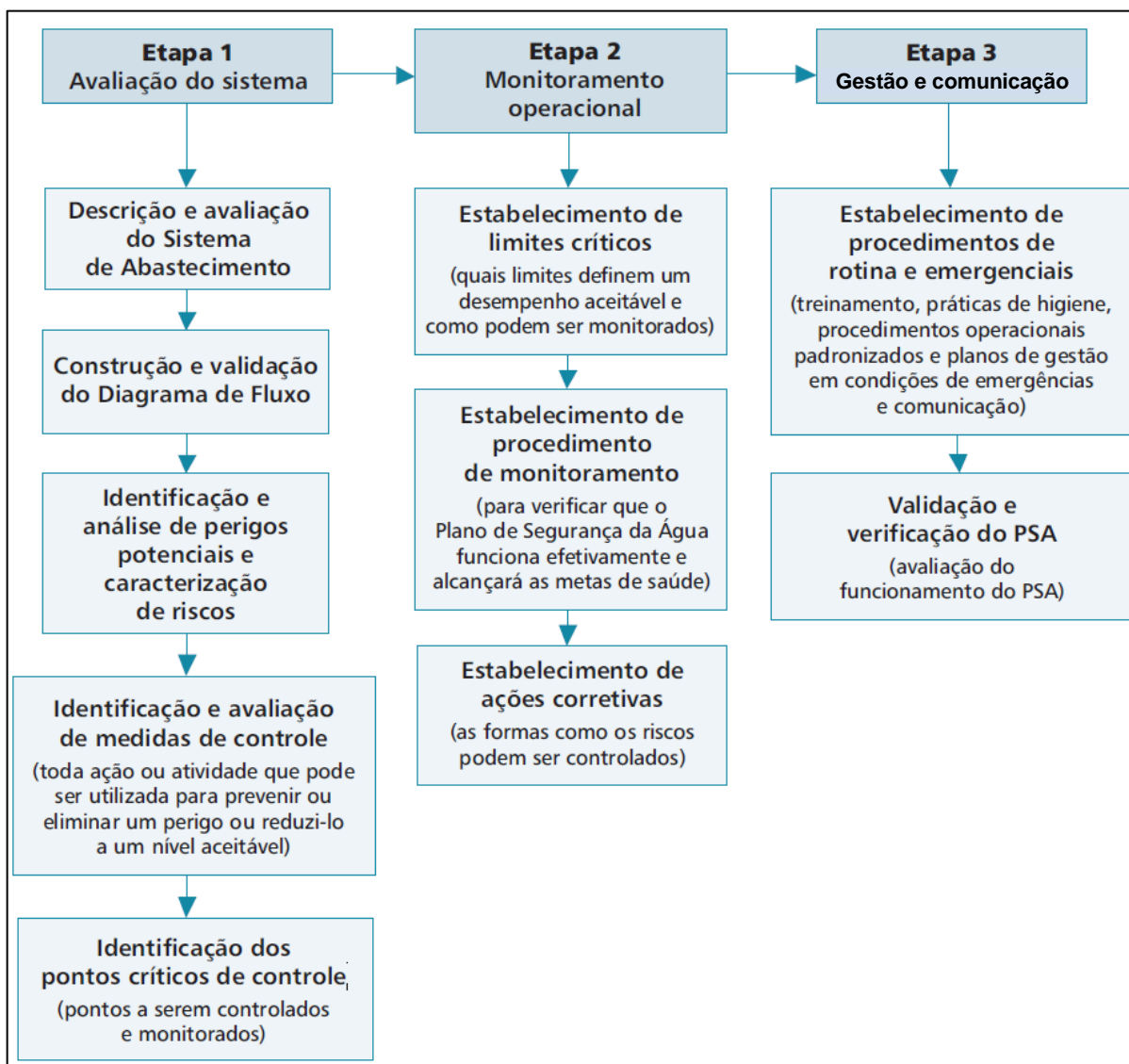
Figura 2 – Macro etapas do PSA



Fonte: adaptado de WHO (2011).

A Figura 3 demonstra as três etapas macros detalhadas. Na primeira coluna demonstrada na figura (etapa 1) estão descritas as etapas de avaliação dos sistemas, as quais contemplam as avaliações de riscos que devem ser realizadas para a implementação e desenvolvimento do PSA.

Figura 3 – Etapas de desenvolvimento do PSA



Fonte: adaptado de Brasil (2012); WHO (2011).

Todas as etapas do PSA, devem ter o envolvimento de diversos setores da companhia. A orientação e conscientização dos principais gestores é fundamental para o provimento de informações sobre como a água deve ser gerenciada para manter a segurança da qualidade (MUDAU; MUKHOLA; HUNTER, 2017).

Desta forma, a alta gestão da companhia tem papel fundamental que visa prover a motivação e o empenho dos seus colaboradores e, subsequentemente, difundir a cultura de gestão de risco, bem como, proporcionar recursos financeiros e humanos necessários para que o PSA seja implementado com sucesso (OMAR *et al.*, 2017).



De forma geral, vários benefícios podem ser observados na implementação do PSA em um SAA. Para o gestor se torna uma ferramenta importante com uma perspectiva de atenção operacional e de gestão de riscos. Assim, os riscos que nunca ocorreram podem ser avaliados, além da possibilidade de desenvolver procedimentos de gestão de risco específicos. Logo, pontos críticos são identificados no SAA e medidas de controle serão propostas para melhorar a qualidade da água (SORLINI *et al.*, 2017) .

### 3.5.1 Avaliação do sistema

A avaliação do sistema deve partir de um diagnóstico detalhado de todo o SAA, desde o ponto de captação até o consumidor, e tem por objetivo verificar se o sistema pode garantir o tratamento e o fornecimento de uma água segura. Como primeira etapa no desenvolvimento do PSA, deve-se coletar e avaliar todas as informações relevantes disponíveis, estando atento, aos riscos que os SAA podem conter (WHO, 2011).

A implementação dos PSAs tem-se disseminado globalmente, mostrando-se como um meio eficaz de gestão e avaliação de riscos, garantindo consistentemente, a segurança de um abastecimento de água potável. A experiências com a implementação dos PSA em países desenvolvidos, como também em países com recursos limitados, demonstra a eficácia do modelo como uma boa prática para gerenciar o SAA e avaliar os possíveis riscos (AMJAD *et al.*, 2016; COLLIVIGNARELLI, 2017; KAYAGA, 2013).

## 3.6 Disseminação do PSA em escala global

Nos últimos dez anos, numa escala global, têm sido relatadas, de forma geral, experiências de sucesso na implementação de PSA, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Neste contexto, a constituição de redes colaborativas assume uma relevância especial, uma vez que estas redes proporcionam contatos e trocas de experiências que estimulam a implementação do PSA (BENSOUSSAN *et al.*, 2015; HAYES *et al.*, 2016).

Em 2007, a Associação Internacional da Água (AIA) (em inglês, *IWA - International Water Association*), lançou a “Rede de Bona” (*Bonn Network*), uma rede de entidades gestoras de SAA que adotaram a Carta de Bona (de 2004), e se comprometeram a colaborar no sentido de promoverem os princípios básicos do abastecimento de água potável segura.

Os trabalhos desenvolvidos pela Rede de Bona, foram centrados prioritariamente no desenvolvimento de ferramentas tecnológicas desenhadas para a implementação dos PSAs. Foram envolvidas diversas entidades gestoras de SAA pelo mundo, com intuito de trocar conhecimento e um apoio entre seus membros no desenvolvimento e compartilhamento de ferramentas para a gestão da qualidade da água. A Figura 4, demonstra as 15 “entidades gestoras fundadoras da rede”, as quais são pertencentes a 13 países, distribuídas pelos cinco continentes (BENSOUSSAN *et al.*, 2015).

Figura 4 – Entidades gestoras globais que colaboram com a Rede de Bona



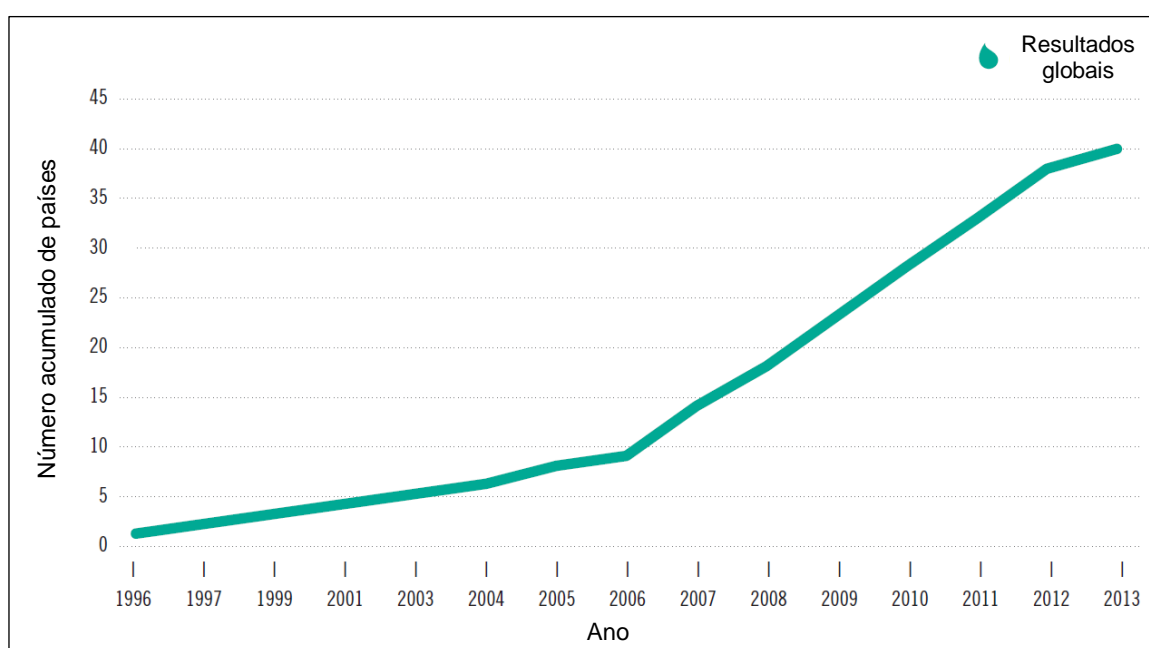
Fonte: adaptado de Bensoussan *et al.* (2015).

Desde que os PSAs foram introduzidos na terceira edição das Diretrizes da OMS e na Carta de Bona da AIA, ambos em 2004, um número crescente de companhias de tratamento de água, governos e outras partes interessadas adotaram tal abordagem. A OMS e a IWA publicaram um relatório sobre o status global dos PSAs, o qual

apresenta informações de 118 países com abordagens equivalentes de gerenciamento de riscos que podem ter outros nomes, mas que aplicam os mesmos princípios (WHO; IWA, 2017).

A Figura 5 demonstra que no ano 2013, 40 países já estavam implementando o PSA em seus SAA, na mesma figura pode-se observar também o acentuado aumento de implementação dos PSAs após o de 2004 (WHO; IWA, 2017).

Figura 5 - Número total de países com PSAs implementados (total de 40 países)



Fonte: WHO; IWA (2017).

De acordo com Baum e Bartram (2017), alguns países desenvolvidos (PDs) obtiveram sucessos na melhoria da segurança da água potável, através da implementação de PSAs, entretanto alguns PDs têm pouca experiência. Os países desenvolvidos, de certa forma, contribuem para aumentar a aceitação e a extensão dos PSAs para os países em desenvolvimento, ajudando a empregar mundial o conceito de segurança da água, e conseqüentemente, a melhora na saúde pública destes países.

De forma a contribuir com o estado da arte sobre a implementação dos PSAs em escala global, o presente trabalho traz no Quadro 8 uma revisão dos países que implementaram uma abordagem do PSA ou equivalente a uma avaliação de risco com publicados em revistas ou artigos científicos.

Quadro 8 - Lista de países que publicaram artigos científicos sobre PSA

País	Referências	Local de aplicação	Quantidade de etapas e/ou avaliação de risco utilizada
Nepal	Barrington; Fuller; McMilan (2013)	3 projetos piloto (zona rural)	10 etapas
Índia	Bartak <i>et al.</i> (2015)	Filtração margem do rio (manancial)	4 etapas
Canadá	Bereskie; Rodriguez; Sadiq (2017)	Método de avaliação dos PSAs	4 etapas (ciclo PDCA)
Portugal	Carneiro; Damião; Benoliel (2015)	Manancial e ETA	Matriz de risco (WHO; IWA, 2009)
Região do Pacífico	Chang; Chong; Bartram (2013)	Método de avaliação dos PSAs	Modelo de avaliação dos PSAs
Brasil	Do Nascimento <i>et al.</i> (2016)	SAA	Análise de modo e efeito de falha (FMEA)
Região do Ártico	Lane; Stoddart; Gagnon (2017)	Comparação de jurisdição	Avaliação das normas legais no Ártico
Filipinas	Magtibay (2017)	Método de avaliação dos PSAs	Modelo de índice de avaliação
Índia	Nijhawan <i>et al.</i> (2014)	SAA	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC); WHO e IWA (2009)
Colômbia	Vidal; Lozada; Rivera (2016)	Manancial	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)
Colômbia	Vidal <i>et al.</i> (2018)	ETA	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC)
Canadá	Petterson; Ashbolt (2016)	SAA	Modelo da companhia de Alberta
Canadá	Reid <i>et al.</i> (2014)	SAA	Modelo da companhia de Alberta
Argentina	Seghezzo <i>et al.</i> (2013)	SAA	11 etapas
Itália	Sorlini <i>et al.</i> (2017)	3 ETAs	Matriz de risco (WHO; IWA, 2009)
Brasil	Ventura; Vaz Filho; Nascimento (2019)	ETA	Matriz de risco (WHO; IWA, 2009)
China	Ye <i>et al.</i> (2015)	2 ETAs	Matriz de risco (WHO; IWA, 2009)

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

## 4 METODOLOGIA

A presente pesquisa foi estruturada com base nas diretrizes da OMS que conceituam os PSAs. A metodologia desenvolvida orientou-se nas diretrizes da WHO (2011) e nas diretrizes do Brasil (2012), que por sua vez, baseia-se também nas recomendações da OMS. Por isso, o desenvolvimento metodológico da pesquisa teve como pilares as duas referências supramencionadas, bem como, o *Manual de Plano da Segurança da Água - Gestão de risco passo a passo para fornecedores de água potável da WHO e IWA* (2009).


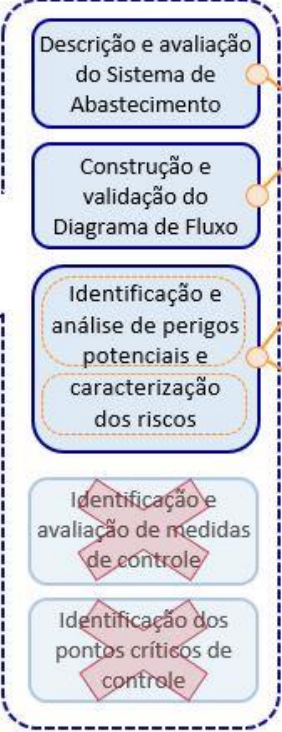
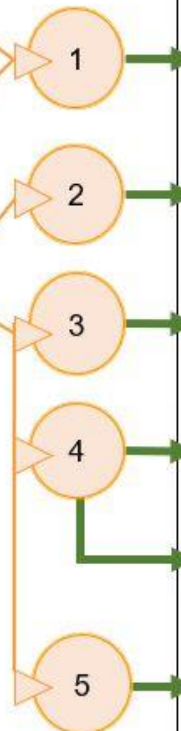
O Quadro 9 demonstra o desenvolvimento metodológico através de um fluxograma. Dentre as 3 principais macro etapas do PSA (primeira coluna do fluxograma), a pesquisa foi aplicada visando desenvolver parte da macro etapa de avaliação do sistema (WHO, 2011).

Na segunda coluna do Quadro 9 encontra-se o detalhamento da macro etapa de avaliação do sistema, descrita em 5 procedimentos. Dentre tais procedimentos, a pesquisa delimitou-se nos 3 primeiros, de modo a restringir especificamente a avaliação de risco, desta forma, os 3 primeiros procedimentos descritos foram reorganizados para atender os objetivos específicos (OEs) 1, 2 e 3 (terceira coluna do fluxograma) na forma de uma abordagem de pesquisa qualitativa.

O OE 4 foi abordado de forma separada, pois traz uma abordagem de pesquisa quantitativa que visa a análise estatística dos dados e as análises percentuais de atendimento a Portaria Nº 5/17 (Anexo XX). Este OE foi desenvolvido para dar suporte ao OE 5, ou seja, uma análise dos dados foi realizada, antes da avaliação semi-quantitativa do risco dos parâmetros de potabilidade, a qual utilizou os mesmos dados descritos e detalhados no OE 4.

Os capítulos descritos na quarta coluna do Quadro 9, descrevem com melhor detalhamento as metodologias utilizadas nesta pesquisa para atender os objetivos específicos, bem como, as referências utilizadas.

Quadro 9 – Fluxograma metodológico

MACRO ETAPAS DO PSA	DETALHAMENTO DA AVALIAÇÃO DO SISTEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGIA		
			CAPÍTULO	ABORDAGEM METODOLÓGICA	REFERÊNCIA UTILIZADA
 <p>(WHO, 2011)</p>	 <p>(BRASIL, 2012)</p>		4.1 Etapas preliminares	Qualitativa	(WHO; IWA, 2009) (WHO, 2011) (BRASIL, 2012)
			4.2 Identificação dos eventos perigosos	Qualitativa	(BRASIL, 2009)
			4.3 Avaliação de risco estrutural	Semi-quantitativa	(DEERE <i>et al.</i> , 2001) (WHO; IWA, 2009) (WHO, 2011)
			4.4 Análise estatística dos dados	Quantitativa	(DE SOUZA, 2017)
			4.5 Percentual de atendimento à Portaria do MS N° 5/17	Quantitativa	(CARMO; BEVILACQUA; BASTOS, 2008)
			4.6 Avaliação de risco dos parâmetros de potabilidade	Semi-quantitativa	(DEERE <i>et al.</i> , 2001) (WHO, 2011) (DE SOUZA, 2017)

Legenda:

 Etapas do PSA  
  Objetivos específicos  
  Metodologias referenciadas  
  Etapas não abordadas na pesquisa

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Inicialmente, o projeto de pesquisa iria estudar 3 ETAs no município de Vila Velha-ES, entretanto, por ser um estudo piloto realizado na companhia de saneamento, foi então solicitado para modificarmos o local da pesquisa, assim, o estudo foi realizado com uma abordagem mais aprofundada na ETA em Viana-ES. Assim, foi acrescentado ao estudo de caso no município de Viana-ES, a avaliação de risco dos parâmetros de potabilidade (OE 5).

Desta forma, além da avaliação de risco estrutural da ETA Viana, foi também avaliado o grau de risco dos parâmetros de potabilidade descritos no OE 5 (Subcapítulo 2.2).

#### **4.1 Etapas preliminares**

Conforme WHO (2011) e Brasil (2012) a etapas que antecede a avaliação de risco, baseada na metodologia do PSA, é denominada de etapa preliminar.

A etapa preliminar deste trabalho foi composta por:

- Planejamento das atividades;
- Constituição da equipe;
- Levantamento dos dados;
- Descrição da ETA e dos pontos de captação de água bruta;
- Criação e validação do diagrama de fluxo.

O planejamento das atividades foi composto por reuniões, apresentação da proposta de trabalho e cronograma das atividades, bem como, a metodologia e os dados necessários para iniciar as atividades de avaliação dos riscos.

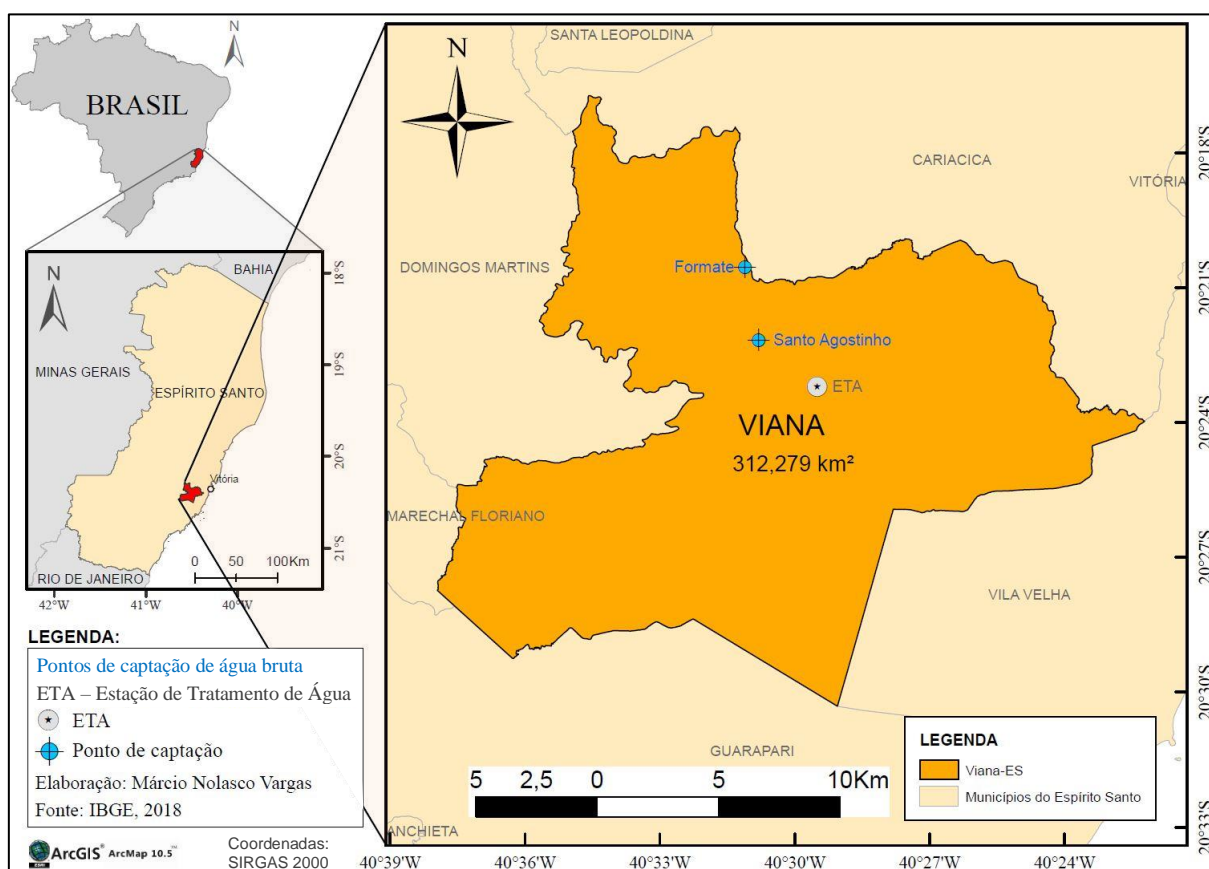
A equipe de trabalho foi composta pela gestora da companhia responsável pelo SAA, uma coordenadora das atividades, quatro técnicos operacionais da companhia e um pesquisador da Universidade Federal do Espírito Santo (autor da dissertação). Ainda nesta etapa, foi solicitado a companhia responsável pelo SAA os dados de análises da água bruta e da água tratada no período de 4 anos (janeiro/2015 até dezembro/2018).

Todas as atividades da etapa preliminar basearam-se nas metodologias de WHO e IWA (2009), WHO (2011) e Brasil (2012), com exceção da criação do diagrama de fluxo, este embora seja mencionado nos três documentos, baseou-se especificamente no manual de PSA da OMS (WHO; IWA, 2009) que exemplifica com maior detalhe o método de criação do diagrama de fluxo conforme é demonstrado no Anexo B.

#### 4.1.1 Descrição geral da área de estudo

O município de Viana encontra-se localizado no Estado do Espírito Santo (ES), Brasil. Possui extensão territorial aproximada de 312,28 km<sup>2</sup>, população estimada em 2018 de 76.954 habitantes e sua localização encontra-se demonstrada na Figura 6 (IBGE, 2018). Ainda na mesma figura, pode-se também localizar a ETA em estudo e os dois pontos de captação de água bruta. O presente trabalho delimitou-se especificamente na ETA Viana e seus dois pontos de captação de água bruta para o estudo de caso.

Figura 6 – Localização do município de Viana, da ETA e dos pontos de captação



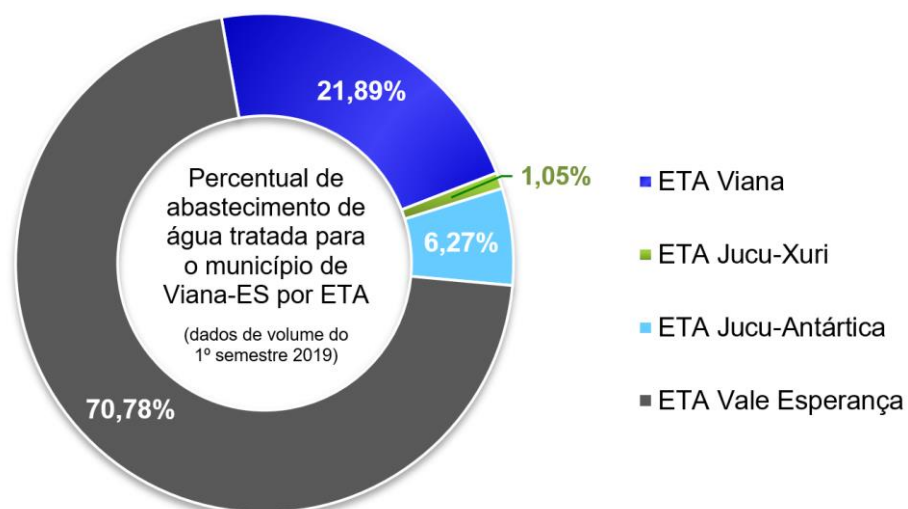
Fonte: elaborado pelo autor (Software ArcMap 10.5).



A taxa de mortalidade infantil média em Viana é de 6,4 para 1.000 nascidos vivos. O município está na posição 53<sup>o</sup>, no ranking de taxa de mortalidade infantil no ES, dentre os 78 municípios (sendo que o 1<sup>o</sup> colocado tem a maior taxa de mortalidade). As internações devido a diarreias são de 0,3 para cada 1.000 habitantes, ficando na posição 62<sup>o</sup> em todo o Estado (DATASUS, 2017).

O município de Viana é abastecido por 4 ETAs. A ETA em estudo (ETA Viana) representa um percentual médio de 21,89% do volume total de água tratada que abastece o município. Desta forma, a ETA representa o segundo maior percentual de água tratada que atende o município. A Figura 7 demonstra os percentuais do volume total de água tratada que abasteceu o município de Viana-ES no 1<sup>o</sup> semestre de 2019.

Figura 7 – Percentual do volume total de água tratada que abastece ao município de Viana por ETAs



Fonte: CESAN (2019).

#### 4.1.2 Descrição dos pontos de captação de água bruta e ETA Viana

O Subsistema da ETA Viana foi implantado em 1986 para abastecimento da sede do Município de Viana e adjacências. Na época, operava com capacidade nominal aproximada de 20 L.s<sup>-1</sup>, com captação de água bruta no Rio Formate e o tratamento era realizado por filtração direta (CAUS, 2012).

Entretanto, em decorrência da baixa capacidade produtiva do Rio Formate em períodos de estiagem, no ano de 2013 foi inaugurada a ETA nova, com vazão de projeto para  $60 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e um reservatório novo para água tratada, ao lado da ETA nova, com capacidade de  $300 \text{ m}^3$ . A ETA velha foi desativada, mas aproveitou-se o seu reservatório, interligando-o na ETA nova. A ETA nova possui tratamento convencional (CAUS, 2012; PMV, 2016).

Devido ampliação da vazão nominal, foi implantada uma nova captação, no Rio Santo Agostinho, que por obter sua cota no ponto de captação abaixo da ETA, necessitou de recalque para adução da água bruta. Desta forma, o novo SAA de Água de Viana possui duas captações, uma no Rio Formate, o qual o fluxo da água bruta ocorre por gravidade, e outra no Rio Santo Agostinho (por recalque). Na Figura 8 pode-se observar os dois pontos de captação de água bruta (PMV, 2016).

Figura 8 – Pontos de captação de água bruta (A - Rio Formate; B - Rio Santo Agostinho)



Fonte: acervo do autor (2019).

A interligação entre o ponto de captação de água bruta do Rio Formate e a ETA é realizada por adutora em ferro fundido com diâmetro de 150mm. Para o novo ponto de captação, o Rio Santo Agostinho, foi construída uma adutora com diâmetro de 200mm em ferro fundido. Entretanto, há uma interligação entre as duas adutoras (do Rio Formate e do Rio Santo Agostinho), de modo que, a água bruta que chega na ETA é uma água bruta mista dos dois mananciais. Assim, somente é possível realizar análises da água bruta separadamente (de cada manancial), se as coletas das amostras forem realizadas nos pontos de captação de água bruta nos mananciais.

Na Figura 9, pode-se observar a vista geral da ETA nova com o reservatório novo ao lado. Tal reservatório é descrito neste trabalho como “reservatório 2”, pois o reservatório velho (da ETA velha) foi o primeiro a ser construído, logo o reservatório velho é denominado de “reservatório 1”.

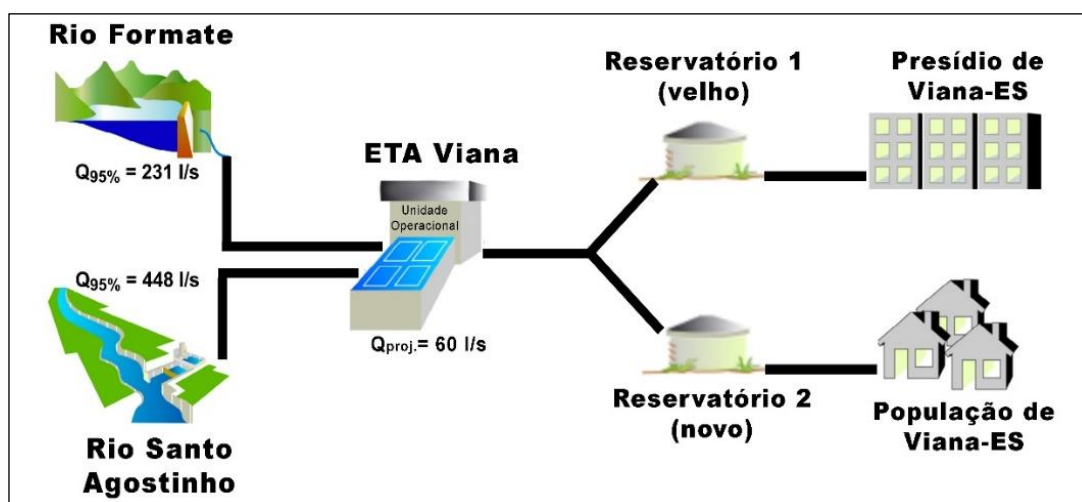
Figura 9 – Vista geral da ETA do município de Viana



Fonte: acervo do autor (2019).

Na Figura 10 está demonstrado um esquemático dos mananciais, da ETA, dos reservatórios e do abastecimento.

Figura 10 – Esquemático do sistema de abastecimento de água



Fonte: adaptado de ANA (2010).



As etapas de tratamento da ETA Viana são constituídas por calha parshall, onde é adicionado o coagulante (sulfato de alumínio), câmara de mistura rápida, flocculador hidráulico (não mecanizado) com escoamento vertical, dois decantadores (laminares), quatro filtros e um tanque de contato, onde são adicionados o cloro, o flúor e a Cal. As imagens demonstradas na Figura 11 foram extraídas dos registros fotográficos que também auxiliaram na avaliação de riscos.

Figura 11 – Etapas do tratamento de água da ETA de Viana



Fonte: acervo do autor (2019).

Por fim, conforme mencionado anteriormente, a ETA possui dois reservatórios de água tratada (reservatório novo e o reservatório velho). Cada reservatório possui a capacidade de 300 m<sup>3</sup>, totalizando 600 m<sup>3</sup> de capacidade de reservação da água tratada. O “reservatório novo” é interligado a rede de distribuição que abastece a população do município de Viana. Tal reservatório abastece 8 distritos municipais: Bom Pastor, Centro, Nova Viana, Ribeira, Santa Terezinha, Santo Agostinho, Vila Nova e Verona. Já o “reservatório velho” abastece o presídio de Viana, denominado de MOESP (Módulo de Segurança do Sistema Penal).

Na Figura 12 são demonstrados os dois reservatórios. Tanto o “reservatório velho” como o “reservatório novo” são do tipo semi-enterrado (ou semi-apoiado).

Figura 12 – Reservatórios da ETA Viana



Fonte: acervo do autor (2019).

## 4.2 Identificação dos eventos perigosos

A presente etapa, consistiu na identificação dos eventos perigosos. Para isso, foi realizada a observação direta (*in-loco*), com registros fotográficos e aplicação dos *checklists*, que auxiliaram na identificação dos perigos ou eventos perigosos (Apêndices A, B e C). Nos dois pontos de captação, além dos registros fotográficos e *checklists*, foram realizadas filmagens aéreas (com drone) para identificar áreas próximas aos pontos de captação que pudessem conter algum tipo de perigo ou evento perigoso.

Os *checklists* aplicados originaram-se da metodologia descrita no *Relatório de implantação do Plano de Segurança da Água - Projeto Piloto Brasil – PSA* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com algumas modificações necessárias visando abranger um número maior de perigos e eventos perigosos (BRASIL, 2009).

De posse dos eventos perigosos identificados no *checklist* (“*ocorre*”) e nos registros de fotográficos, os mesmos foram organizados numa planilha no *software excel*. Tal planilha foi denominada de “planilha de classificação dos riscos”.

Para identificar os eventos perigosos no *checklist* e na planilha de classificação dos riscos, de forma que sejam correlacionados o evento perigoso (do *checklist*) com o risco avaliado (na planilha de classificação dos riscos), foi criada uma coluna com o índice de referência para cada evento perigoso. Na Figura 13 é demonstrado o índice de referência e sua descrição, do qual o 1º algarismo identifica o local do evento perigoso (P - Ponto de captação e E - ETA), o 2º algarismo identifica o processo/etapa e o 3º algarismo identifica o número do evento perigoso no *checklist*.

Figura 13 – Exemplo da descrição do índice de referência do *checklist*

Índice de ref.	Evento Perigoso
E-1-1	Ausência do equipamento jartest na ETA

↓ Número do evento perigoso no *checklist*  
 1 - Coagulação / Mistura rápida ou Ponto de captação e adução  
 2 - Floculação  
 3 - Decantação  
 4 - Filtração  
 5 - Desinfecção  
 6 - Reservação  
 P - Ponto de captação  
 E - ETA

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Com os *checklists* utilizados foi possível avaliar 62 “possíveis” eventos perigosos na ETA e 28 no ponto de captação de água bruta (esses correspondem ao total de item listados no *checklist*). Assim, neste trabalho, foi possível analisar 118 possíveis situações de eventos perigosos, pois foi aplicado em dois pontos de captação.

### 4.3 Avaliação de risco estrutural

Na “matriz de classificação dos riscos” foi utilizada a metodologia recomendada pela OMS e pela Associação Internacional da Água, descrita no *Manual de Plano de Segurança da Água* (em inglês, *Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management*) e nas Diretrizes da OMS. Tal metodologia descreve passo a passo as principais etapas de implementação de um PSA e quais os principais itens que compõem a matriz de classificação dos riscos (WHO, 2011; WHO; IWA, 2009).

Cada evento perigoso, associado a um perigo, foi classificado (numa escala de 1 a 5) em relação a probabilidade de ocorrência e em relação a gravidade das consequências. O método de classificação consiste no enquadramento numérico do perigo/evento perigoso conforme a Tabela 2 para a probabilidade de ocorrência e conforme a Tabela 3 para a gravidade das consequências.

Tabela 2 – Classificação da probabilidade de ocorrência

Probabilidade	Classe	Definição
Quase certo	5	Evento muito comum (1 vez por dia)
Provável	4	Provavelmente pode ocorrer (1 vez por semana)
Possível	3	O evento pode ocorrer (1 vez por mês)
Improvável	2	O evento pode não ocorrer (1 vez por ano)
Raro	1	Provavelmente não ocorrerá (1 vez a cada 5 anos)

Fonte: adaptado de WHO e IWA (2009); WHO (2011).

Tabela 3 – Classificação da gravidade das consequências

Gravidade	Classe	Definição
Catastrófico	5	Potencial para causar mortes (impacto na saúde pública)
Grande	4	Potencial para causar doenças e hospitalização de pessoas dentro de uma comunidade
Moderado	3	Potencial para causar doença
Pequeno	2	Potencial para causar pouca irritação ou desconforto
Insignificante	1	Não há potencial para causar danos à saúde pública dentro de uma comunidade

Fonte: adaptado de WHO e IWA (2009); WHO (2011).



Assim, determinado o valor da probabilidade de ocorrência e o valor da gravidade das consequências, o próximo passo é multiplicar as duas grandezas estabelecidas, por exemplo, se a probabilidade do evento perigoso for 5 (quase certo) e a gravidade das consequências for 2 (pequeno), tem-se que a pontuação do risco é igual a 10 (alto).

A metodologia da WHO (2011) e da WHO e IWA (2009) diz que, se a pontuação do risco for menor do que 6, este é classificado como “baixo”, se estiver entre 6 e 9, o risco é “médio”, se estiver entre 10 e 15, o risco é “alto” e se a pontuação for maior do que 15 o risco será classificado como “muito alto”.

O Quadro 10 demonstra com maior clareza o que foi descrito no parágrafo anterior, através do qual o evento perigoso pode ser classificado ao cruzar a linha (probabilidade) com a coluna (gravidade da consequência), obtendo-se então, um valor numérico, resultante do produto (probabilidade x gravidade das consequências), o qual é denominado de pontuação do risco (WHO, 2011).

Quadro 10 – Matriz semi-quantitativa de classificação do grau de risco

Probabilidade	Gravidade das consequências				
	Insignificante (1)	Pequeno (2)	Moderado (3)	Grande (4)	Catastrófico (5)
Quase certo (5)	Baixo (5)	Alto (10)	Alto (15)	Muito alto (20)	Muito alto (25)
Provável (4)	Baixo (4)	Médio (8)	Alto (12)	Muito alto (16)	Muito alto (20)
Possível (3)	Baixo (3)	Médio (6)	Médio (9)	Alto (12)	Alto (15)
Improvável (2)	Baixo (2)	Baixo (4)	Médio (6)	Médio (8)	Alto (10)
Raro (1)	Baixo (1)	Baixo (2)	Baixo (3)	Baixo (4)	Baixo (5)

Legenda: (Baixo < 6) - (Médio 6 a 9) - (Alto 10 a 15) - (Muito alto > 15)

Fonte: adaptado de Deere *et al.* (2001); WHO (2011).

De posse da avaliação dos riscos, verificou-se a necessidade de analisar os parâmetros indicadores de qualidade da água tratada. Pois, ainda que a avaliação de risco seja efetivamente realizada, uma análise dos parâmetros indicadores da



qualidade da água tratada consta como obrigação de atendimento ao padrão de potabilidade da Portaria do MS Nº 5/17 do MS (BRASIL, 2017).

Além da exigência de enquadramento dos parâmetros que visa o padrão de potabilidade, a análise destes indicadores contribuiu para a verificação dos dados históricos em relação a qualidade da água tratada produzida pela ETA. Logo, os próximos subcapítulo 4.4 e 4.5, abordaram a metodologia utilizada na análise estatística do banco de dados dos parâmetros qualidade da água e a identificação do percentual de atendimento em relação ao plano de amostragem da água tratada, respectivamente.

#### **4.4 Análise estatística dos dados**

##### *4.4.1 Coleta e análise dos dados*

Os dados disponibilizados dos parâmetros de turbidez, CRL, íon fluoreto, AHT e TTHM da água tratada foram caracterizados estatisticamente. Os parâmetros de CT e *E. coli*, por apresentarem-se de forma qualitativa (presente ou ausente), foram apenas quantificados quanto ao número de dados disponibilizados e o percentual que atende (classificado como “ausente”) ao padrão de potabilidade da Portaria de Consolidação do MS Nº 5/17.

Os dados referentes as análises da água tratada, foram disponibilizados no período de 4 anos (janeiro/2015 até dezembro/2018). Os dados e informações são provenientes de 3 bancos de dados:

- **Laboratório ETA:** os dados são provenientes das análises da água realizadas no laboratório de análises localizado na ETA. Tais análises são denominadas de “análises de rotina”. Dados de água filtrada e água tratada;
- **Laboratório central:** os dados são provenientes das análises da água realizadas no “laboratório central” da companhia de tratamento de água. Este banco de dados obtinha dados da água bruta e da água tratada;

- **Laboratório externo:** as análises de alguns parâmetros são realizadas por laboratório prestador de serviços para companhia de tratamento da água. Tais dados foram denominados neste trabalho de dados do “laboratório externo”. Dados dos parâmetros de subprodutos da desinfecção.

O Quadro 11 demonstra, nas linhas, os parâmetros de qualidade da água e as quantidades de dados. Nas colunas, demonstra-se os dados que foram disponibilizados para cada banco de dados.

Quadro 11 – Quantitativos de amostras por banco de dados

Parâmetros	Bancos de dados			
	Água bruta	Água tratada		
	Laboratório central	Laboratório ETA	Laboratório central	Laboratório externo
Turbidez da água filtrada (uT)	—	17.377	—	—
Turbidez (uT)	34	17.470	385	—
CT	—	—	385*	—
<i>E. coli</i>	97	—	4*	—
Cianobactérias (Cél.ml <sup>-1</sup> )	99	—	—	—
CRL (mg.L <sup>-1</sup> )	NA	17.473	385	—
Íon fluoreto (mg.L <sup>-1</sup> )	NA	17.452	383	—
AHT (mg.L <sup>-1</sup> )	NA	—	—	16
TTHM (mg.L <sup>-1</sup> )	NA	—	—	16

Legenda:

1\* Análises qualitativas (ausente ou presente); — Dados ausentes no banco de dados; NA Não se aplica.

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Vale ressaltar, que os dados das análises da água bruta, realizados pelo laboratório central são coletados separadamente em cada ponto de captação da água bruta.

#### 4.4.2 Estatística descritiva

Através da técnica de amplitude interquartis (AIQ) foram identificados *outliers*. É considerado *outlier* todo valor superior à soma do terceiro quartil com 1,5 vezes o valor da amplitude interquartis ( $3Q+1,5 \times AIQ$ ), e todo valor inferior à diferença do primeiro quartil com 1,5 vezes o valor da amplitude interquartis ( $1Q-1,5 \times AIQ$ ). Embora tenha-se identificado a existência de *outliers*, observou-se que dados apontados pela técnica como *outliers*, na realidade, são factíveis de ocorrer.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva: número de dados, média aritmética, mediana, valores máximo e mínimo, quartis inferior e superior, percentis 10 e 90%, variância, desvio padrão e coeficiente de variação. Em seguida, foram elaborados os gráficos (*boxplot* ou gráfico de caixa) para auxiliar a análise estatística do comportamento das amostras.

#### 4.5 Percentual de atendimento à Portaria do MS Nº 5/17

Com base no plano mínimo de amostragem (frequência de realização das análises laboratoriais) e nos parâmetros de qualidade da água (limite estabelecido como padrão de potabilidade) foram identificados os percentuais de atendimento a Portaria do MS Nº 5/17 (Anexo XX), ou seja, observando o percentual de atendimento ao limite mínimo estabelecido de análises anuais e o percentual de atendimento de cada parâmetro especificado pelo seu limite ou VMP estabelecido pela Portaria na saída do tratamento da ETA (BRASIL, 2017).

Para proceder a avaliação dos itens relativos ao atendimento ao plano mínimo de amostragem, primeiramente foi calculado o Índice de Coleta (IC), expresso na Equação 1, para todos os parâmetros (turbidez, cor, CRL, íon fluoreto, CT, *E. coli*, AHT e TTHM).

$$IC (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de amostras coletadas na Estação de Tratamento de Água}}{\text{N}^\circ \text{ de amostras a coletar segundo os planos de amostragem da Portaria de Consolidação N}^\circ 5 \text{ do MS (Anexo XX)}} \times 100 \quad (1)$$

Posteriormente, para o cálculo do atendimento ao padrão de potabilidade, foram calculados os parâmetros de índice de turbidez (IT), índice de CRL (ICRL), índice de íon fluoreto (IF), índice de CT (ICT), índice de *E. coli* (IEC), índice de AHT (IAHT) e índice de TTHM (ITTHM) conforme demonstrado nas equações a seguir (CARMO; BEVILACQUA; BASTOS, 2008):

$$IT (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de turbidez}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (2)$$

$$ICRL (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de CRL}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (3)$$

$$IF (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de íon fluoreto}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (4)$$

$$ICT (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras com ausência de CT}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (5)$$

$$IEC (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras com ausência de } E.coli}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (6)$$

$$IAHT (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de AHT}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (7)$$

$$ITTHM (\%) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras de acordo com o padrão de TTHM}}{\text{N}^{\circ} \text{ de amostras coletadas}} \times 100 \quad (8)$$

Com os resultados obtidos dos cálculos percentuais, foram preenchidos dois quadros (Quadro 15 e 16) para avaliar as porcentagens anuais de cada parâmetro de qualidade da água tratada. O primeiro, consiste em avaliar o percentual anual de atendimento ao plano mínimo de amostragem, o qual utilizará a Equação 1. O segundo, avalia o percentual anual de atendimento ao padrão de potabilidade da água, ou seja, o percentual que encontra-se em conformidade com o padrão de qualidade da água (Portaria do MS N° 5/17, Anexo XX) na saída do tratamento da ETA. Para o segundo quadro, utilizou-se as demais equações descritas neste subcapítulo (Equações 2 a 8).

#### 4.6 Avaliação de risco dos parâmetros de potabilidade

A caracterização dos riscos foi realizada com o banco de dados dos parâmetros da qualidade da água cedidos pela companhia de tratamento da água para abastecimento da população de Viana-ES. Os parâmetros de qualidade da água foram considerados como possíveis perigos caso estes não possuam seus valores dentro dos limites estabelecidos pela Portaria do MS Nº 5/17 (DE SOUZA, 2017).

Assim, da mesma forma que os perigos identificados nos *checklists* foram classificados os seus graus de riscos, os parâmetros de qualidade da água também foram caracterizados os graus riscos conforme a probabilidade de ocorrência e a gravidade das consequências (WHO, 2011; WHO; IWA, 2009).

A probabilidade de ocorrência dos parâmetros de potabilidade foi classificada numa escala de 1 a 5, entretanto os critérios de classificação foram definidos com uma abordagem qualitativa, pois a frequência de amostragem dos parâmetros é diferenciada. Desta forma, alguns parâmetros têm a frequência de amostragem diária e outros têm a frequência de amostragem trimestral. Por isso, a probabilidade de ocorrência foi classificada conforme a Tabela 4, considerando somente a abordagem qualitativa da metodologia recomendada pela OMS. Assim, os dados de frequência não foram considerados (diário, semanal, mensal, anual) (WHO, 2011; WHO; IWA, 2009).

Tabela 4 – Classificação da probabilidade de ocorrência dos parâmetros de potabilidade

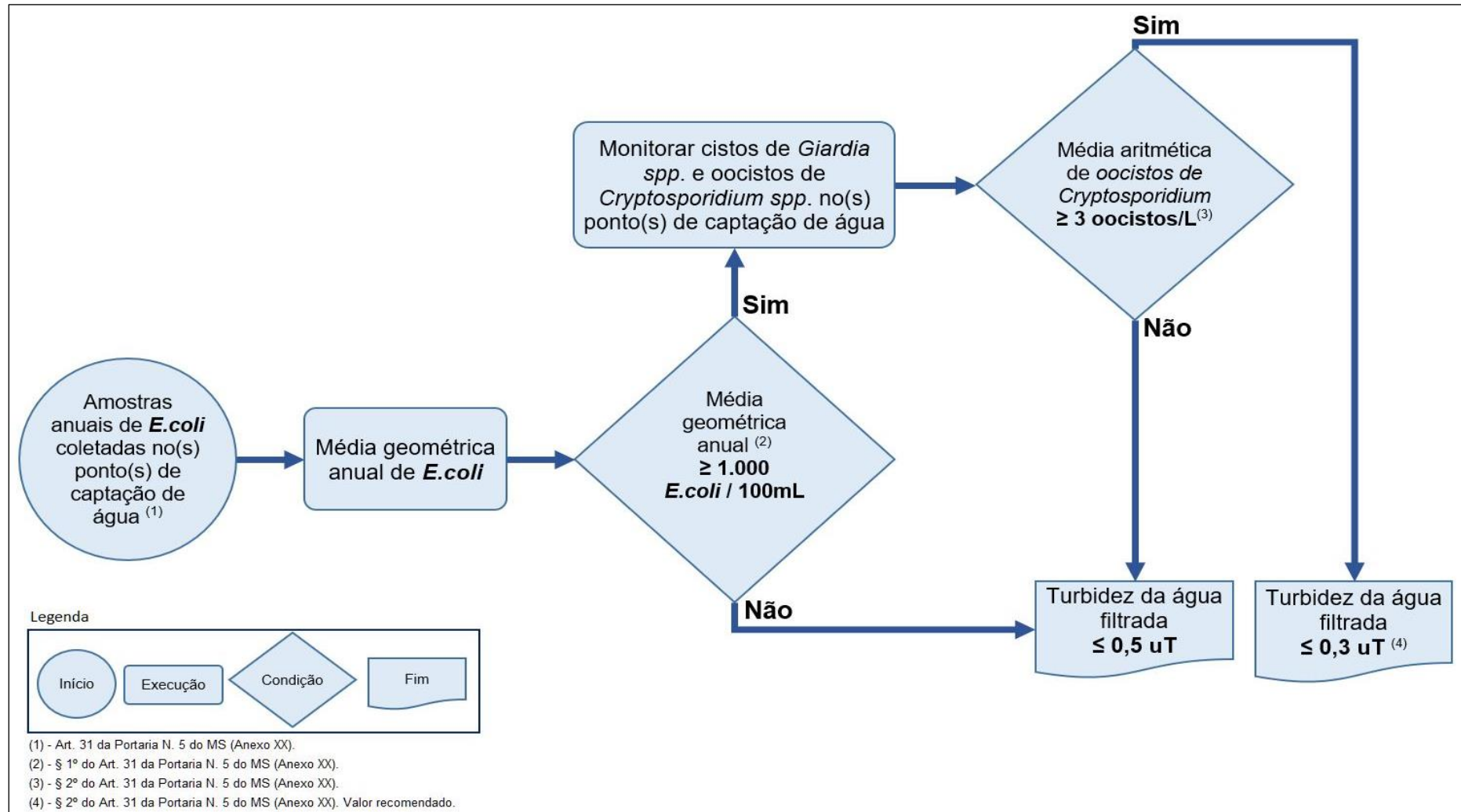
<b>Probabilidade</b>	<b>Classe</b>	<b>Definição</b>
Quase certo	<b>5</b>	Evento muito comum, ocorre regularmente
Provável	<b>4</b>	O evento já ocorreu antes e provavelmente pode ocorrer
Possível	<b>3</b>	O evento pode ocorrer
Improvável	<b>2</b>	O evento pode não ocorrer
Raro	<b>1</b>	Evento muito incomum - provavelmente não ocorrerá

Fonte: adaptado de WHO e IWA (2009); WHO (2011).

A classificação da gravidade das consequências foi determinada conforme os limites mínimos e máximos (VMP) e os limites recomendados pela Portaria do MS Nº 5/17. Entretanto, para o padrão de turbidez da água filtrada é necessário verificar qual o limite máximo ou recomendado pela Portaria (0,5 uT ou 0,3 uT), bem como, verificar a obrigatoriedade de análises laboratoriais de cianotoxinas.

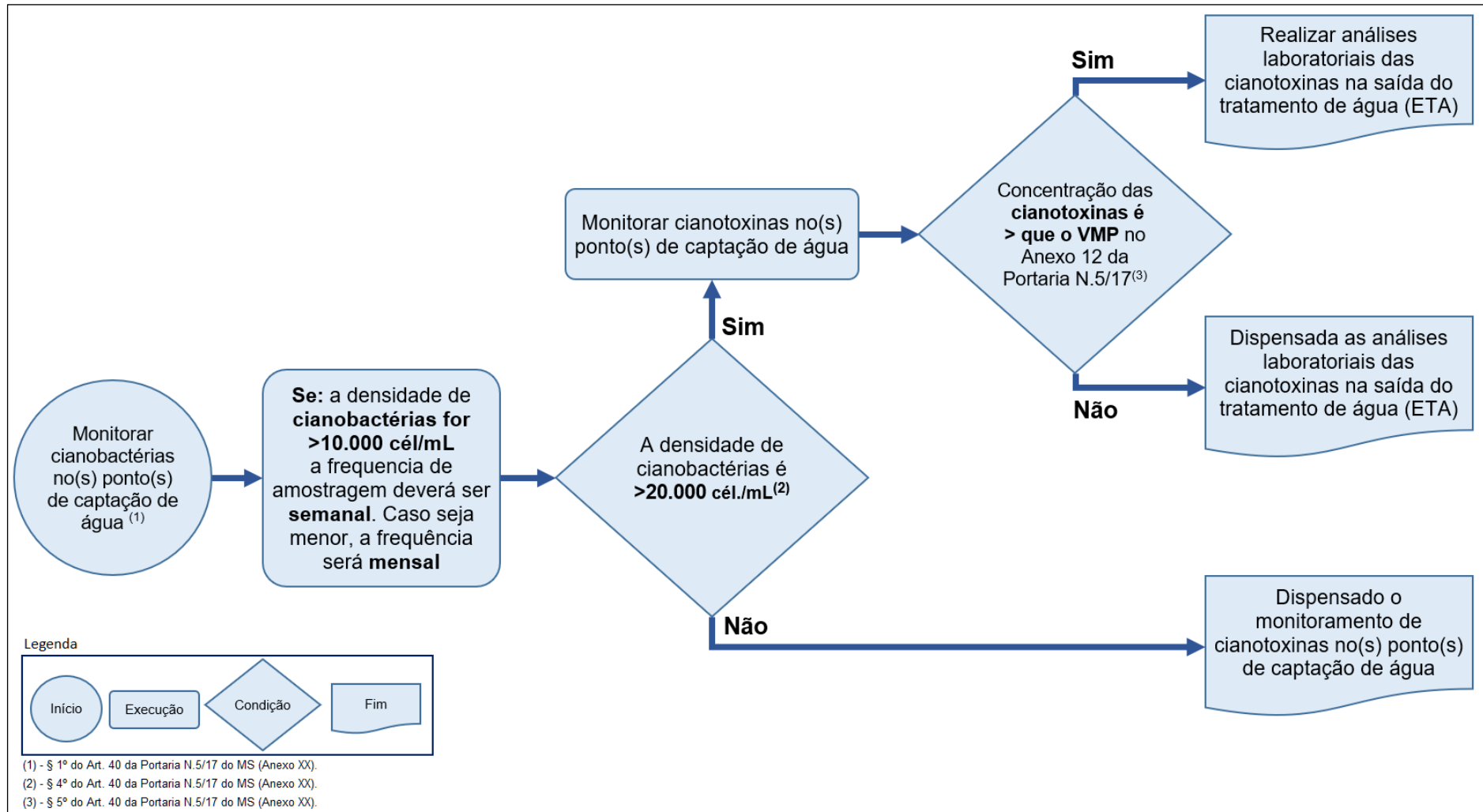
Para isso, conforme preconiza a Portaria, foi necessário verificar a média geométrica anual das amostras de *E. coli* coletadas nos pontos de captação de água bruta da ETA. A metodologia que estabeleceu o limite analisado na gravidade das consequências para a turbidez encontra-se demonstrada na Figura 14. Em relação a obrigatoriedade das análises laboratoriais de cianotoxinas, a metodologia que verificou tal obrigatoriedade exigida pela Portaria do MS Nº 5/17 (Anexo XX) está demonstrada na Figura 15. Todos os limites e condições utilizados para a concepção dos fluxogramas estão descritos na Portaria do MS Nº 5/17, Anexo XX (BRASIL, 2017).

Figura 14 – Fluxograma de análise da média geométrica anual de *E. coli* para determinar limite da turbidez da água filtrada



Fonte: elaborado pelo autor (2019). Adaptado de Brasil (2017).

Figura 15 – Fluxograma de análise da obrigatoriedade de monitoramento de cianotoxinas



Fonte: elaborado pelo autor (2019). Adaptado de Brasil (2017).



Os demais parâmetros estudados, por não possuírem requisitos de variação em função da água bruta, foram estabelecidos pelos seus VMP do padrão de potabilidade preconizados pela Portaria N° 5/17 do MS. Tais VMPs estão descritos no subitem 3.3.3. A Tabela 5 demonstra a classificação da gravidade das consequências de cada parâmetros do padrão de potabilidade analisados neste trabalho (BRASIL, 2017).

Desta forma, com a utilização da Tabela 4, da Tabela 5 e da Matriz semi-quantitativa de classificação do grau de risco (Quadro 10), foram caracterizados os riscos dos parâmetros de turbidez da água filtrada, CRL, CT e *E. coli*, íon fluoreto, AHT e TTHM.

Tabela 5 – Critérios de classificação da gravidade das consequências dos parâmetros de potabilidade analisados

Parâmetros	Gravidade das consequências				
	1	2	3	4	5
Turbidez (água filtrada)	≤ 0,5 uT	> 0,5 e ≤ 1 uT	> 1 e ≤ 1,5 uT	> 1,5 e ≤ 2,5 uT	> 2,5 uT
CRL	≥ 0,2 e ≤ 2 mg.L <sup>-1</sup>	> 2 e ≤ 3,4 mg.L <sup>-1</sup>	> 3,4 e ≤ 5 mg.L <sup>-1</sup>	> 5 e < 0,2 mg.L <sup>-1</sup>	< 0,2 mg.L <sup>-1</sup> e CT (presente)
CT e <i>E. coli</i>	CT (ausente) e <i>E. coli</i> (ausente)	—	—	CT (presente) e <i>E. coli</i> (ausente)	CT (presente) e <i>E. coli</i> (presente)
Íon fluoreto	≥ 0,6 e < 1,2 mg.L <sup>-1</sup>	—	≥ 1,2 e ≤ 1,5 mg.L <sup>-1</sup>	—	< 0,6 ou > 1,5 mg.L <sup>-1</sup>
AHT	≤ 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	—	—	—	> 0,08 mg.L <sup>-1</sup>
TTHM	≤ 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	—	—	—	> 0,1 mg.L <sup>-1</sup>

Fonte: elaborado pelo autor (2019). Adaptado de Brasil (2017).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Diagrama de fluxo

As etapas preliminares têm como objetivo planejar as atividades de trabalho e conhecer detalhadamente o processo de produção, de forma que os perigos, eventos perigosos e os riscos observados possam ser devidamente localizados nos processos de produção da água tratada.

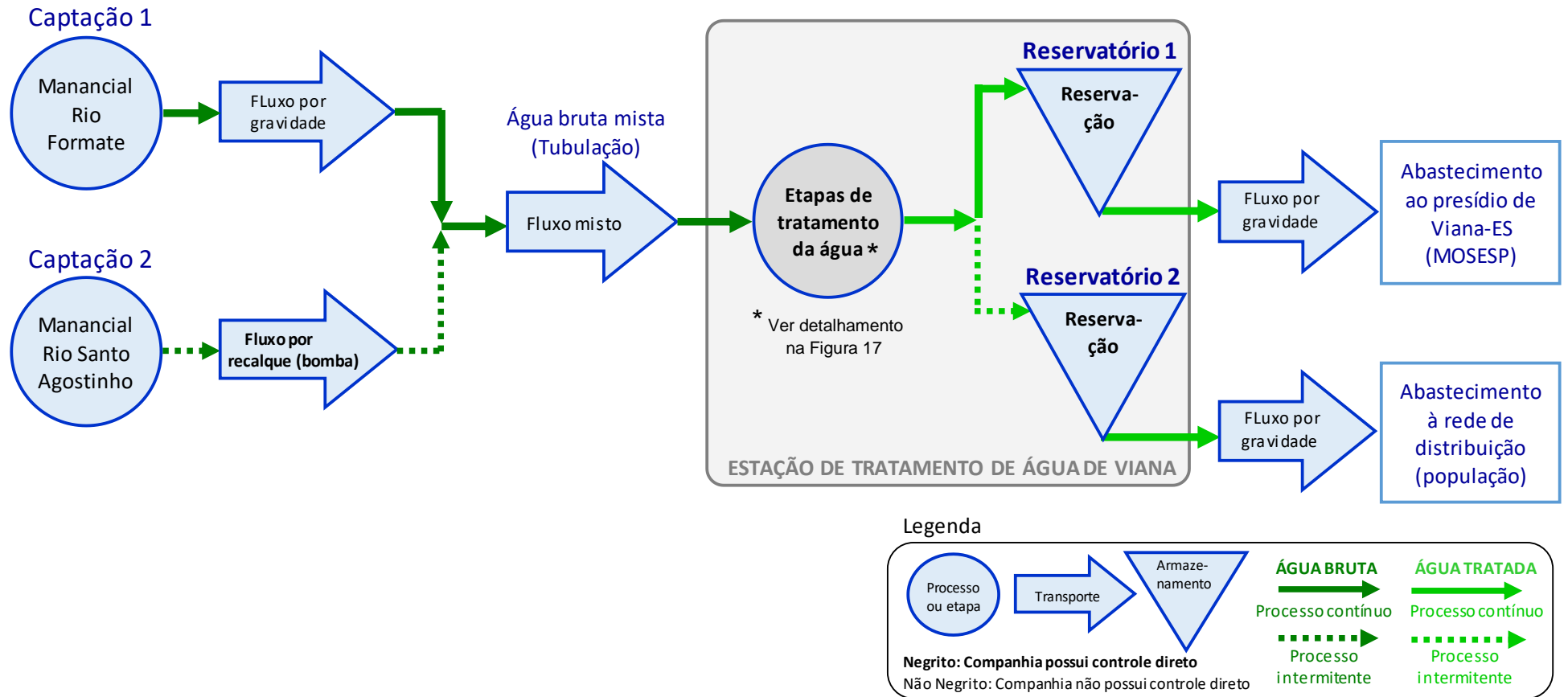
Para isso, foram criados dois diagramas de fluxo. O primeiro com uma visão geral da área de estudo e o segundo com maior detalhamento da ETA.

O primeiro diagrama de fluxo (Figura 16) demonstra a área de estudo, incluindo os dois mananciais que abastecem a ETA, o detalhamento do fluxo de cada manancial e a ETA (de forma macro) com os seus dois reservatórios, reservatório 1 (velho) e reservatório 2 (novo).

O segundo diagrama de fluxo (Figura 17) demonstra a ETA com maior detalhamento dos processos/etapas de tratamento da água. Tal construção realizada de forma separadamente é uma recomendação da WHO e IWA (2009) para melhor visualização de cada etapa.

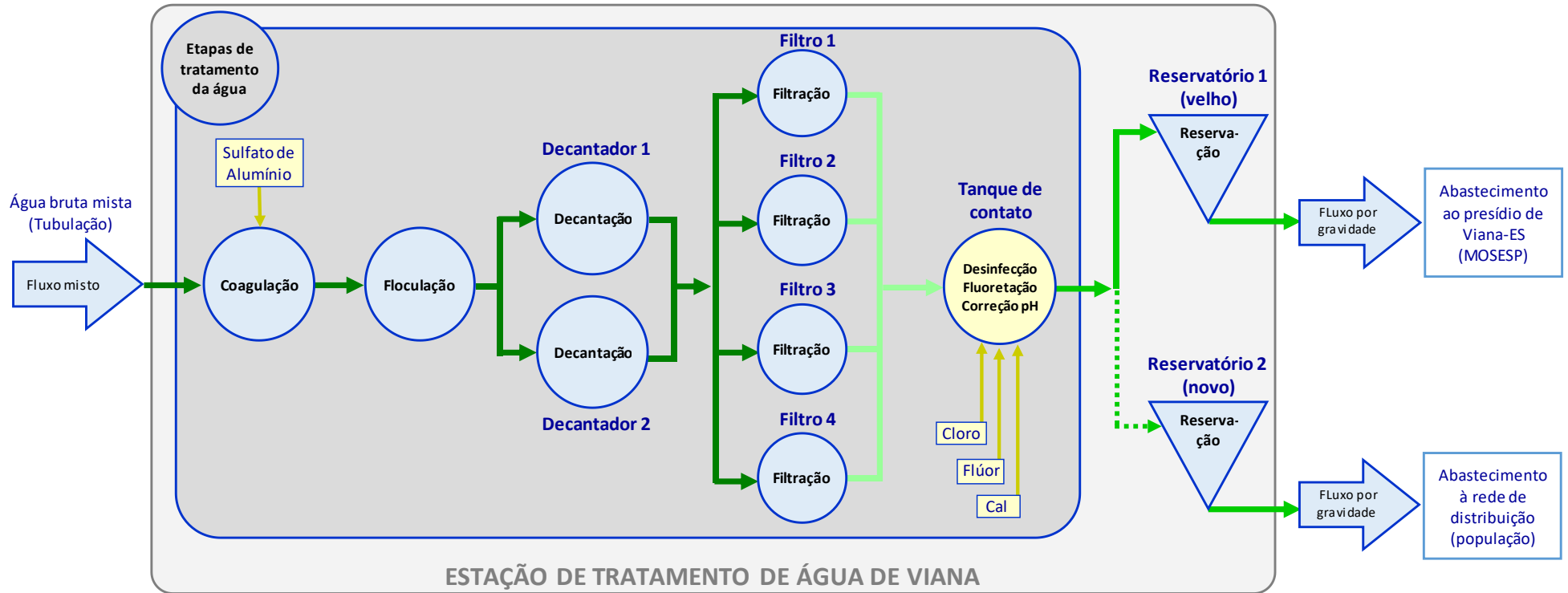
É importante observar nos diagramas de fluxo, que tanto os vazão do Rio Santo Agostinho, quanto o abastecimento de água no Reservatório 2 são intermitentes (linhas tracejadas). Isso deve-se ao fato de que a Captação 2 tem o objetivo de complementar a vazão de demanda nos horários de alta demanda. Nos horários de baixa demanda, esta é interrompido o bombeamento. E o Reservatório 2, tem o fluxo intermitente pois a prioridade de abastecimento é o presídio (Reservatório 1), desta forma, quando a demanda de água está alta e/ou a vazão de água bruta está baixa, é então, interrompido o abastecimento do Reservatório 2.

Figura 16 – Diagrama de fluxo geral (pontos de captação e ETA)

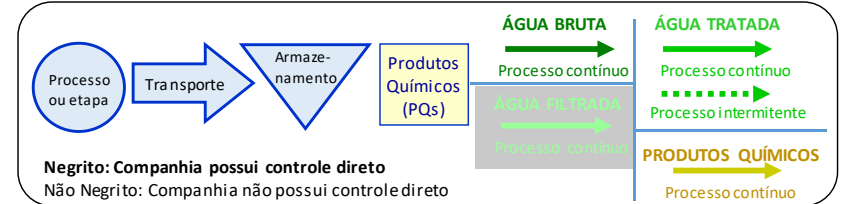


Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 17 – Diagrama de fluxo da ETA



Legenda



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

## 5.2 Perigos e eventos perigosos (*checklist*)

É importante ressaltar que a observação direta foi a etapa que documentou através de registros fotográficos os possíveis eventos perigosos que foram observados *in loco*. Os eventos perigosos identificados por meio dos *checklists* estão demonstrados no Apêndice A (Rio Formate) e no Apêndice B (Rio Santo Agostinho).

### 5.2.1 Ponto de captação

Na captação do Rio Santo Agostinho, observou-se que as telas e o gradeamento do ponto de captação estavam ausentes, conforme é demonstrado na Figura 18. Tal perigo foi descrito como “ocorre” no índice de referência “P-1-28” do *checklist* do ponto de captação do Rio Santo Agostinho, demonstrado no Apêndice B.

Figura 18 – Ausência telas e gradeamento na captação do Rio Santo Agostinho



Fonte: acervo do autor (2019).

Ainda na captação de água bruta do Rio Santo Agostinho, observou-se que uma das tomadas de água bruta estava desacoplada da sucção da bomba, conforme é demonstrado na Figura 19. Desta forma, a bomba reserva estava inoperante, uma vez que, uma tomada de água não tem *by-pass* para a outra. Tal perigo foi descrito como “ocorre” no índice de referência “P-1-15” do *checklist* do ponto de captação do Rio Santo Agostinho. Posteriormente, o mesmo foi avaliado o grau de risco na planilha de classificação dos riscos demonstrado no Quadro 13.

Figura 19 – Bomba reserva inoperante na captação do Rio Santo Agostinho



Fonte: acervo do autor (2019).

### 5.2.2 ETA Viana

Na ETA observou-se a ausência de régua de medição de vazão na calha parshall, porém a vazão é medida por sensores eletrônicos de forma contínua. Entretanto, a Figura 20 demonstra que o coagulante estava sendo aplicado sem um dispersor (calha de dispersão do coagulante), o que diminui a eficiência do processo de coagulação. Tal perigo foi descrito na planilha de classificação dos riscos conforme é demonstrado no Quadro 14 com o documento de referência “foto”, pois este item não estava descrito no checklist e foi identificado na inspeção realizada na ETA.

Figura 20 – Ausência da calha de dispersão do coagulante



Fonte: acervo do autor (2019).

Observou-se que as chicanas do floculador estavam deterioradas por ação de cupins (inseto), conforme é demonstrado na Figura 21. Tal perigo foi identificado no *checklist* da ETA (Apêndice C) e na planilha de classificação dos riscos no índice de referência “E-2-11”.

Figura 21 – Chicanas do floculador deterioradas



Fonte: acervo do autor (2019).

O agitador mecânico do tanque de diluição de Cal estava danificado e não existia um agitador reserva na ETA. A Figura 22 demonstra a ausência de agitador mecânico no tanque de Cal. Assim, o operador estava diluindo a Cal com auxílio da bomba de água do tanque para efetuar diluição do produto.

Figura 22 – Ausência de agitador mecânico reserva para o tanque de diluição de Cal



Fonte: acervo do autor (2019).



A Figura 23, demonstra que a escada do reservatório de água tratada estava deteriorada. Tal item foi identificado com índice de referência “E-6-50” no *checklist* da ETA.

Figura 23 – Escadas deterioradas no interior dos reservatórios de água tratada



Fonte: acervo do autor (2019).

Ainda na ETA, observou-se a ausência de gerador de energia elétrica conforme é demonstrado na Figura 24. Tal ausência acarreta na ineficiência do tratamento de água quando ocorre falta de energia elétrica na rede. Tal perigo foi descrito na planilha de classificação dos riscos conforme é demonstrado no Quadro 14.

Figura 24 – Ausência de gerador de energia elétrica na ETA



Fonte: acervo do autor (2019).



### 5.3 Classificação do grau de risco

Conforme descrito na metodologia, os riscos foram classificados em dois eventos. Primeiramente foram classificados os graus de riscos referentes aos perigos e eventos perigosos identificados no checklist e nos registros fotográficos. Então, posteriormente foram classificados os graus de riscos referentes aos parâmetros do padrão de potabilidade de turbidez da água filtrada, CRL, CT, *E. coli*, íon fluoreto, AHT e TTHM.

#### 5.3.1 Checklist e registros fotográficos

Os perigos e eventos perigosos, identificados no *checklist*, obtiveram sua classificação, em relação a probabilidade de concorrência e a classificação em relação a gravidade das consequências (Tabela 2 e 3).

No Quadro 12 encontram-se as informações descritas da classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Formate. No Quadro 13 estão as informações da classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Santo Agostinho e o Quadro 14 demonstra os riscos levantados da ETA do município de Viana.

O grau de risco ilustrado nas cores verde, amarelo, laranja e vermelho na planilha de classificação dos riscos (Quadro 12, 13 e 14) são oriundos da classe de pontuação do grau de risco que foram descritos na metodologia (Quadro 10).

Em resumo, após a classificação dos riscos observados neste estudo de caso, foi criado um painel quantitativo dos riscos, de modo a obter uma visualização geral dos riscos classificados nos pontos de captação e em cada etapa de tratamento da água. A Figura 25 demonstra o painel quantitativo dos riscos observados nos pontos de captação e na ETA

Quadro 12 – Planilha de classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Formate

Etapa / processo	Documento de ref.	Índice de ref.	Causa / Evento Perigoso	Perigo	Probabilidade	Gravidade das consequências	Pontuação do risco	Grau do risco
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-2	Acesso de animais.	Físico Microbiológico	5	2	10	Alto
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-3	Acesso de pessoas estranhas.	Químico Microbiológico	3	3	9	Médio
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-7	Insuficiente capacidade de armazenamento.	Falta de água	3	2	6	Médio
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-11	Elevação acentuada da turbidez devido a chuvas intensas.	Físico Químico Microbiológico	3	3	9	Médio
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-20	Ausência de plano de emergência.	Físico Químico Microbiológico Falta de água	5	5	25	Muito alto
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-23	Existência de ocupações humanas e de construções nas faixas de terreno sob as quais estejam implantadas as adutoras.	Falta de água Microbiológico	5	3	15	Alto
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-25	Rompimentos de adutoras.	Falta de água	2	4	8	Médio
Ponto de captação Rio Formate	Checklist	P-1-28	Inexistência de gradeamento.	Físico Falta de água	5	4	20	Muito alto

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Quadro 13 – Planilha de classificação dos riscos do ponto de captação do Rio Santo Agostinho

Etapa / processo	Documento de ref.	Índice de ref.	Causa / Evento Perigoso	Perigo	Probabilidade	Gravidade das consequências	Pontuação do risco	Grau do risco
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-2	Acesso de animais.	Físico Microbiológico	5	2	10	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-3	Acesso de pessoas estranhas.	Químico Microbiológico	3	3	9	Médio
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-7	Insuficiente capacidade de armazenamento.	Falta de água	3	2	6	Médio
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-11	Elevação acentuada da turbidez devido a chuvas intensas.	Físico Químico Microbiológico	3	3	9	Médio
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-13	Precário estado de conservação dos mecanismos de tomada.	Falta de água	3	4	12	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist <b>Foto</b>	P-1-15 <b>Figura 19</b>	Inexistência de bomba reserva ou bomba reserva inoperante	Falta de água	3	4	12	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-16	Ausência de proteção das estações de tomada.	Físico Microbiológico Falta de água	3	4	12	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-20	Ausência de plano de emergência.	Físico Químico Microbiológico Falta de água	5	5	25	Muito alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-21	Ausência de manutenção preventiva das adutoras.	Falta de água	3	4	12	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist	P-1-23	Existência de ocupações humanas e de construções nas faixas de terreno sob as quais estejam implantadas as adutoras.	Falta de água	5	3	15	Alto
Ponto de captação Rio Santo Agostinho	Checklist <b>Foto</b>	P-1-28 <b>Figura 18</b>	Inexistência de tela e/ou gradeamento.	Físico Microbiológico Falta de água	5	4	20	Muito alto

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Quadro 14 – Planilha de classificação dos riscos da ETA

Etapa / processo	Documento de ref.	Índice de ref.	Causa / Evento Perigoso	Perigo	Probabilidade	Gravidade das consequências	Pontuação do risco	Grau do risco
Mistura rápida	Foto	Figura 20	Ausência de régua de medição da vazão na calha Parshall.	Físico Microbiológico	5	1	5	Baixo
Mistura rápida	Checklist	E-1-8	Turbidez alta e vazão reduzida da água bruta.	Físico Microbiológico	3	4	12	Alto
Coagulação	Foto	Figura 20	Dispersão inadequada do coagulante.	Físico Microbiológico	5	1	5	Baixo
Floculação	Checklist Foto	E-2-11 Figura 21	Chicanas do floculador deterioradas.	Físico Microbiológico	5	3	15	Alto
Floculação	Checklist	E-2-13	Ausência de limpeza periódica do floculador da ETA.	Físico Microbiológico	5	3	15	Alto
Decantação	Checklist	E-3-20	Ausência de cronograma de remoção do lodo dos decantadores da ETA.	Físico Microbiológico	4	2	8	Médio
Decantação	Checklist	E-3-24	Ausência de tratamento e disposição de lodo dos decantadores.	Físico Microbiológico Químico	5	4	20	Muito alto
Filtração	Checklist	E-4-31	Ausência de lavagem superficial do leito.	Físico Microbiológico	1	3	3	Baixo
Filtração	Checklist	E-4-32	Ausência do monitoramento da expansão do leito filtrante.	Físico Microbiológico	2	4	8	Médio
Filtração	Checklist	E-4-33	Ausência de monitoramento da qualidade da água de lavagem do filtro.	Microbiológico Químico	5	4	20	Muito alto
Filtração	Checklist	E-4-34	Ausência de tratamento da água de lavagem.	Físico Microbiológico Químico	5	3	15	Alto
Desinfecção	Checklist	E-5-47	Inexistência de desinfetante alternativo.	Microbiológico Químico	2	1	2	Baixo

(continuação)

Quadro 14 – Planilha de classificação dos riscos da ETA

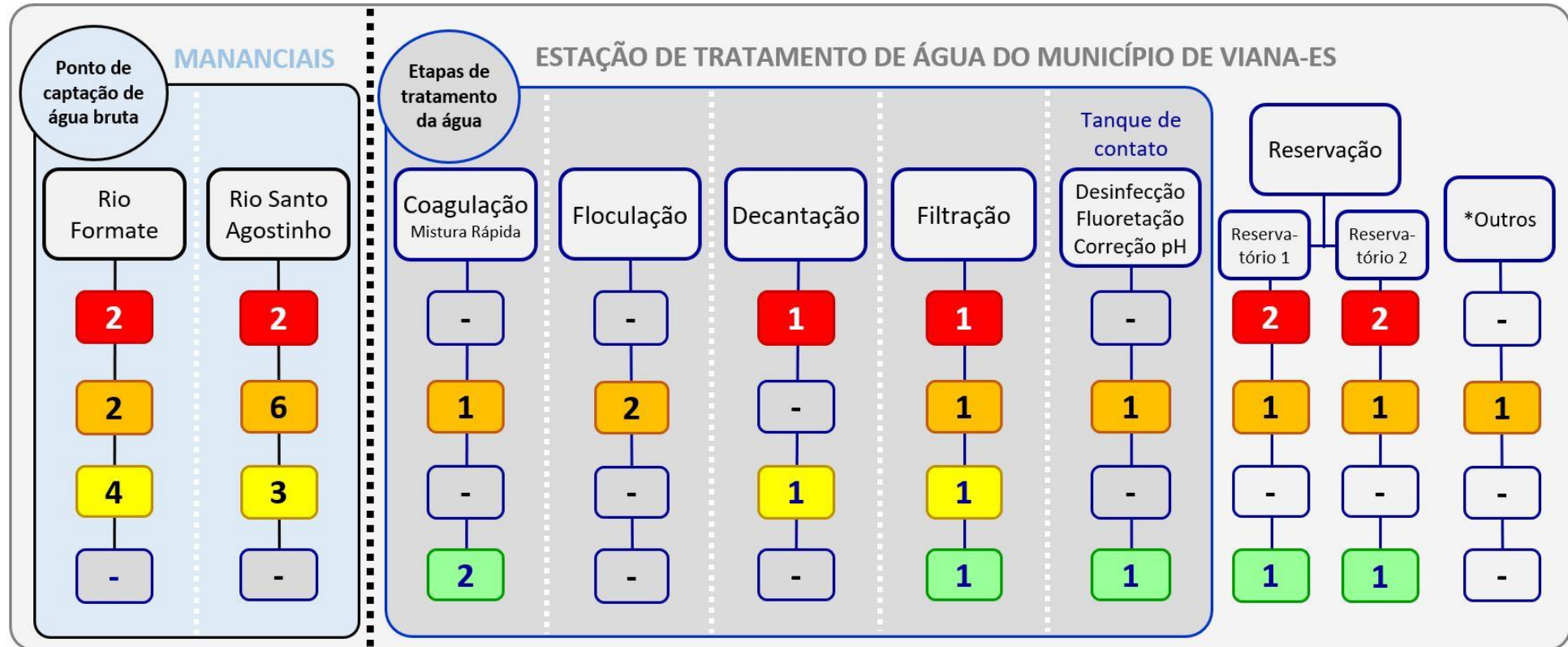
(conclusão)

Etapa / processo	Documento de ref.	Índice de ref.	Causa / Evento Perigoso	Perigo	Probabilidade	Gravidade das consequências	Pontuação do risco	Grau do risco
Desinfecção Fluoretação Correção de pH	<b>Foto</b>	<b>Figura 22</b>	Falta de agitador reserva para os tanques de diluição de produtos químicos.	Físico Microbiológico Químico	5	3	<b>15</b>	<b>Alto</b>
Reservação *Reserv. 1 (Velho)	Checklist <b>Foto</b>	E-6-50 <b>Figura 23</b>	Escadas deterioradas (interior dos reservatórios de água tratada). Estado de conservação insatisfatório.	Físico Químico	5	2	<b>10</b>	<b>Alto</b>
Reservação Reserv. 2 (Novo)	Checklist	E-6-50	Escadas deterioradas (interior dos reservatórios de água tratada). Estado de conservação insatisfatório.	Físico Químico	5	2	<b>10</b>	<b>Alto</b>
Reservação Reserv. 2 (Novo)	Checklist	E-6-50 E-6-61	Régua de medição do nível do reservatório novo deteriorada. Falta de manutenção.	Falta de água (incerteza volume)	4	1	<b>4</b>	<b>Baixo</b>
Reservação Reserv. 1 (Velho)	Checklist	E-6-58	Ausência de monitoramento da qualidade da água na saída dos reservatórios.	Físico Microbiológico Químico	5	4	<b>20</b>	<b>Muito alto</b>
Reservação Reserv. 2 (Novo)	Checklist	E-6-58	Ausência de monitoramento da qualidade da água na saída dos reservatórios.	Físico Microbiológico Químico	5	4	<b>20</b>	<b>Muito alto</b>
Reservação Reserv. 1 (Velho)	Checklist	E-6-59	Ausência de régua de medição do nível do reservatório velho (MOESP).	Falta de água (incerteza volume)	5	1	<b>5</b>	<b>Baixo</b>
Reservação Reserv. 1 (Velho)	Checklist	E-6-61	Limpeza dos reservatórios. Não ocorrem as limpezas dos reservatórios.	Físico Microbiológico	5	4	<b>20</b>	<b>Muito alto</b>
Reservação Reserv. 2 (Novo)	Checklist	E-6-61	Limpeza dos reservatórios. Não ocorrem as limpezas dos reservatórios.	Físico Microbiológico	5	4	<b>20</b>	<b>Muito alto</b>
Equipamentos	<b>Foto</b>	<b>Figura 24</b>	Inexistência de gerador de energia elétrica na ETA	Físico Microbiológico Químico Falta de água (incerteza volume)	5	3	<b>15</b>	<b>Alto</b>

\*Reserv. - Reservatório

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Figura 25 – Painel de riscos dos pontos de captação e da ETA



## Legenda



\*Outros - riscos que não se enquadram especificamente em uma etapa de tratamento

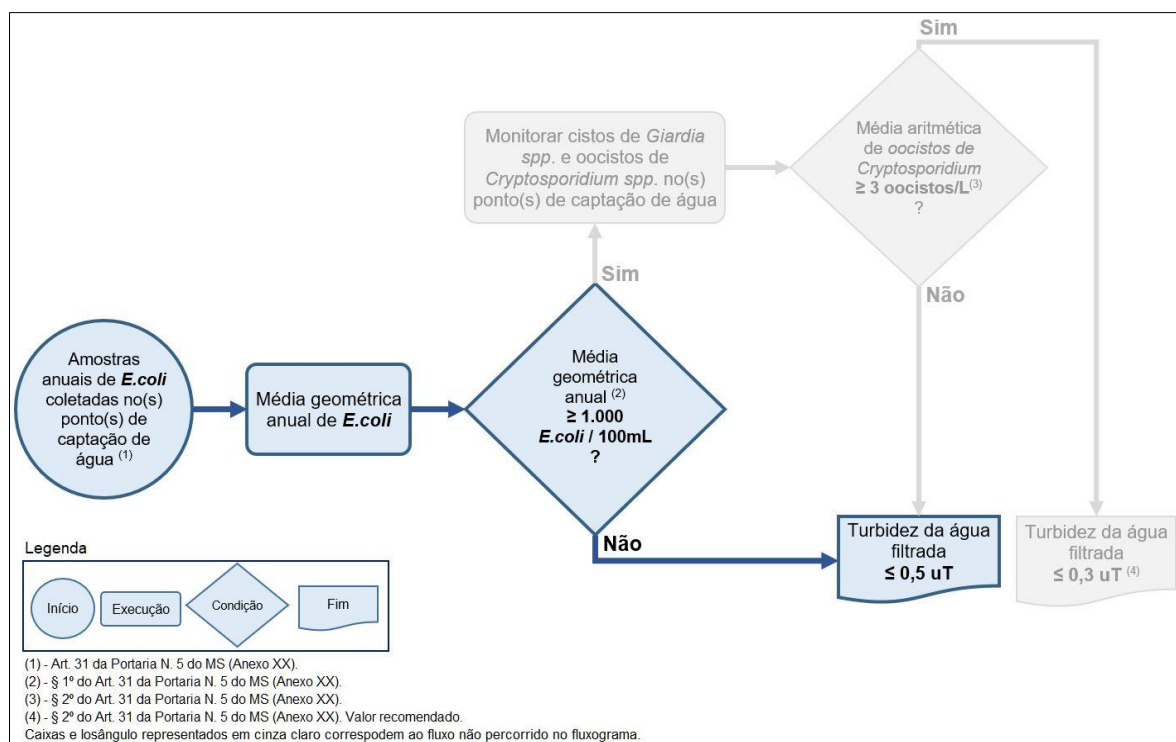
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 5.3.2 Parâmetros do padrão de potabilidade

Os parâmetros do padrão de potabilidade da turbidez da água filtrada (pós-filtração e pré-desinfecção), CRL (após 30 minutos de tempo de contato), CT, *E. coli*, íon fluoreto, AHT e TTHM foram caracterizados os seus devidos graus de riscos conforme subcapítulo 4.6. Os dados detalhados da classificação dos parâmetros estão demonstrados no Apêndice D.

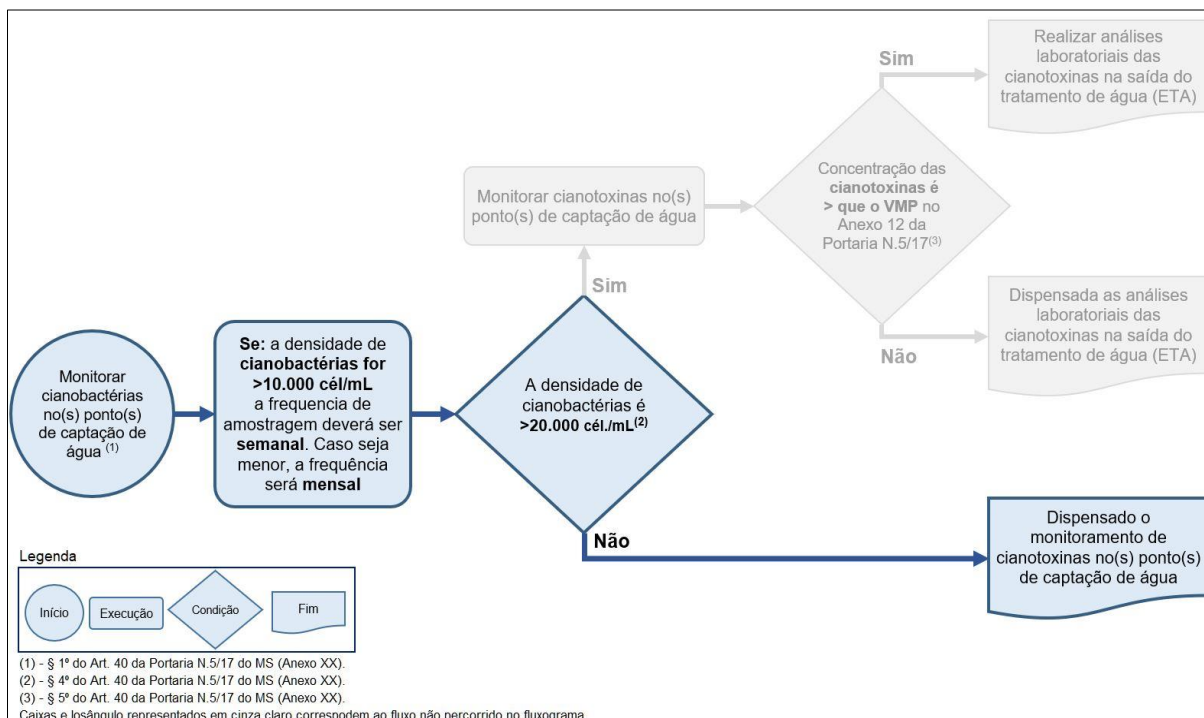
O fluxograma da média geométrica anual de *E. coli* (Figura 14) e o fluxograma da obrigatoriedade das análises laboratoriais de cianotoxinas (Figura 15) obtiveram os resultados que a turbidez da água filtrada monitorada e controlada na saída dos filtros deve ser de 0,5 uT e as análises laboratoriais de cianotoxinas podem ser dispensadas nos pontos de captação e na ETA. O caminho resposta dos fluxogramas estão demonstrados na Figura 26 e Figura 27 na cor azul. A média geométrica anual de *E. coli* e o valor máximo anual de cianobactérias nos pontos de captação encontram-se descritos no subitem 5.4.1.

Figura 26 – Caminho resposta do fluxograma de determinação do limite de monitoramento e controle da turbidez na saída dos filtros em função da média geométrica anual de *E. coli*



Fonte: elaborado pelo autor (2019). Adaptado de Brasil (2017).

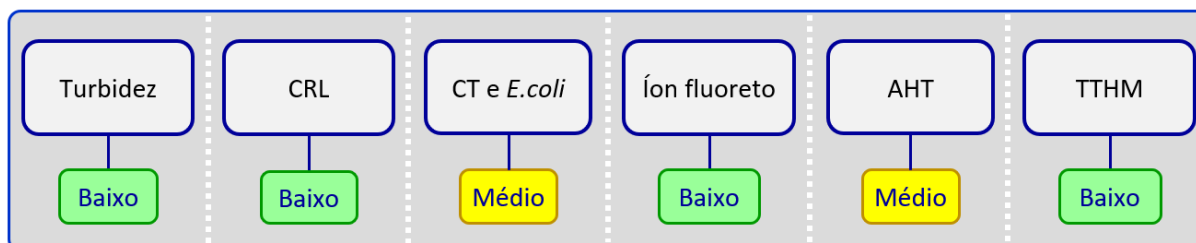
Figura 27 – Caminho resposta do fluxograma de determinação da obrigatoriedade de monitoramento de cianotoxinas nos pontos de captação e na ETA.



Fonte: elaborado pelo autor (2019). Adaptado de Brasil (2017).

A Figura 28 demonstra o painel dos riscos dos parâmetros do padrão de potabilidade analisados. Os riscos foram caracterizados com base nos dados das amostras realizadas nos anos de 2015 a 2018 coletadas na saída do tratamento da ETA Viana, com exceção da turbidez que foi caracterizada com base nas amostras coletadas na saída dos filtros (antes da desinfecção, correção de pH e fluoretação).

Figura 28 – Painel de riscos dos parâmetros do padrão de potabilidade



Fonte: elaborado pelo autor (2019).



## 5.4 Parâmetros de qualidade da água e análise estatística

### 5.4.1 Dados da água bruta

Conforme descrito no subcapítulo 4.6, foi necessário analisar as amostras coletadas no ponto de captação de água bruta (mananciais) para determinar o limite da turbidez da água filtrada e a necessidade de realizar as análises laboratoriais de cianotoxinas.

Para o parâmetro de turbidez da água filtrada, a média geométrica anual de *E. coli* das amostras coletadas nos pontos de captação não atingiu o valor limite determinado pela Portaria Nº 5/17 de 1.000 *E. coli*/100ml em nenhum dos anos. A Tabela 6 demonstra o resultado das médias geométricas anuais de *E. coli* por ponto de captação (Rio Formate e Rio Santo Agostinho).

Tabela 6 – Média geométrica anual de *E. coli* na água bruta coletada nos pontos de captação

Ano	Média geométrica ( <i>E. coli</i> /100ml)	
	Rio Formate	Rio Santo Agostinho
2015	136,25	498,79
2016	62,50	231,33
2017	36,22	118,32
2018	99,31	411,09

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Logo, a companhia de tratamento de água da ETA Viana não tem a obrigatoriedade de realizar as análises laboratoriais de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, bem como, o monitoramento do parâmetro de turbidez das amostras de água filtrada deve ser  $\leq 0,5$  uT.

Para o critério de obrigatoriedade de realização das análises laboratoriais de cianotoxinas, conforme é demonstrado no Gráfico 1, os valores máximos anuais de cianobactérias não atingiram o limite estabelecido pela portaria Nº 5/17 (Anexo XX). Desta forma, a companhia de tratamento de água da ETA Viana não tem a

obrigatoriedade de realizar as análises laboratoriais de cianotoxinas nos pontos de captação e na saída do tratamento de água (ETA).

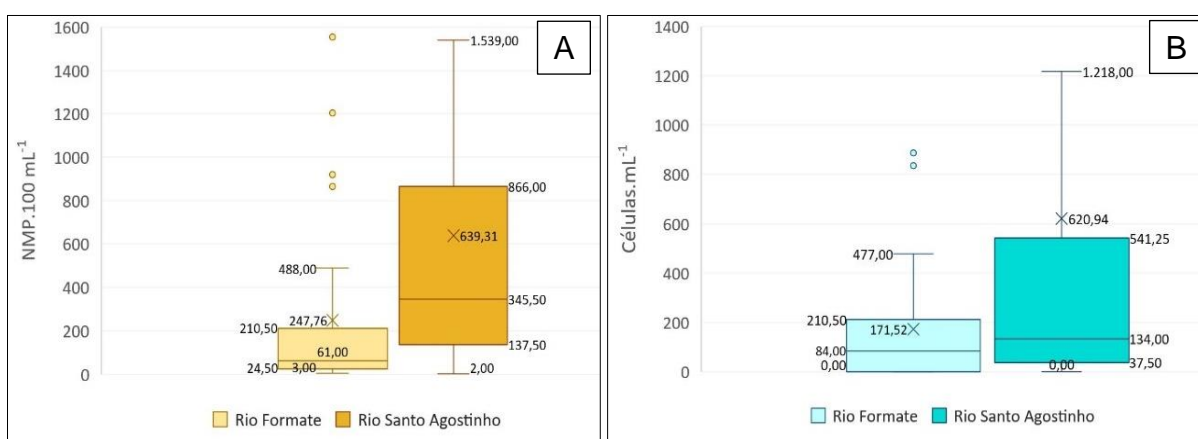
Os dados estatísticos das amostras coletadas nos pontos de captação referentes ao banco de dados do laboratório central para o parâmetro de *E. coli* e *cianobactérias* estão demonstrados no Gráfico 2. O detalhamento dos valores estatísticos está demonstrado no Apêndice E.

Gráfico 1 – Valores máximos anuais de cianobactérias por ponto de captação (de jan/2015 a dez/2018)



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 2 – *Boxplot* dos dados de (A) *E. coli* e (B) *cianobactérias* das análises do laboratório central nos pontos de captação de água (de jan/2015 a dez/2018)



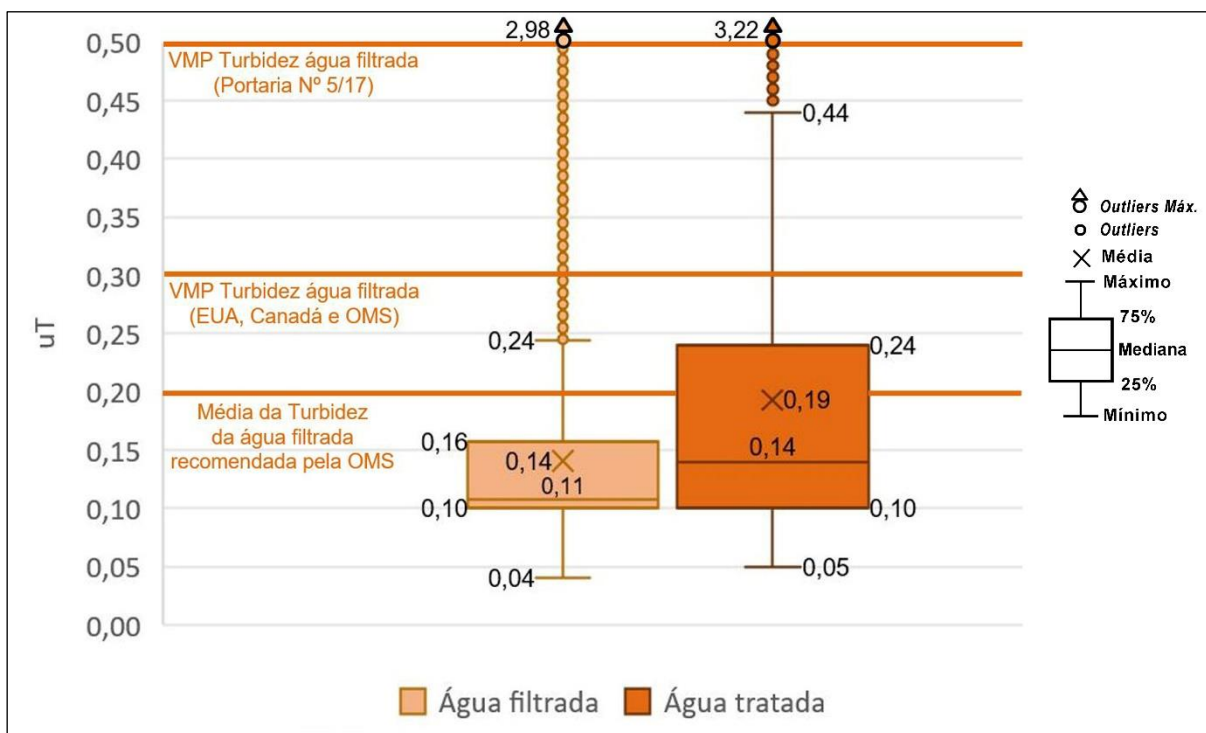
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

### 5.4.2 Dados da água potável

O Gráfico 3 e 4 demonstram os dados estatísticos das amostras do banco de dados do laboratório ETA e o Gráfico 5 demonstra os dados estatísticos do banco de dados do laboratório central para os parâmetros de turbidez, CRL e íon fluoreto nos anos de 2015 a 2018.

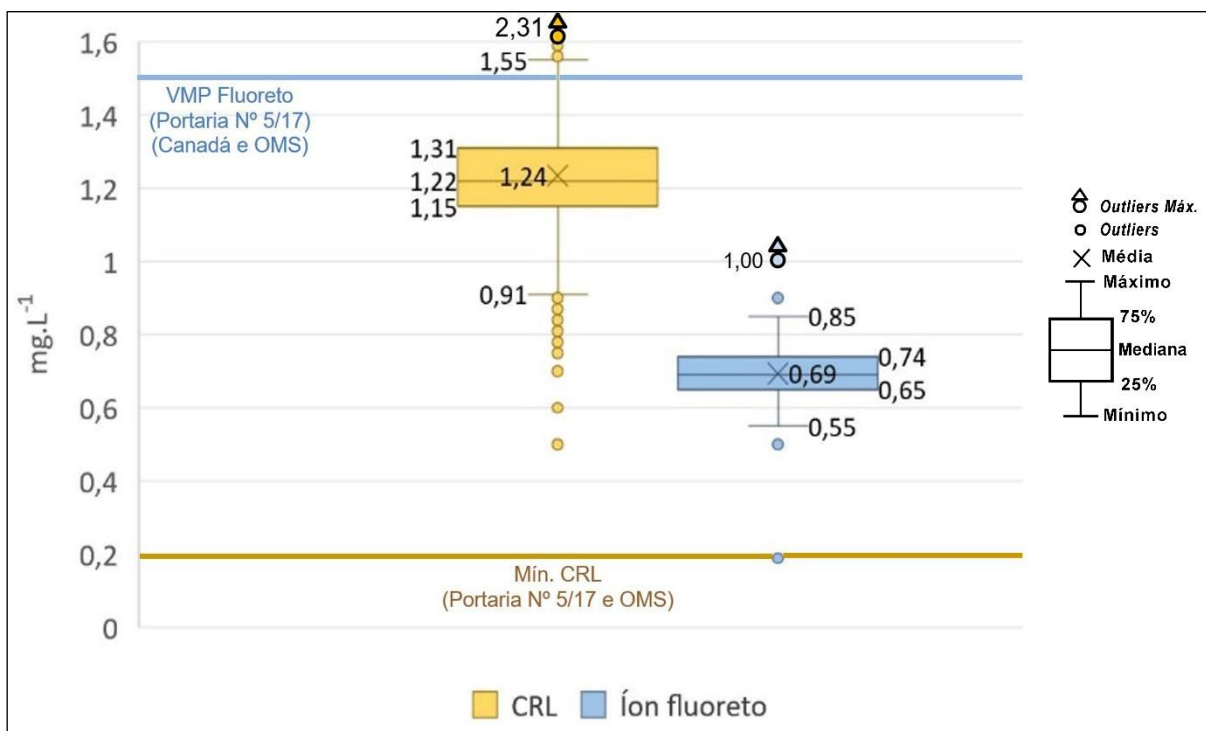
Os dados estatísticos dos parâmetros de turbidez, CRL e íon fluoreto referentes ao banco de dados do laboratório ETA e central estão demonstrados no Apêndice F.

Gráfico 3 – *Boxplot* dos dados de turbidez das análises do laboratório ETA (de jan/15 a dez/18)



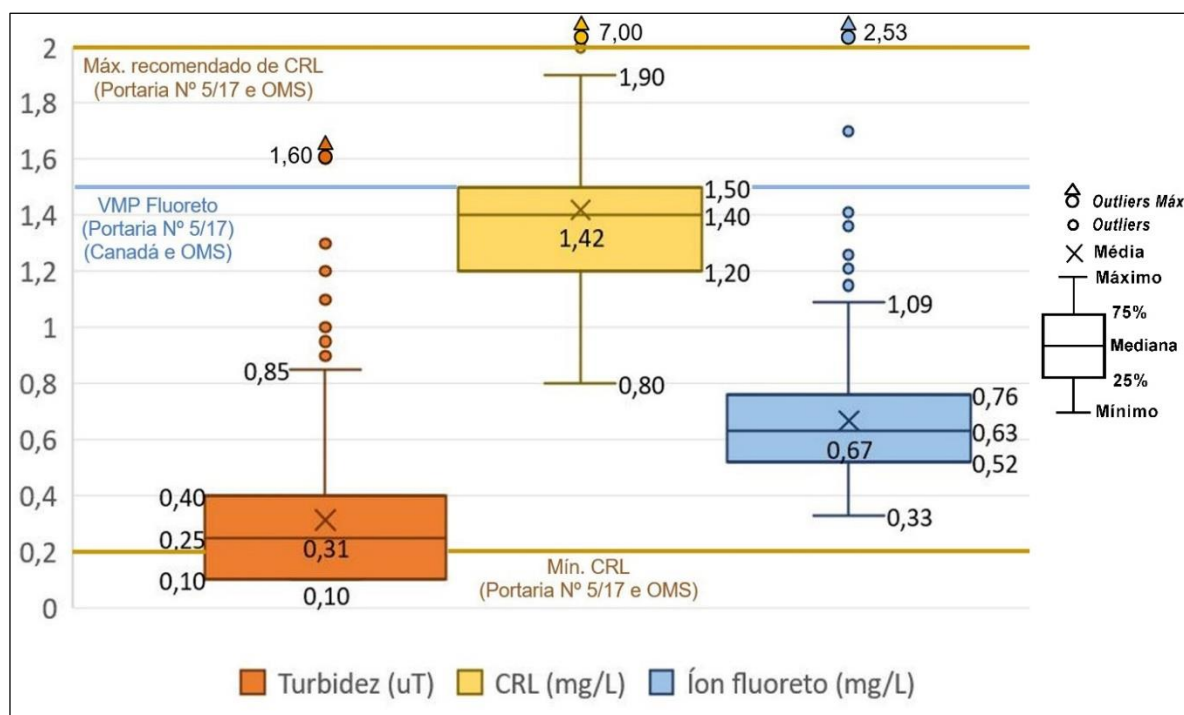
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 4 – *Boxplot* dos dados de CRL e íon fluoreto das análises do laboratório ETA (de jan/15 a dez/18)



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

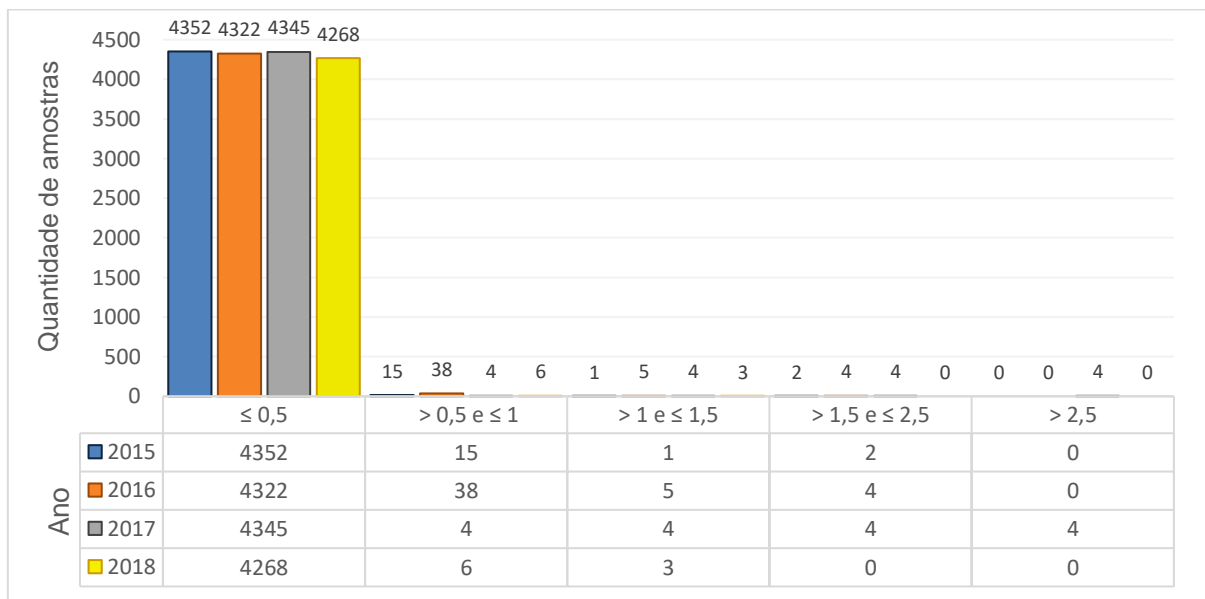
Gráfico 5 – *Boxplot* dos dados de turbidez, CRL e íon fluoreto das análises do laboratório central (de jan/15 a dez/18)



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

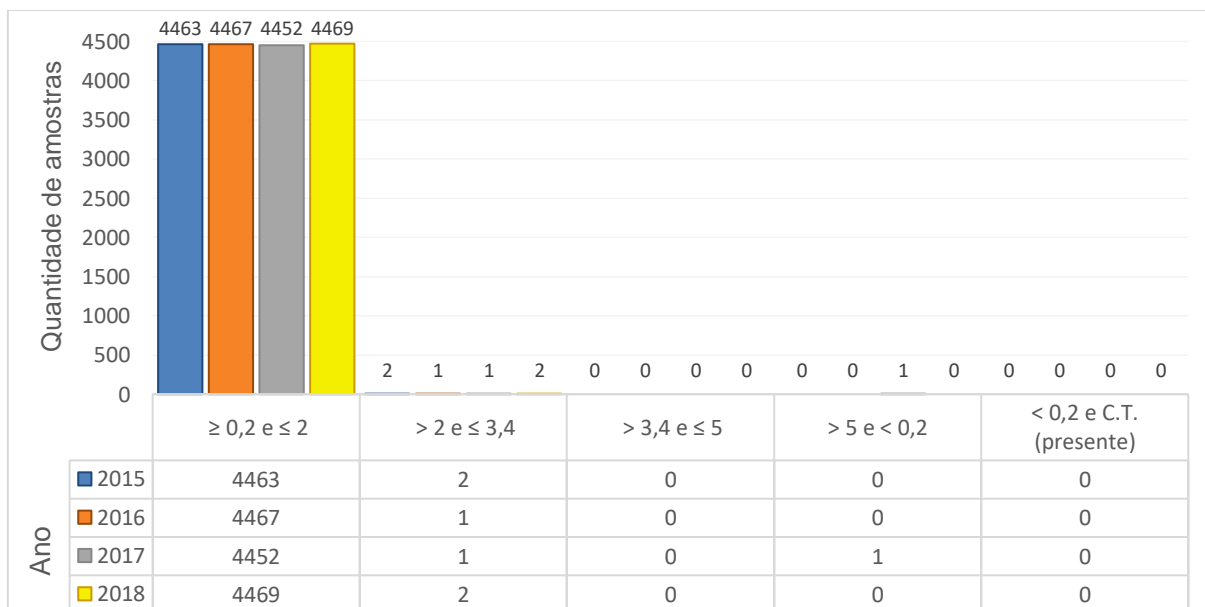
A distribuição das frequências auxiliou na classificação da gravidade das consequências para a caracterização dos riscos dos parâmetros de turbidez da água filtrada, CRL e íon fluoreto. Os Gráficos 6, 7 e 8 demonstram tais parâmetros respectivamente.

Gráfico 6 – Distribuição de frequência dos valores anuais da turbidez da água filtrada do laboratório ETA



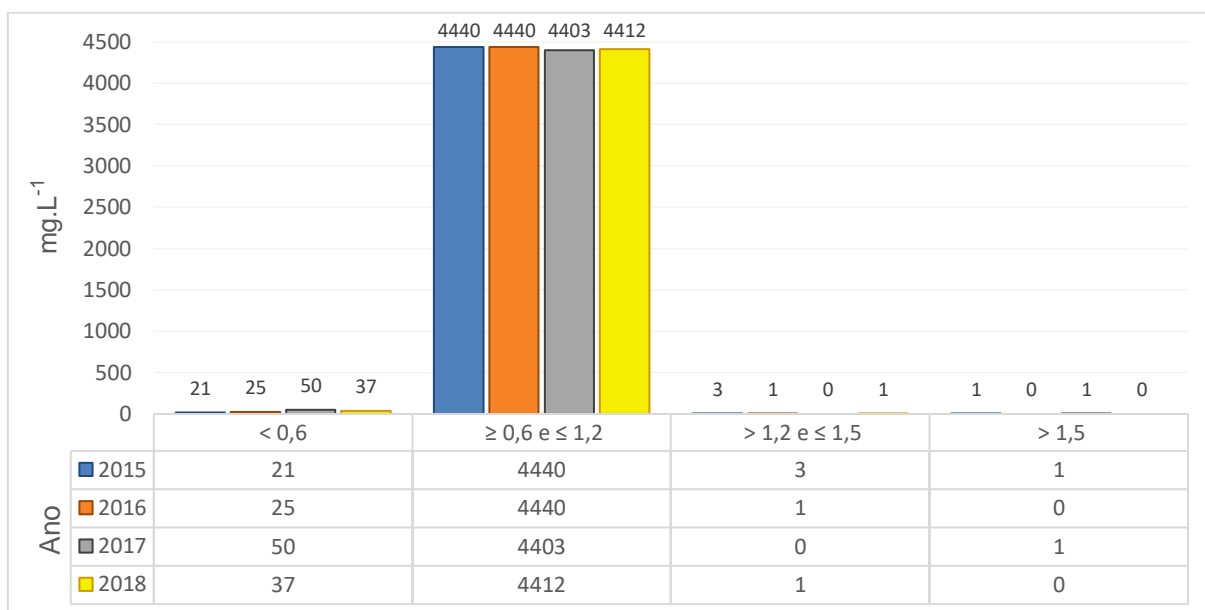
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 7 – Distribuição de frequência dos valores anuais do CRL na água tratada



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 8 – Distribuição de frequência dos valores anuais do íon fluoreto na água tratada

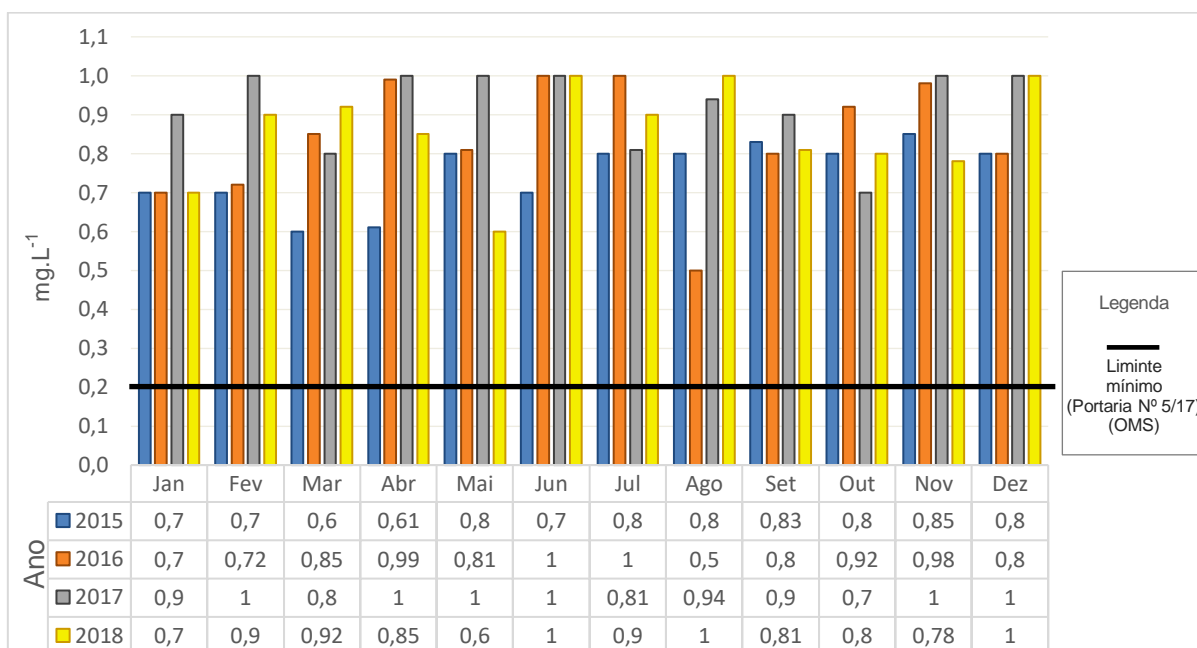


Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Para a caracterização dos riscos em relação a classificação do critério de probabilidade de ocorrência foi necessário observar as frequências, como também, os valores mínimos anuais (para o CRL) e os valores máximos anuais para os demais parâmetros (turbidez, íon fluoreto). Assim, foi possível verificar se os valores máximos e mínimos ocorrem de forma mensal, anual ou uma vez a cada 4 anos.

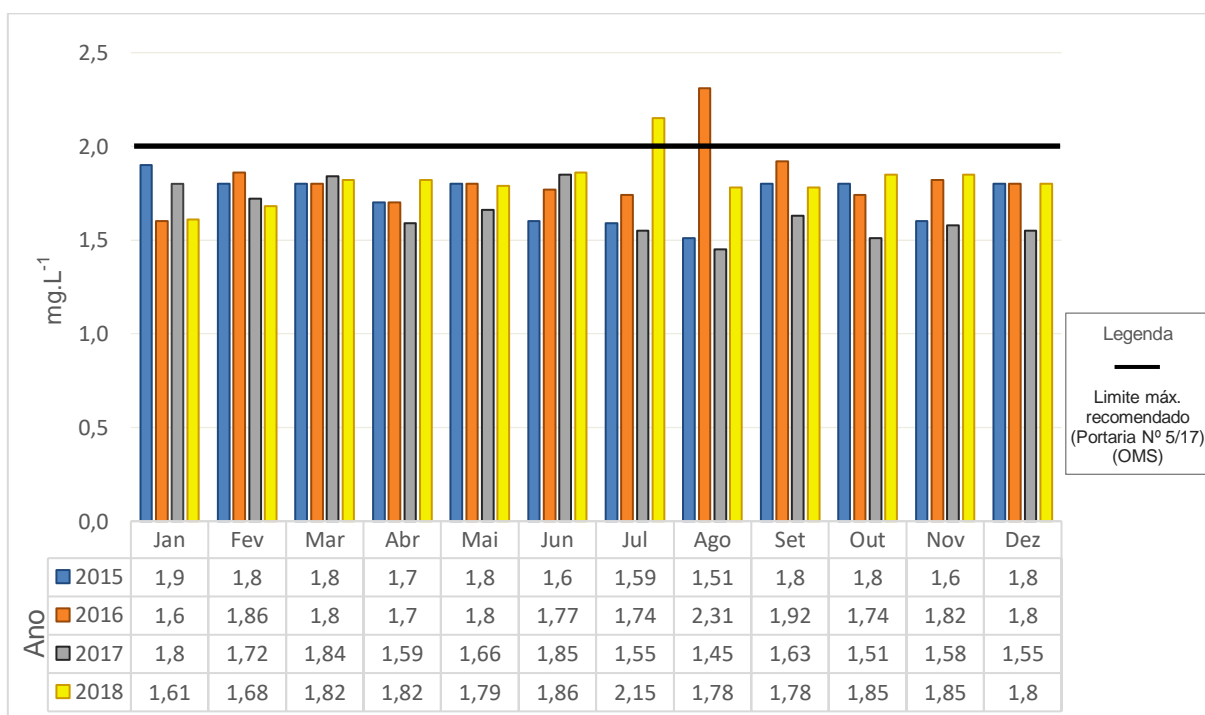
Os Gráficos 9 e 10 demonstram os valores mínimos e valores máximos mensais para o parâmetro de CRL respectivamente. O Gráfico 11 demonstra os valores máximos de turbidez da água filtrada e o Gráfico 12 demonstra os valores máximos de íon fluoreto na água tratada.

Gráfico 9 – Valor mínimo mensal observado por ano de CRL na água tratada



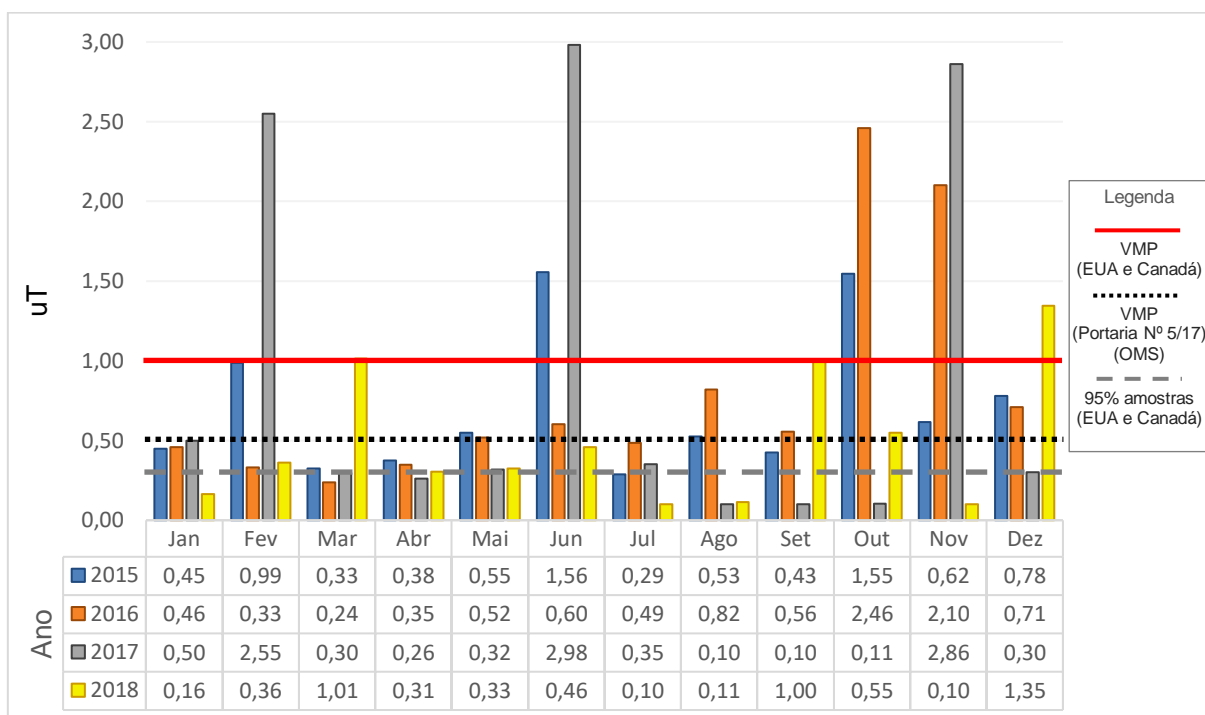
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 10 – Valor máximo mensal observado por ano de CRL na água tratada



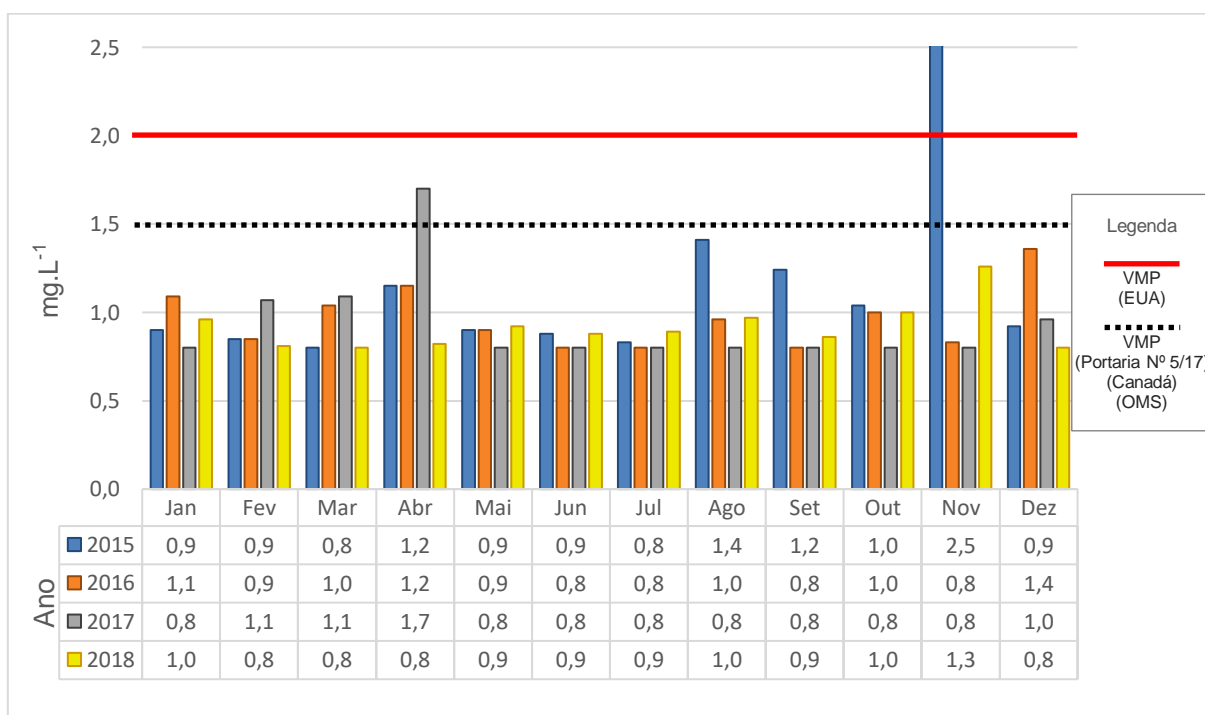
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 11 – Valor máximo mensal observado por ano da turbidez da água filtrada



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 12 – Valor máximo mensal observado por ano do íon fluoreto na água tratada



Fonte: elaborado pelo autor (2019).



Para os parâmetros microbiológico da qualidade da água (CT e *E. coli*), como estes são amostrados de forma qualitativa (ausentes e presentes), a Tabela 7 auxiliou na caracterização dos riscos em relação a quantidade de amostras anuais com ocorrência de CT e *E. coli*.

Tabela 7 – Número de amostras da água tratada com presença de CT ou *E. coli*

Ano	Quantidade de amostras com presença		Total de amostras
	CT	<i>E. coli</i>	
2015	0	0	96
2016	0	0	93
2017	2	0	97
2018	2	1	99
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>385</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Os subprodutos da cloração (AHT e TTHM) foram caracterizados os seus riscos com o auxílio da Tabela 8 e 9. Para o AHT, uma amostra no ano 2018 estava acima do VMP, ocasionando em 25% de probabilidade de ocorrência acima do VMP neste ano. Para o TTHM, nenhuma amostra estava acima do VMP nos anos de 2015 a 2018.

Tabela 8 – Distribuição da frequência anual em função do VMP de AHT

Ano	Quantidade de amostras em relação ao VMP		Total de amostras
	$\leq 0,08$ mg/L	$> 0,08$ mg/L	
2015	4	0	4
2016	4	0	4
2017	4	0	4
2018	3	1	4
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>16</b>

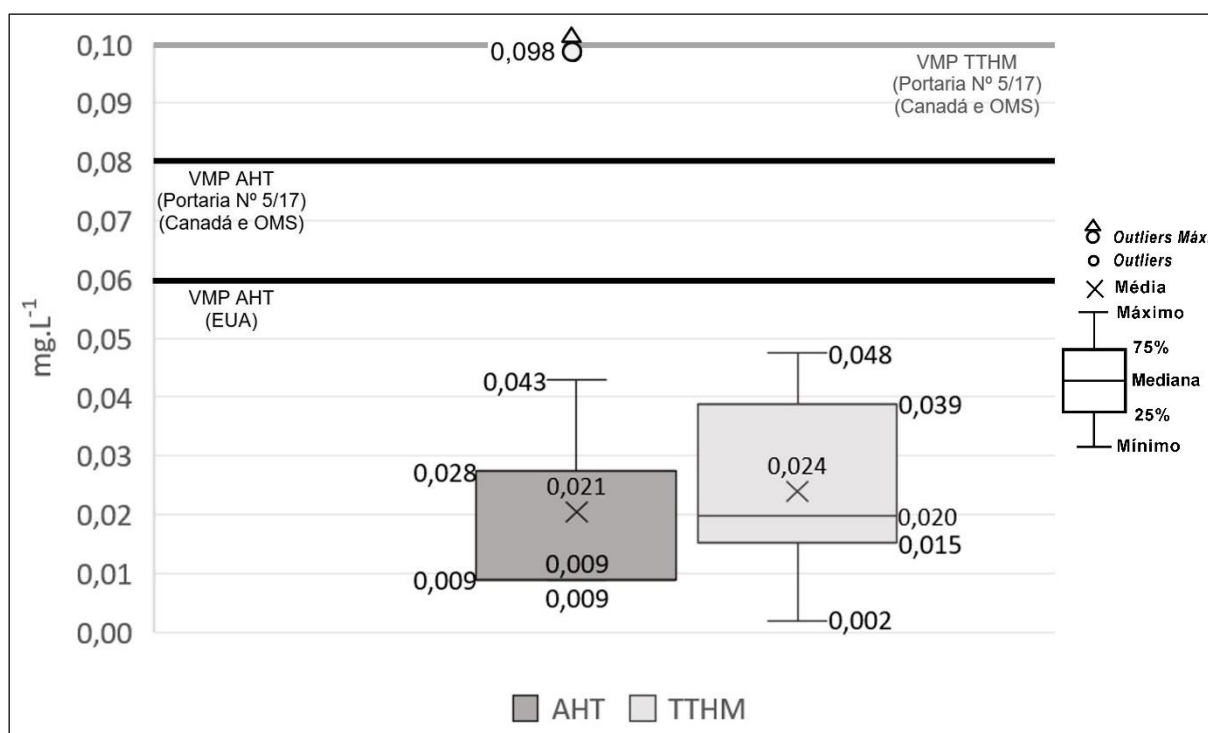
Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Tabela 9 – Distribuição da frequência anual em função do VMP de TTHM

Ano	Quantidade de amostras em relação ao VMP		Total de amostras
	$\leq 0,1$ mg/L	$> 0,1$ mg/L	
2015	4	0	4
2016	4	0	4
2017	4	0	4
2018	4	0	4
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>16</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Os dados estatísticos das amostras de AHT e TTHM referentes ao banco de dados do laboratório externo estão demonstrados no Gráfico 13. O detalhamento dos valores estatísticos estão demonstrados no Apêndice F.

Gráfico 13 – *Boxplot* dos dados do laboratório externo (de jan/15 a dez/18)

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

## 5.5 Atendimento à Portaria do MS Nº 5/17 (Anexo XX)

Para analisar do atendimento à Portaria Nº 5/17 do MS (Anexo XX), foram realizadas duas análises distintas, uma em relação ao plano de amostragem e outra em relação ao atendimento aos parâmetros de qualidade (padrão de potabilidade). Nos subitens 5.5.1 e 5.5.2 estão os resultados percentuais de atendimento à Portaria Nº 5/17 do MS (Anexo XX).

### 5.5.1 Plano de amostragem

Em relação ao plano de amostragem, o Quadro 15 demonstra que os parâmetros que não obtiveram um quantitativo de amostragem satisfatória, foram os parâmetros microbiológicos de CT e *E. coli*. Os demais parâmetros atenderam 100% ao quantitativo de amostras determinadas pela Portaria.

Quadro 15 – Percentual de atendimento ao quantitativo de amostragem anual na saída do tratamento e de produtos secundários da desinfecção (TTHM e AHT)

Banco de dados	Ano		2015	2016	2017	2018	Frequência
	Parâmetros						
Laboratório ETA	Turbidez <sup>(1)</sup>		100%	100%	100%	100%	2 em 2 horas
Laboratório ETA + Laboratório central	CRL		100%	100%	100%	100%	2 em 2 horas
	Íon fluoreto		100%	100%	100%	100%	2 em 2 horas
Laboratório central	CT		<b>92,31%</b>	<b>89,42%</b>	<b>93,27%</b>	<b>95,19%</b>	2 amostras semanais
	<i>E. coli</i>		– <sup>(2)</sup>	–	100%	100%	2 amostras semanais
Laboratório externo	AHT		100%	100%	100%	100%	Trimestral
	TTHM		100%	100%	100%	100%	Trimestral

(1): Na saída dos filtros (pré-desinfecção); (2): Não obteve amostragem pois todas as análises anuais indicaram CT "ausentes".

**Cinza escuro:** Não atenderam ao plano de amostragem anual.

Para os parâmetros de CT e *E. coli*, considerando 52 semanas no ano e duas amostras semanais, deveriam ter realizado um número mínimo de 104 amostras anuais. Entretanto pode-se observar que para o parâmetro de CT, o ano mais crítico foi 2016, o qual realizou 93 amostragens, faltando 11 amostras (10,58%) para atender ao plano mínimo de amostras anuais preconizado pela Portaria do MS Nº 5/17.

Para o parâmetro de *E. coli*, a ausência de amostragem (ano de 2015 e 2016) é devido as análises laboratoriais serem realizadas somente para as amostras cujo os resultados de CT indicar positivo (CT “presente”). Assim, conforme foi demonstrado anteriormente na Tabela 7, no ano de 2017 e 2018 foram realizadas 2 análises laboratoriais para *E. coli* e nos anos de 2015 e 2016 nenhuma análise laboratorial foi realizada pois todas as análises de CT foram negativas (CT “ausente”).

#### 5.5.2 Padrão de potabilidade

No atendimento aos parâmetros do padrão de potabilidade, o Quadro 16 demonstra que os parâmetros de *E. coli* e AHT obtiveram somente 50% das amostras analisadas com valores satisfatório para *E. coli* e 75% satisfatório para AHT. Os dois parâmetros (*E.coli* e AHT), devido ao baixo número de amostras de *E. coli* e a frequência de amostragem de AHT ser trimestral, obtivemos um baixo quantitativo de amostras, assim, como é o caso da *E. coli*, bastou 1 amostra com resultado positivo (“presença”) para representar 50% das amostras “fora do padrão de qualidade” (1 de 2) no ano 2018. No mesmo ano, para o parâmetro de AHT, de 4 amostras, uma estava acima do VMP, o que representou 25%, assim o percentual atendimento ao padrão de potabilidade foi de 75% das amostras analisadas.

Os demais parâmetros, quais as amostras não atingiram 100% de atendimento ao padrão de potabilidade, obtiveram um percentual de “não” atendimento entre 0,02% e 2,06%. Entretanto, vale ressaltar que o Quadro 16 (atendimento ao padrão de potabilidade) deve ser analisado em conjunto ao Quadro 15, como exemplo, o parâmetro de CT no Quadro 16 obteve 100% de qualidade nos anos de 2015 e 2016, porém, 7,69% e 10,58% das análises laboratoriais (Quadro 15) destes anos, respectivamente, não foram realizadas conforme preconiza a Portaria do MS Nº 5/17.

Quadro 16 – Percentual de atendimento ao padrão de potabilidade

Banco de dados	Ano		2015	2016	2017	2018	VMP
	Parâmetros						
Laboratório ETA	Turbidez <sup>(1)</sup>		<b>99,59%</b> <sup>(2)</sup>	<b>98,92%</b>	<b>99,63%</b>	<b>99,79%</b>	0,5 uT
Laboratório ETA + Laboratório central	CRL		100%	100%	<b>99,98%</b>	100%	5 mg.L <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup>
	Íon fluoreto		<b>99,98%</b>	100%	<b>99,98%</b>	100%	1,5 mg.L <sup>-1</sup>
Laboratório central	CT		100%	100%	<b>97,94%</b>	<b>97,98%</b>	Ausente em 100ml
	<i>E. coli</i>		– <sup>(4)</sup>	–	100%	<b>50%</b>	Ausente em 100ml
Laboratório externo	AHT		100%	100%	100%	<b>75%</b>	0,08 mg.L <sup>-1</sup>
	TTHM		100%	100%	100%	100%	0,1 mg.L <sup>-1</sup>

(1): Na saída dos filtros (pré-desinfecção) (2): 3 amostras > 1 uT; (3): Mínimo de 0,2 mg/L; (4): – Ausência de amostragem.  
**Cinza escuro:** Não atenderam aos parâmetros de qualidade da Portaria N.5/17 do MS (Anexo XX).

## 6 CONCLUSÃO

A aplicação dos critérios utilizados na metodologia do PSA na avaliação dos riscos na ETA do município de Viana e nos pontos de captação foi de grande importância, tanto no contexto de conhecer os riscos estruturais nas etapas e processos do tratamento, quanto na ampliação do conhecimento de avaliação de riscos. Tal metodologia, demonstrou-se como um instrumento preventivo para alertar possíveis riscos que possam estar presentes nos pontos captação e na ETA, como também, avaliar os riscos dos parâmetros de potabilidade estabelecidos pela Portaria do MS Nº 5/17 (Anexo XX).

A construção e concepção dos diagramas de fluxo permitiu um melhor entendimento das etapas de tratamento (ou processos), bem como, auxiliou no mapeamento dos riscos por etapa da ETA em estudo. Os *checklists* utilizados demonstraram-se como uma ferramenta de fácil aplicação, otimizando o tempo de identificação dos perigos e eventos perigosos.

Na avaliação de risco estrutural da ETA e pontos de captação, foi possível concluir que dentre as etapas que obtiveram maiores graus de risco na ETA Viana, colocando-as em ordem de importância, foi a etapa de reservação, floculação, filtração e decantação. Dentre os riscos, a manutenção/limpeza dos reservatórios e o monitoramento da água tratada na saída dos reservatórios devem ser priorizadas, assim como, o monitoramento da água de lavagem dos filtros.

Embora a avaliação de risco estrutural da ETA e dos pontos de captação obtiveram alguns riscos “altos”, os parâmetros de potabilidade obtiveram somente riscos baixos e médios, desta forma conclui-se que os riscos estruturais não afetaram diretamente os parâmetros de potabilidade analisados. O resultado da avaliação de risco dos parâmetros de potabilidade (Figura 28) convergiu os valores percentuais de atendimento da portaria ao padrão de potabilidade (Quadro 16). Em resumo, os parâmetros com menor percentual de atendimento (*E. coli* e AHT) obtiveram os seus graus de riscos classificados como médios na avaliação dos riscos.

## 7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se um estudo de pesquisa na comunidade localizada próxima a captação do rio Formate, que não é abastecida pela companhia de tratamento de água. Na pesquisa em campo, obteve-se ciência que esta comunidade consome água bruta captada diretamente nos mananciais. Assim, estudos relacionados com o consumo desta água e as patologias relacionadas seria de importante ajuda na orientação e conscientização desta população. Estes estudos não foram realizados pois não é objeto desta pesquisa.

Em complementação a presente pesquisa, pode-se ainda avaliar os parâmetros operacionais da ETA, para verificar a eficiência no processo de tratamento visando complementar os estudos de avaliação de riscos com essas análises.

As recomendações de continuação desta pesquisa, estendendo o estudo de avaliação de riscos relacionado a qualidade da água na rede de distribuição até o consumidor final. Assim, tal pesquisa seria complementar a esta, de maneira a abranger toda região abastecida pela companhia responsável, bem como, as demais ETAs e mananciais que abastecem o município de Viana-ES. De modo que, a avaliação de risco consiga atender os objetivos de implementação do PSA, avaliando os riscos da fonte de água bruta (mananciais) até o consumidor final.

Outras etapas de avaliação também devem ser complementares a esta pesquisa, tal como, Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), implementação de medidas mitigadoras e medidas de controle dos riscos, como também, as demais complementações aos requisitos do PSA como: o monitoramento operacional e a comunicação e gestão do PSA.

Cabe ressaltar, que a avaliação de risco deve ser realizada de forma contínua, sempre revendo os riscos e melhorando o processo de avaliação.

## REFERÊNCIAS

AGHAEI, M.; NABIZADE, R.; NASSERI, S.; NADDAFI, K.; MAHVI, A. H.; KARIMZADE, S. Risk assessment of water supply system safety based on WHO's water safety plan. Case study: Ardabil, Iran. **Desalination and Water Treatment**, v. 80, p. 133–141, 2017.

ALCAMO, J. Water quality and its interlinkages with the Sustainable Development Goals. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 36, p. 126–140, 2019.

ALMEIDA, M. C. C.; VIEIRA, P.; SMEETS, P. Extending the water safety plan concept to the urban water cycle. **Water Policy**, v. 16, n. 2, p. 298–322, 2014.

AMJAD, U. Q.; LUH, J.; BAUM, R., BARTRAM, J. Water safety plans: Bridges and barriers to implementation in North Carolina. *Journal of Water and Health*, v. 14, n. 5, p. 816–826, 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água. Panorama Nacional/Agência Nacional de Águas**, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br>>. Acesso em: 1 out. 2019.

BARRINGTON, D.; FULLER, K.; MCMILLAN, A. Water safety planning: adapting the existing approach to community-managed systems in rural Nepal. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 3, n. 3, p. 392, 2013.

BARTAK, R.; PAGE, D.; SANDHU, C.; GRISCHEK, T. SAINI, B.; MEHROTRA, I.; JAIN, C. K.; GHOSH, N.C. Application of risk-based assessment and management to riverbank filtration sites in India. **Journal of Water and Health**, v. 13, n. 1, p. 174–189, mar. 2015.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de Risco Aplicada ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: **Pádua, V. L. de. Remoção de Microrganismos Emergentes e Microcontaminantes Orgânicos no Tratamento de Água para Consumo Humano**. PROSAB 5. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 327–360.

BAUM, R.; BARTRAM, J. A systematic literature review of the enabling environment elements to improve implementation of water safety plans in high-income countries. **Journal of Water and Health**, v. 16, n. 1, p. 14–24, fev. 2017.

BENSOUSSAN, M. D'AVILA *et al.* **Plano de Segurança da Água: Na Visão de Especialistas**. 1. ed. São Paulo: SETRI, 2015. Disponível em: <<http://planosegurancaagua.com.br/>>. Acesso em: 08 maio 2018.

BERESKIE, T.; RODRIGUEZ, M. J. M. J.; SADIQ, R. Drinking Water Management and Governance in Canada: An Innovative Plan-Do-Check-Act (PDCA) Framework for a Safe Drinking Water Supply. **Environmental Management**, v. 60, n. 2, p. 243–262, 2017.



BEVILACQUA, P. D.; CARMO, R. F.; DE MELO, C. M.; BASTOS, R. K. X.; DE OLIVEIRA, D. C.; SOARES, A. C. C.; DE OLIVEIRA, J. F. Vigilância da qualidade da água para consumo humano no âmbito municipal: contornos, desafios e possibilidades. **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 2, p. 467–483, 2014.

BRASIL. **Lei Complementar nº 95**, de 26 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a elaboração, a redação, a alteração e a consolidação das leis. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Ministério da Saúde: Secretaria de Vigilância em Saúde, Brasília: Ministério da Saúde, p. 284, 2006.

BRASIL. **Relatório de implantação do Plano de Segurança da Água - Projeto Piloto Brasil - PSA/UFV**. Universidade Federal de Viçosa - UFV, p. 193, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância Ambiental em Saúde Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano Secretaria de Vigilância em Saúde**. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS**. Brasília: Ministério de Saúde, n. 1, p. 61, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5/2017**. Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 03 out. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914/2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 12 dez. 2011.

CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 426–434, 2008.

CARNEIRO, R. N. N.; DAMIÃO, S.; BENOLIEL, M. J. J. Water safety plans at EPAL's water supply system-tool to prioritize investments and mitigation actions. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 15, n. 5, p. 1106–1114, 2015.

CAUS, C. L. **Das fontes e chafarizes às águas limpas: evolução do saneamento no Espírito Santo**. 1. ed. Vitória: GSA Gráfica e Editora - CESAN, 2012. p. 529.

CESAN. Companhia Espírito Santense de Saneamento. **Dados do relatório de macromedição por município do 1º semestre de 2019**. Região da grande Vitória-ES. Viana-ES. 2019.

CHANG, Z. K.; CHONG, M. L.; BARTRAM, J. Analysis of water safety plan costs from case studies in the western pacific region. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 13, n. 5, p. 1358–1366, 2013.

COLLIVIGNARELLI, C. Water safety: one of the primary objectives of our time. **Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, p. 1, 1 jan. 2017.

DATASUS. Ministério da Saúde. **Informações de Saúde**. 2017 Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/evitb10es.def>>. Acesso em: 1 maio. 2019.

DE MAN, H. et al. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. **Water Research**, v. 48, n. 1, p. 90–99, 2014.

DE SOUZA, D. N. **Aplicação de avaliação do risco ao efluente em estações convencionais de tratamento de água: identificação e caracterização de perigos**. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2017.

DEERE, D.; STEVENS, M.; DAVISON, A.; HELM, G.; DUFOUR, A. Book section. Chapter 12: Management strategies. In: **Water Quality: Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease**. Padstow, England (United Kingdom). p. 1–431, 2001.

DEERE, D.; DAVISON, A. The Ps and Qs of risk assessment. **Water**, v. 32, n. 2, p. 84–93, 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B. D.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. ed. São Carlos: LDIBE Editora. p. 1246. 2017.

DO NASCIMENTO, R. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F.; DE OLIVEIRA, R.; DE SANTANA, C. F. D.; MEIRA, C. M. B. S. Simulação de alterações numa ETA convencional de porte médio para a produção de água segura / Changes simulation in a conventional ETA midsize to safe water production. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 439–450, 2016.

EFSTRATIOU, A.; ONGERTH, J. E.; KARANIS, P. Waterborne transmission of protozoan parasites: Review of worldwide outbreaks - An update 2011–2016. **Water Research**, v. 114, p. 14–22, 2017.

EPA. **2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables**. Washington, DC, United States (US), 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

GODFREY, S.; HOWARD, G. **Water safety plans: book 1 – planning water safety management for urban piped water supplies in developing countries**. London: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University. 122p, 2005.

HAYES, C. R. C. R. et al. An evaluation of sampling methods and supporting techniques for tackling lead in drinking water in Alberta Province. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 65, n. 5, p. 373–383, 2016.

HASS, C. N.; ROSE, J.; GERBA, C. P. **Quantitative microbial risk assessment**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 449p.

HEALTH CANADA. **Guidelines for Canadian Drinking Water Quality**. Ottawa, Ontario, 2019. Disponível em: <[https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/pdf/pubs/water-eau/sum\\_guide-res\\_recom/sum\\_guide-res\\_recom-eng.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom-eng.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2019.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª ed. Vol. 2. Minas Gerais: Editora UFMG, 2010. 428 p.

IBGE. Panorama do Estado do Espírito Santo. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/viana/panorama>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

KAYAGA, S. Effective water safety management of piped water networks in low-income urban settlements. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 3, n. 3, p. 402, 2013.

LANE, K.; STODDART, A. K.; GAGNON, G. A. Water safety plans as a tool for drinking water regulatory frameworks in Arctic communities. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1–13, 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4ª ed. Revisada e ampliada. São Paulo. Campinas: Editora Átomo, 2017. 638 p.

MAGTIBAY, B. B. B. An index model for evaluating water safety plans in the Philippines. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 17, n. 4, p. ws2017015, 7 fev. 2017.

MOREIRA, N. A.; BONDELIND, M. Safe drinking water and waterborne outbreaks. **Journal of Water and Health**, v. 15, n. 1, p. 83–96, 2017.

MUDAU, L. S. L. S.; MUKHOLA, M. S. M. S.; HUNTER, P. R. P. R. Systematic risk management approach of household drinking water from the source to point of use. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 7, n. 2, p. 290–299, 2017.

NIJHAWAN, A.; JAIN, P.; SARGAONKAR, A.; LABHASETWAR, P.K. Implementation of water safety plan for a large-piped water supply system. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 9, p. 5547–5560, 2014.

OMAR, Y. Y.; PARKER, A.; SMITH, J. A.; POLLARD, S. J. T. Risk management for drinking water safety in low and middle income countries - cultural influences on water safety plan (WSP) implementation in urban water utilities. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 895–906, jan. 2017.

PARKER, A.; SUMMERILL, C. Water safety plan implementation in East Africa: Motivations and barriers. **Waterlines**, v. 32, n. 2, p. 113–124, 2013.

PETTERSON, S. R. R.; ASHBOLT, N. J. J. QMRA and water safety management: review of application in drinking water systems. **Journal of Water and Health**, v. 14, n. 4, p. 571–589, ago. 2016.

PMV – Prefeitura Municipal de Viana-ES. **Plano Municipal de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Viana**. 2016. Disponível em: <<http://www.viana.es.gov.br/site/download/1493744898638-plano-de-saneamento-bsico-e-gesto-integrada-de-resduos-slidos-de-viana.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

POHLMANN, P. H. M.; FRANCISCO, A. A.; FERREIRA, M. A.; JABBOUR, C. J. C. Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 485–492, set. 2015.

POST, Y.; THOMPSON, E.; MCBEAN, E. Insights into the challenges of risk characterization using drinking water safety plans. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 44, n. 5, p. 321–328, maio 2017.

RAMONA, S. E. Advantages and Disadvantages of Quantitative and Qualitative Information Risk Approaches. **Chinese Business Review**, v. 10, n. 12, p. 1106–1110, 2011.

REID, D. C. C. et al. Implementation of Alberta's drinking water safety plans. **Water Quality Research Journal of Canada**, v. 49, n. 1, p. 5–9, 2014.

RONDI, L.; SORLINI, S.; COLLIVIGNARELLI, M. C. M. C. Sustainability of water safety plans developed in Sub-Saharan Africa. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 8, p. 11139–11159, 2015.

SEGHEZZO, L.; GATTO D'ANDREA, M. L.; IRIBARNEGARAY, M. A.; LIBERAL, V. I.; FLEITAS, A.; BONIFACIO, J. L. Improved risk assessment and risk reduction strategies in the Water Safety Plan (WSP) of Salta, Argentina. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 13, n. 4, p. 1080, ago. 2013.

SORLINI, S. BIASIBETTI, M.; ABBÀ, A.; COLLIVIGNARELLI, M. C.; DAMIANI, S. Water Safety Plan for drinking water risk management: the case study of Mortara (Pavia, Italy). **Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 4, p. 513, 28 jun. 2017.

STABEN, N.; NAHRSTEDT, A.; MERKEL, W. Securing safe drinking water supply under climate change conditions. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 15, n. 6, p. 1334–1342, 2015.

STRING, G.; LANTAGNE, D. A systematic review of outcomes and lessons learned from general, rural, and country-specific Water Safety Plan implementations. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 16, n. 6, p. 1580–1594, 2016.

SUMMERILL, C.; POLLARD, S. J. T. S. J. T.; SMITH, J. A. J. A. The role of organizational culture and leadership in water safety plan implementation for improved

risk management. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4319–4327, 2010.

SUNGER, N.; HAAS, C. N. Quantitative Microbial Risk Assessment for Recreational Exposure to Water Bodies in Philadelphia. **Water Environment Research**, v. 87, n. 3, p. 211–222, 2015.

VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S. G. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 109–119, 2019.

VICENTE, H. et al. An Adverse Event Reporting and Learning System for Water Sector Based on an Extension of the Eindhoven Classification Model. **Water Resources Management**, v. 29, n. 14, p. 4927–4943, 1 nov. 2015.

VIDAL, A. P.; CABRERA, L. G. D.; RIVERA, J. C. E.; VÉLEZ, C. H. C.; LOZADA, P. T. Análisis de peligros y puntos críticos de control en plantas convencionales de tratamiento de agua. **Interciencia**, v. 43, n. 2, p. 85–92, 2018.

VIDAL, A. P.; LOZADA, P. T.; RIVERA, J. E. Hazard Identification in Watersheds Based on Water Safety Plan Approach: Case Study of Cali-Colombia. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 15, n. 4, p. 861–872, 2016.

VIEIRA, J. M. P. Plano de Segurança da Água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, n. 2317–563X, p. 87–97, 2013.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C. **Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento**. Universidade do Minho: Instituto de Águas e Resíduos ed. 162 p., 2005. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4609/1/guia\\_7.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4609/1/guia_7.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2018.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 3. ed. Geneva: WHO Library, 2004.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. Geneva: WHO Library, 2011.

WHO. **Developing drinking-water quality regulations and standards: general guidance with a special focus on countries with limited resources**. Geneva: WHO Library, 2018.

WHO; IWA. **Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. Geneva: WHO Library, 2009.

WHO; IWA. **Global status report on water safety plans: A review of proactive risk assessment and risk management practices to ensure the safety of drinking-water**. Geneva: WHO Library, p. 44., 2017.

YE, B.; CHEN, Y.; LI, Y.; LI, H.; YANG, L.; WANG, W. Risk assessment and water safety plan: Case study in Beijing, China. **Journal of Water and Health**, v. 13, n. 2, p. 510–521, 2015.

## APÊNDICE A

Quadro 17 – Checklist aplicado no ponto de captação e na adução de água bruta do Rio Formate

Ponto de captação e adução	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	P-1-1	Assoreamento		X		
	P-1-2	Acesso de animais	X			
	P-1-3	Acesso de pessoas estranhas	X			
	P-1-4	Problemas estruturais				
	P-1-5	Estratificação da água		X		
	P-1-6	Eutrofização e <i>bloom</i> de algas		X		
	P-1-7	Insuficiente capacidade de armazenamento	X			
	P-1-8	Ocorrências de florações de cianobactérias		X		
	P-1-9	Contaminação por efluentes domésticos a montante da captação		X		
	P-1-10	Contaminação por efluentes industriais a montante da captação		X		
	P-1-11	Elevação acentuada da turbidez devido a chuvas intensas	X			
	P-1-12	Contaminação por águas pluviais oriundas de áreas urbanas (drenagem urbana)		X		
	P-1-13	Precário estado de conservação dos mecanismos de tomada		X		
	P-1-14	Perda de água		X		
	P-1-15	Inexistência de bomba reserva			X	Manancial abastece a ETA por gravidade.
	P-1-16	Ausência de proteção das estações de tomada		X		
	P-1-17	Inadequado ponto de captação		X		
	P-1-18	Elevação, crítica, do nível de água (inviabilização da captação)		X		
	P-1-19	Profundidade inadequada do mecanismo de bombeamento			X	Manancial abastece a ETA por gravidade.
	P-1-20	Ausência de plano de emergência	X			
	P-1-21	Ausência de manutenção preventiva das adutoras		X		A adutora será trocada em breve (as obras de instalação estão execução).
	P-1-22	Inexistência de mecanismos de controle (válvulas de retenção e ventosas)		X		Possui somente ventosa.
	P-1-23	Existência de ocupações humanas e de construções nas faixas de terreno sob as quais estejam implantadas as adutoras	X			
	P-1-24	Existência de falhas mecânicas, elétricas e estruturais?		X		
	P-1-25	Rompimentos de adutoras	X			
	P-1-26	Inexistência de obstáculos a sólidos grosseiros		X		
	P-1-27	Inexistência de caixa de areia			X	Existe uma barragem no ponto de captação.
P-1-28	Inexistência de gradeamento	X			Existe um crivo instalado na admissão da adutora.	

(1) Índice de referência evento perigoso (ver detalhamento na Figura 13).

## APÊNDICE B

Quadro 18 – Checklist aplicado no ponto de captação e na adução de água bruta do Rio Santo Agostinho

Ponto de captação e adução	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	P-1-1	Assoreamento		X		
	P-1-2	Acesso de animais	X			
	P-1-3	Acesso de pessoas estranhas	X			
	P-1-4	Problemas estruturais		X		
	P-1-5	Estratificação da água		X		
	P-1-6	Eutrofização e <i>bloom</i> de algas		X		
	P-1-7	Insuficiente capacidade de armazenamento	X			
	P-1-8	Ocorrências de florações de cianobactérias		X		
	P-1-9	Contaminação por efluentes domésticos a montante da captação		X		
	P-1-10	Contaminação por efluentes industriais a montante da captação		X		
	P-1-11	Elevação acentuada da turbidez devido a chuvas intensas	X			
	P-1-12	Contaminação por águas pluviais oriundas de áreas urbanas (drenagem urbana)		X		
	P-1-13	Precário estado de conservação dos mecanismos de tomada	X	X		
	P-1-14	Perda de água		X		
	P-1-15	Inexistência de bomba reserva	X			
	P-1-16	Ausência de proteção das estações de tomada	X	X		
	P-1-17	Inadequado ponto de captação		X		
	P-1-18	Elevação, crítica, do nível de água (inviabilização da captação)		X		
	P-1-19	Profundidade inadequada do mecanismo de bombeamento		X		
	P-1-20	Ausência de plano de emergência	X			
	P-1-21	Ausência de manutenção preventiva das adutoras	X			
	P-1-22	Inexistência de mecanismos de controle (válvulas de retenção e ventosas)		X		válvula de retenção inoperante, mas possui ventosa.
	P-1-23	Existência de ocupações humanas e de construções nas faixas de terreno sob as quais estejam implantadas as adutoras	X			
	P-1-24	Existência de falhas mecânicas, elétricas e estruturais?		X		
	P-1-25	Rompimentos de adutoras		X		
	P-1-26	Inexistência de obstáculos a sólidos grosseiros		X		
	P-1-27	Inexistência de caixa de areia		X		
P-1-28	Inexistência de gradeamento	X				

(1) Índice de referência do evento perigoso (ver detalhamento na Figura 13).

## APÊNDICE C

Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
<b>1 - Coagulação/Mistura Rápida</b>	E-1-1	Ausência do equipamento jarrest na ETA		X		
	E-1-2	Reduzida frequência de realização do teste de jarros		X		
	E-1-3	Ausência de ensaios para estabelecimento de concentração, pH e dose ótimos		X		
	E-1-4	Armazenamento incorreto do coagulante		X		
	E-1-5	Ineficiência do dosador		X		Não atende a vazão adequada de aplicação do coagulante em função da vazão de entrada da água bruta. (subdimensionado ou superdimensionado).
	E-1-6	Ponto de aplicação do coagulante inadequado		X		
	E-1-7	Ausência de bomba dosadora reserva		X		
	E-1-8	Ausência de agitador mecânico para vazão reduzida nos períodos de estiagem entre outros (gradiente de velocidade de mistura rápida reduzido)	X			
<b>2 - Flocculação</b>	E-2-9	Deposição excessiva de sedimentos no floculador		X		
	E-2-10	Problemas estruturais nas instalações do floculador		X		
	E-2-11	Necessidade de trocas das chicanas	X			
	E-2-12	Existência excessiva de fluxos preferenciais, afetando o perfil hidráulico do floculador		X		
	E-2-13	Intervalo de tempo excessivo entre as operações de limpeza do floculador	X			

(continuação)



Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

(continuação)

3 - Decantação	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	E-3-14	Tempo de detenção inadequado, favorecimento de zonas mortas ou curtos-circuitos		X		
	E-3-15	Vazão operacional superior à vazão de projeto		X		
	E-3-16	Má distribuição da vazão nas bordas vertedouras do decantador		X		
	E-3-17	Problemas estruturais		X		
	E-3-18	Existência de correntes ascensionais, ressuspensão de lodo		X		
	E-3-19	Ocorrência de flotação (formação de flocos na superfície do decantador)		X		
	E-3-20	Intervalo de tempo excessivo entre as operações de limpeza	X			
	E-3-21	Ausência do monitoramento da qualidade da água (análises laboratoriais)		X		
	E-3-22	Coleta inadequada da água decantada ou ponto de coleta inadequado no decantador		X		
	E-3-23	Presença de cianobactérias e cianotoxinas			X	
	E-3-24	Ausência de tratamento do lodo do decantador	X			

(continuação)

Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

(continuação)

4 - Filtração	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	E-4-25	Ausência ou falha de monitoramento da carreira de filtração (não é monitoramento o tempo de operação do processo de filtração cada filtro ou ocorre falha nos registros dos períodos)		X		Carreira de filtração = tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra.
	E-4-26	Ausência de monitoramento da qualidade da água efluente (água filtrada)		X		
	E-4-27	Leito filtrante deteriorado e/ou má distribuição dos grãos do leito (granulometria)		X		
	E-4-28	Perda de leito filtrante		X		
	E-4-29	Deficiência do processo de filtração em 01 ou mais filtros		X		Amostras comumente fora dos padrões de potabilidade.
	E-4-30	Excesso de carga hidráulica		X		
	E-4-31	Ausência de lavagem superficial do leito	X			NBR 12.216 (1992): <b>5.12.8.2</b> Em estações com capacidade superior a 10.000 m <sup>3</sup> /dia (115,74 L/s), a agitação deve ser feita hidráulicamente, na camada superficial do filtro, ou mediante a introdução de ar comprimido a partir do fundo.
	E-4-32	Ausência de monitoramento e/ou controle da expansão do leito filtrante	X			
	E-4-33	Ausência de monitoramento da qualidade microbiológica da água de lavagem	X			
E-4-34	Ausência de tratamento da água de lavagem	X				

(continuação)

Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

(continuação)

	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
4 - Filtração	E-4-35	Elevada razão de recirculação			X	
	E-4-36	Má distribuição da água de lavagem		X		
	E-4-37	Insatisfatória conservação dos registros/válvulas e estruturas de controle de vazão de água de lavagem e de água filtrada		X		
	E-4-38	Exposição a céu aberto dos filtros ascendentes			X	
5 - Desinfecção	E-5-39	Estado de conservação dos equipamentos de dosagem insatisfatório		X		
	E-5-40	Ausência de conhecimento e controle acerca do tempo de contato		X		
	E-5-41	Existência de vazamentos e/ou fissuras nas paredes do tanque de contato		X		
	E-5-42	Falha no fornecimento contínuo do produto desinfectante (falta de desinfectante na ETA)		X		Já ocorreu parada na produção de água devido a falta de desinfectante ?
	E-5-43	Ausência de monitoramento dos subprodutos		X		
	E-5-44	Ausência e/ou falha de controle do residual de cloro livre		X		
	E-5-45	Residual insuficiente		X		
	E-5-46	pH de desinfecção insatisfatório		X		
	E-5-47	Inexistência de desinfetante alternativo caso ocorra falha no abastecimento e/ou seja necessário trocar do desinfectante utilizado (falta no mercado)	X			Não existe desinfectante alternativo, caso ocorra falha no abastecimento do desinfectante utilizado.
	E-5-48	Problemas estruturais (no local de armazenamento do produto desinfectante e/ou no tanque de contato)		X		
E-5-49	Aplicação do desinfetante em ponto inadequado		X		Quando não é utilizado tanque de contato ou o ponto de aplicação do desinfectante não é localizado na entrada do tanque de contato (aplicação no meio do tanque ou próximo a saída).	

(continuação)

Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

(continuação)

6 - Reservação de água tratada	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	E-6-50	Estado de conservação dos reservatórios insatisfatório e/ou problemas estruturais de corrosão, fissuras, entre outros.	X			Ferragem estrutural exposta, escada enferrujada, dutos de ventilação e/ou extravasor enferrujados, entre outros.
	E-6-51	A abertura de inspeção (porta de visita) não possui tampa inteiramente fechada e/ou as bordas não possuem altura mínima de 10cm da cobertura do reservatório		X		NBR 12.217 (1994): <b>5.13.1</b> Cada câmara de reservação deve ter, pelo menos, uma abertura de inspeção, com dimensão mínima de 0,60 m, fechada com tampa inteiriça, dotada de dispositivo de travamento. <b>5.13.3</b> As bordas da abertura de inspeção devem estar pelo menos 0,10 m acima da superfície da cobertura.
	E-6-52	Ausência de dutos de ventilação para entrada e saída de ar		X		NBR 12.217 (1994): <b>5.14.1</b> O reservatório deve possuir ventilação para entrada e saída de ar, feita por dutos protegidos com tela e com cobertura que impeça a entrada de água de chuva e limite a entrada de poeira.
	E-6-53	Ausência de tela de proteção nos dutos de entrada e saída de ar do reservatório		X		NBR 12.217 (1994): <b>5.14.1</b> O reservatório deve possuir ventilação para entrada e saída de ar, feita por dutos protegidos com tela e com cobertura que impeça a entrada de água de chuva e limite a entrada de poeira.
	E-6-54	Existência de acúmulo de sedimentos na cobertura do reservatório ou ao redor		X		Folhagem, areia, galhos de árvore entre outros
	E-6-55	A cobertura do reservatório não escoar naturalmente a água pluvial (ocorrência de água parada)		X		NBR 12.217 (1994): <b>5.12.1</b> A cobertura do reservatório deve proporcionar escoamento natural das águas pluviais e impedir a entrada de água, animais e corpos estranhos.

(continuação)

Quadro 19 – Checklist aplicado na ETA do município de Viana

(conclusão)

6 - Reservação de água tratada	Índice de ref. (1)	Eventos Perigosos	Ocorre	Não ocorre	Não se aplica	Observações
	E-6-56	Contaminação externa de água e/ou sedimentos (água de chuva entre outros)		X		
	E-6-57	Dificuldade em manter-se o residual de cloro		X		
	E-6-58	Ausência de monitoramento da qualidade da água na saída do reservatório (análises laboratoriais)	X			
	E-6-59	Ausência de monitoramento do nível de água do reservatório (régua de nível)	X			NBR 12.217 (1994): <b>5.15.1</b> O reservatório deve ser dotado de dispositivo indicador do nível de água.
	E-6-60	Insuficiência de reserva para atender as variações horárias de consumo		X		
	E-6-61	Operações de limpeza e/ou operações de manutenção ineficientes.	X			
	E-6-62	Possibilidade de refluxo		X		Caso a cota de entrada do reservatório tenha nível próximo a saída do tanque de contato ou caso o reservatório não possua extravasor.

(1) Índice de referência do evento perigoso (ver detalhamento na Figura 13).

## APÊNDICE D

Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade

Ano	Probabilidade (P)	Gravidade das consequências (G)	Limite da Gravidade (ver Tabela 5)	Pontuação do Risco (P x G) <sup>(1)</sup>	Pontuação do risco (média anual)	Grau de risco (anual)	Pontuação do risco (média P x G)	Grau de risco <sup>(2)</sup>
<b>Turbidez <sup>(3)</sup></b>	<b>2015</b>	5	1	≤ 0,5 uT	5	<b>Baixo</b>	4,19	<b>Baixo</b>
		2	2	> 0,5 e ≤ 1 uT	4			
		1	3	> 1 e ≤ 1,5 uT	3			
		1	4	> 1,5 e ≤ 2,5 uT	4			
		— <sup>(4)</sup>	5	> 2,5 uT	—			
	<b>2016</b>	5	1	≤ 0,5 uT	5	<b>Baixo</b>		
		2	2	> 0,5 e ≤ 1 uT	4			
		1	3	> 1 e ≤ 1,5 uT	3			
		2	4	> 1,5 e ≤ 2,5 uT	8			
		—	5	> 2,5 uT	—			
	<b>2017</b>	5	1	≤ 0,5 uT	5	<b>Baixo</b>		
		1	2	> 0,5 e ≤ 1 uT	2			
		1	3	> 1 e ≤ 1,5 uT	3			
		1	4	> 1,5 e ≤ 2,5 uT	4			
		1	5	> 2,5 uT	5			
	<b>2018</b>	5	1	≤ 0,5 uT	5	<b>Baixo</b>		
		2	2	> 0,5 e ≤ 1 uT	4			
		1	3	> 1 e ≤ 1,5 uT	3			
		—	4	> 1,5 e ≤ 2,5 uT	—			
		—	5	> 2,5 uT	—			

(continuação)

Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade

(continuação)

Ano	Probabilidade (P)	Gravidade das consequências (G)	Limite da Gravidade (ver Tabela 5)	Pontuação do Risco (P x G) <sup>(1)</sup>	Pontuação do risco (média anual)	Grau de risco (anual)	Pontuação do risco (média P x G)	Grau de risco <sup>(2)</sup>
<b>CRL</b>	<b>2015</b>	5	1	$\geq 0,2$ e $\leq 2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	<b>Baixo</b>	<b>3,56</b>	<b>Baixo</b>
		1	2	$> 2$ e $\leq 3,4$ mg.L <sup>-1</sup>	2			
		—	3	$> 3,4$ e $\leq 5$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	4	$> 5$ e $< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	5	$< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup> e CT (presente)	—			
	<b>2016</b>	5	1	$\geq 0,2$ e $\leq 2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	<b>Baixo</b>		
		1	2	$> 2$ e $\leq 3,4$ mg.L <sup>-1</sup>	2			
		—	3	$> 3,4$ e $\leq 5$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	4	$> 5$ e $< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	5	$< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup> e CT (presente)	—			
	<b>2017</b>	5	1	$\geq 0,2$ e $\leq 2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	<b>Baixo</b>		
		1	2	$> 2$ e $\leq 3,4$ mg.L <sup>-1</sup>	2			
		—	3	$> 3,4$ e $\leq 5$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		1	4	$> 5$ e $< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup>	4			
		—	5	$< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup> e CT (presente)	—			
	<b>2018</b>	5	1	$\geq 0,2$ e $\leq 2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	<b>Baixo</b>		
		1	2	$> 2$ e $\leq 3,4$ mg.L <sup>-1</sup>	2			
		—	3	$> 3,4$ e $\leq 5$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	4	$> 5$ e $< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup>	—			
		—	5	$< 0,2$ mg.L <sup>-1</sup> e CT (presente)	—			

(continuação)

Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade

(continuação)

Ano	Probabilidade (P)	Gravidade das consequências (G)	Limite da Gravidade (ver Tabela 5)	Pontuação do Risco (P x G) <sup>(1)</sup>	Pontuação do risco (média anual)	Grau de risco (anual)	Pontuação do risco (média P x G)	Grau de risco <sup>(2)</sup>
CT e <i>E. coli</i>	2015	5	1	CT (ausente) e <i>E. coli</i> (ausente)	5	5	Baixo	6,57
		—	4	CT (presente) e <i>E. coli</i> (ausente)	—			
		—	5	CT (presente) e <i>E. coli</i> (presente)	—			
	2016	5	1	CT (ausente) e <i>E. coli</i> (ausente)	5	5	Baixo	
		—	4	CT (presente) e <i>E. coli</i> (ausente)	—			
		—	5	CT (presente) e <i>E. coli</i> (presente)	—			
	2017	5	1	CT (ausente) e <i>E. coli</i> (ausente)	5	6,5	Médio	
		2	4	CT (presente) e <i>E. coli</i> (ausente)	8			
		—	5	CT (presente) e <i>E. coli</i> (presente)	—			
	2018	5	1	CT (ausente) e <i>E. coli</i> (ausente)	5	7,67	Médio	
		2	4	CT (presente) e <i>E. coli</i> (ausente)	8			
		2	5	CT (presente) e <i>E. coli</i> (presente)	10			

(continuação)



Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade

(continuação)

	Ano	Probabilidade (P)	Gravidade das consequências (G)	Limite da Gravidade (ver Tabela 5)	Pontuação do Risco (P x G) <sup>(1)</sup>	Pontuação do risco (média anual)	Grau de risco (anual)	Pontuação do risco (média P x G)	Grau de risco <sup>(2)</sup>
Íon fluoreto	2015	5	1	$\geq 0,6$ e $< 1,2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	4,33	Baixo	4,33	Baixo
		1	3	$\geq 1,2$ e $\leq 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	3				
		1	5	$< 0,6$ ou $> 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	5				
	2016	5	1	$\geq 0,6$ e $< 1,2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	4	Baixo		
		1	3	$\geq 1,2$ e $\leq 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	3				
		—	5	$< 0,6$ ou $> 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	—				
	2017	5	1	$\geq 0,6$ e $< 1,2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	5	Baixo		
		—	3	$\geq 1,2$ e $\leq 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	—				
		1	5	$< 0,6$ ou $> 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	5				
	2018	5	1	$\geq 0,6$ e $< 1,2$ mg.L <sup>-1</sup>	5	4	Baixo		
		1	3	$\geq 1,2$ e $\leq 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	3				
		—	5	$< 0,6$ ou $> 1,5$ mg.L <sup>-1</sup>	—				

(continuação)

Quadro 20 – Planilha de classificação dos riscos dos parâmetros de potabilidade

(conclusão)

	Ano	Probabilidade (P)	Gravidade das consequências (G)	Limite da Gravidade (ver Tabela 5)	Pontuação do Risco (P x G) <sup>(1)</sup>	Pontuação do risco (média anual)	Grau de risco (anual)	Pontuação do risco (média P x G)	Grau de risco <sup>(2)</sup>
<b>AHT</b>	<b>2015</b>	5	1	≤ 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>	6,8	<b>Médio</b>
		—	5	> 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	—				
	<b>2016</b>	5	1	≤ 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>		
		—	5	> 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	—				
	<b>2017</b>	5	1	≤ 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>		
		—	5	> 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	—				
<b>2018</b>	4	1	≤ 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	4	9,5	<b>Alto</b>			
	3	5	> 0,08 mg.L <sup>-1</sup>	15					
<b>TTHM</b>	<b>2015</b>	5	1	≤ 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>	5	<b>Baixo</b>
		—	5	> 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	—				
	<b>2016</b>	5	1	≤ 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>		
		—	5	> 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	—				
	<b>2017</b>	5	1	≤ 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>		
		—	5	> 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	—				
<b>2018</b>	5	1	≤ 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	5	5	<b>Baixo</b>			
	—	5	> 0,1 mg.L <sup>-1</sup>	—					

(1) Pontuação do risco: Baixo < 6, Médio ≥ 6 e ≤ 9, Alto >9 e ≤15 e Muito alto > 15.

(2) Grau de risco do parâmetro de potabilidade.

(3) Amostras de turbidez do efluente dos filtros. Amostrados pós-filtração e pré-desinfecção.

(4) “—” Não obteve frequência de dados (sem probabilidade de ocorrência).

## APÊNDICE E

Quadro 21 – Dados estatísticos da água bruta - Rio Formate: análises do laboratório central no período de Jan/2015 a Dez/2018

Parâmetros	Qtd dados	Mínimo	Média	Mediana (2º Quartil)	Máximo	Moda	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão	Coefic. de Variação
Turbidez (uT)	18	1,80	6,05	5,08	18,00	11,00	3,24	8,38	4,21	0,70
<i>E. coli</i> (NMP.100ml <sup>-1</sup> )	49	3,00	247,76	61,00	2.420,00	29,00	25,00	172,00	461,34	1,86
Cianobactérias (Cél.ml <sup>-1</sup> )	48	0,00	171,52	84,00	1.523,00	0,00	0,00	209,50	277,23	1,62

**Qtd** - Quantidade; **Coefic.** - Coeficiente.

Quadro 22 – Dados estatísticos da água bruta - Rio Santo Agostinho: análises do laboratório central no período de Jan/2015 a Dez/2018

Parâmetros	Qtd dados	Mínimo	Média	Mediana (2º Quartil)	Máximo	Moda	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão	Coefic. de Variação
Turbidez (uT)	16	0,65	10,52	6,90	29,00	3,20	3,58	14,00	9,26	0,88
<i>E. coli</i> (NMP.100ml <sup>-1</sup> )	48	2,00	639,31	345,50	4.611,00	2.420,00	146,50	866,00	844,83	1,32
Cianobactérias (Cél.ml <sup>-1</sup> )	51	0,00	633,12	139,00	7.225,00	0,00	51,50	531,50	1.364,76	2,16

**Qtd** - Quantidade; **Coefic.** - Coeficiente.

## APÊNDICE F

Quadro 23 – Dados estatísticos do laboratório ETA no período de Jan/2015 a Dez/2018

Parâmetros	Qtd de dados	Valor Mínimo	Média	Mediana (2º Quartil)	Valor Máximo	Moda	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão	Coefic. de Variação
Turbidez <sup>(1)</sup> (água filtrada)	17.377	0,04	0,14	0,11	2,98	0,10	0,10	0,16	0,09	0,67
Turbidez (água tratada)	17.470	0,05	0,19	0,14	3,22	0,10	0,10	0,24	0,14	0,76
CRL	17.473	0,50	1,24	1,22	2,31	1,20	1,15	1,31	0,15	0,12
Íon fluoreto	17.452	0,19	0,69	0,69	1,00	0,69	0,65	0,74	0,06	0,08

(1) Pós-filtração e pré-desinfecção; **Qtd** - Quantidade; **Coefic.** - Coeficiente.

Quadro 24 – Dados estatísticos do laboratório central e do laboratório externo (AHT e TTHM) no período de Jan/2015 a Dez/2018

Parâmetros	Qtd de dados	Valor Mínimo	Média	Mediana (2º Quartil)	Valor Máximo	Moda	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão	Coefic. de Variação
Turbidez	385	0,10	0,31	0,25	1,60	0,10	0,10	0,40	0,70	0,85
CT	385	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<i>E. coli</i>	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CRL	385	0,80	1,42	1,40	7,00	1,40	1,20	1,50	0,38	0,27
Íon fluoreto	383	0,33	0,67	0,63	2,53	0,60	0,52	0,76	0,21	0,31
AHT	16	0,009	0,021	0,009	0,098	0,009	0,009	0,023	0,024	1,152
TTHM	16	0,002	0,024	0,020	0,048	NOM	0,016	0,037	0,015	0,608

**Qtd** - Quantidade; **N/A** - Não aplicável (dados qualitativos); **NOM** - Não ocorreu moda; **Coefic.** - Coeficiente.

## ANEXO A

### PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO DO MS N.º 5/2017

#### CAPÍTULO II DAS DEFINIÇÕES

**Art. 5º** Para os fins deste Anexo, são adotadas as seguintes definições: (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º)

**I** - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, I)

**II** - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, II)

**III** - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido neste Anexo; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, III)

**IV** - padrão organoléptico: conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, IV)

**V** - água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, V)

**VI** - sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, VI)

**VII** - solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, VII)

**VIII** - solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, VIII)

**IX** - rede de distribuição: parte do sistema de abastecimento formada por tubulações e seus acessórios, destinados a distribuir água potável até as ligações prediais; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, IX)

## PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO DO MS N.º 5/2017

**CAPÍTULO II  
DAS DEFINIÇÕES**

**X** - ligações prediais: conjunto de tubulações e peças especiais, situado entre a rede de distribuição de água e o cavalete, este incluído; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, X)

**XI** - cavalete: kit formado por tubos e conexões destinados à instalação do hidrômetro para realização da ligação de água; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XI)

**XII** - interrupção: situação na qual o serviço de abastecimento de água é interrompido temporariamente, de forma programada ou emergencial, em razão da necessidade de se efetuar reparos, modificações ou melhorias no respectivo sistema; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XII)

**XIII** - intermitência: é a interrupção do serviço de abastecimento de água, sistemática ou não, que se repete ao longo de determinado período, com duração igual ou superior a seis horas em cada ocorrência; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XIII)

**XIV** - integridade do sistema de distribuição: condição de operação e manutenção do sistema de distribuição (reservatório e rede) de água potável em que a qualidade da água produzida pelos processos de tratamento seja preservada até as ligações prediais; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XIV)

**XV** - controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XV)

**XVI** - vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento a este Anexo, considerados os aspectos socioambientais e a realidade local, para avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde humana; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XVI)

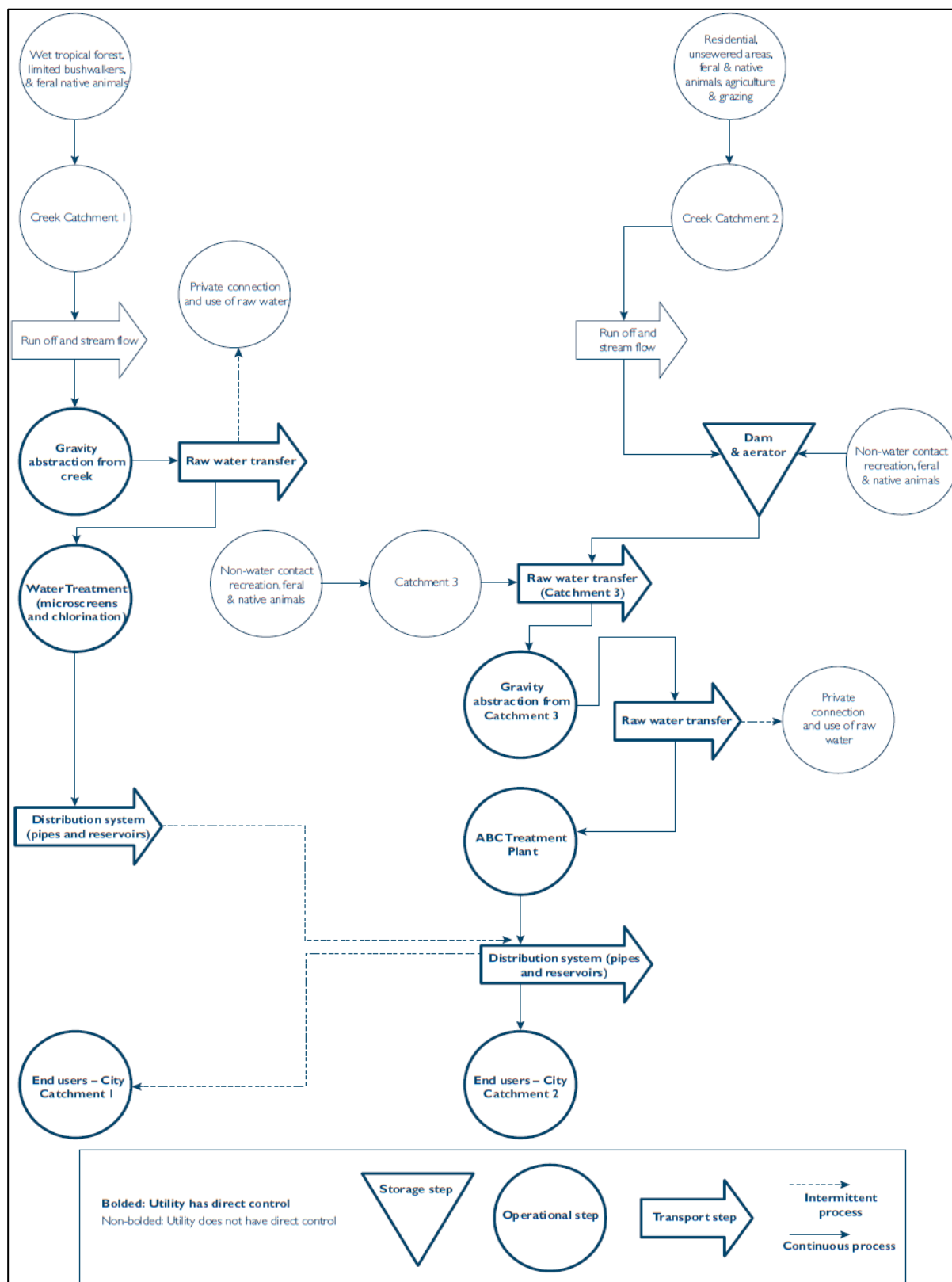
**XVII** - garantia da qualidade: procedimento de controle da qualidade para monitorar a validade dos ensaios realizados; (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XVII)

**XVIII** - recoleta: ação de coletar nova amostra de água para consumo humano no ponto de coleta que apresentou alteração em algum parâmetro analítico; e (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XVIII)

**XIX** - passagem de fronteira terrestre: local para entrada ou saída internacional de viajantes, bagagens, cargas, contêineres, veículos rodoviários e encomendas postais. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 5º, XIX)

## ANEXO B

Figura 29 – Exemplo de diagrama de fluxo da OMS



Fonte: WHO e IWA (2009).