

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

NATALIA RIBEIRO DA CONCEIÇÃO

Plano de Segurança da Água: a segurança como paradigma para a
gestão dos sistemas de abastecimento público

SÃO CARLOS

2018

NATALIA RIBEIRO DA CONCEIÇÃO

Plano de Segurança da Água: a segurança como paradigma para a
gestão dos sistemas de abastecimento público

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Montañó

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C744p Conceição, Natalia Ribeiro da
 Plano de Segurança da Água: a segurança como
paradigma para a gestão dos sistemas de abastecimento
público / Natalia Ribeiro da Conceição; orientador
Marcelo Montaña. São Carlos, 2018.

 Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2018.

 1. Plano de Segurança da Água. 2. Água potável. 3.
Avaliação de risco . 4. Vigilância. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Natalia Ribeiro da Conceição**

Data da Defesa: 22/11/2018

Comissão Julgadora:

Resultado:

Marcelo Montão (Orientador(a))

Aprovada

Angela Di Bernardo Dantas

APROVADA

Marcelo Zaiat

Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

A vocês, pai e mãe, o fruto daquilo que me ensinaram a ser.

AGRADECIMENTOS

A todos que possibilitaram minha formação em uma universidade pública de excelência.

Agradeço meus pais por darem suporte à construção dos meus sonhos e por terem me dado a base mais sólida que eu poderia ter: a humildade, a honestidade, a proatividade, e a compaixão.

À vó Regina por todas as velas acesas e orações feitas como torcida para minhas realizações. Minha mais pura gratidão ao seu carinho que tem cheiro de café e bolo de fubá.

Aos grandes mestres que conheci ao longo desse percurso acadêmico, minha profunda reverência e respeito. Sem vocês o caminho seria muito mais escuro. Obrigada pelo empenho e pela força transformadora que nos ajuda a enxergar.

Um agradecimento especial ao Mindu, professor que mais me colocou pulgas atrás da orelha e que muito contribuiu para o meu crescimento.

Impossível deixar de expressar minha imensa gratidão ao professor Marcelo Zaiat que tornou esses anos de graduação muito mais leves e otimistas. Obrigada por sua competência, pelas conversas e pelo engajamento.

Agradeço a Angela Di Bernardo Dantas pela admirável versatilidade, inteligência, dinamismo, abertura e força de vontade. Minha construção enquanto profissional se inspira muito em sua imagem. Obrigada também por me guiar e acreditar no meu potencial ao longo do estágio.

Também ao professor Luiz Di Bernardo minha gratidão pela oportunidade de beber na fonte de conhecimentos adquiridos ao longo de toda uma vida dedicada à nobre missão de cuidar da água. Obrigada por provocar em mim a vontade de mergulhar no caminho da aprendizagem.

A todos os meus amigos que estiveram comigo nesses anos de graduação, sobretudo à Miga (Bianca Nadai) que não só habita na mesma casa que eu, mas que habita em um espaço generoso no meu coração; à Mari Bertolin, que mesmo fugindo de São Carlos sempre que pode, faz questão de passar para me dar um abraço e de

manter as portas de Vargem sempre abertas para mim (e, claro, o sofá-delícia à minha espera), ao Pedro Hadba por me ensinar muito sobre ser coerente, além de compartilhar receitas que sempre reproduzirei (pasta de amendoim e granola caseira!), ao Leonardo Carvalho Machado (vulgo Poi, Léo Várzea, Léo Borracheiro, ou Leozera) por tantas conexões, pelo companheirismo e por toda abertura para acessarmos e experimentarmos nossa essência.

A todos os funcionários da USP que tornaram meus dias mais alegres com seus “bom dia”, com suas histórias e com nossas conversas. Obrigada Fátima (equipe da limpeza), Ciro (biblioteca), Antonio (equipe da segurança), Juca (equipe da segurança), Tia Vânia (a provedora de comidinhas que tanto paguei fiado), Silvana (secretaria), Fernando (o salvador dos PCs da amb), Edison (Centro Cultural), Juliana (labs), Pazu, Bruno (CCInt), André Luiz (que reacendeu meu amor pelo céu), Joãozinho (a pessoa mais eficiente e generosa da EESC, sem a qual os alunos ficariam ainda mais perdidos do que já são).

Obrigada a Deus pela liberdade de escolher meus caminhos.

*"De nuestros miedos
nacen nuestros corajes
y en nuestras dudas
viven nuestras certezas.
Los sueños anuncian
otra realidad posible
y los delirios otra razón.
En los extravíos
nos esperan hallazgos,
porque es preciso perderse
para volver a encontrarse."*

Eduardo Galeano

RESUMO

RIBEIRO, N. R. **Plano de Segurança da Água: a segurança como paradigma para a gestão dos sistemas de abastecimento público.** 2018. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2018.

No presente trabalho foram realizados o levantamento bibliográfico e a aplicação da metodologia de avaliação e gestão de riscos (*Hazard Analysis and Critical Control Point* – HACCP), empregada na elaboração de Planos de Segurança de Água (PSA). A metodologia foi aplicada no diagnóstico de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), que trata vazão média de 830 L/s, e que atende um município brasileiro de 120 mil habitantes. A partir do diagnóstico, foram identificados os perigos ligados à etapa de tratamento da água de abastecimento e os riscos associados foram quantificados. Para os riscos prioritários, estabeleceram-se medidas de controle, que visam reduzi-los ou eliminá-los, bem como o monitoramento de sua efetividade. A avaliação de riscos para a etapa de tratamento do sistema de abastecimento estudado apontou para a necessidade de melhorias (medidas de controle) na ETA, sobretudo relacionadas à etapa de filtração. Além disso, o monitoramento das medidas de controle resumiu-se, para o caso estudado, à observação de três parâmetros: vazão, turbidez e cloro residual livre. Por fim, a compreensão e a discussão metodológica do PSA apontam para a necessidade de controlar os perigos na fonte, na perspectiva de fortalecer as barreiras responsáveis pela prevenção de sua ocorrência.

Palavras chaves: Plano de Segurança da Água; Água potável; Avaliação de risco; Vigilância.

ABSTRACT

RIBEIRO, N. R. **Water Safety Plan: safety as a paradigm for the management of public supply systems**. 2018. Monografia (Trabalho de Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2018.

This monograph presents a bibliographic survey and application of the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) methodology, used in Water Safety Plans (WSP). The methodology has been applied in the diagnosis of a Drinking Water Treatment Plant, which treats an outflow of 830 L/s, and which serves a Brazilian municipality of 120 thousand inhabitants. From the diagnosis, the hazards related to the treatment step of the supply water have been identified and their associated risks have been quantified. For the priority risks, control measures have been established aiming to reduce or eliminate them, as well as monitoring their effectiveness. The risk assessment for the treatment of the supply system studied pointed to the need for structural and operational improvements in the Drinking Water Treatment Plant, mainly related to the filtration stage. In addition, the monitoring of control measures has been summarized, for the case studied, to the observation of three parameters: outflow, turbidity and free residual chlorine. Finally, the understanding and methodological discussion of the WSP point to the need of controlling the dangers at source, with the purpose of strengthening the barriers responsible for preventing its occurrence.

Keywords: Water Safety Plan; Drinking water; Risk assessment; Surveillance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuição dos contaminantes na água e a limitação das análises laboratoriais.....	30
Figura 2.2 - Objetivos do Plano de Segurança da Água	32
Figura 2.3 - Quadro de referências para o abastecimento público de água potável e segura	33
Figura 2.4 - Etapas de elaboração do PSA	35
Figura 4.1 – Diagrama de fluxo do sistema de abastecimento 1.....	48
Figura 4.2 - Árvore de decisão	66
Figura 5.1 – Localização das bacias hidrográficas que influenciam o manancial que abastece o município 1	69
Figura 5.2 – Diagrama de fluxo da ETA 1	77
Figura 5.3 - Variação da turbidez da água bruta e da água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários	86
Figura 5.4 - Variação da turbidez na água filtrada em cada um dos 10 filtros da ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários.....	88
Figura 5.5 - Variação do pH da água ao longo do tratamento na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 – valores médios diários	93
Figura 5.6 - Diagrama de solubilidade das espécies de alumínio em função do pH .	94
Figura 5.7 - Matéria orgânica na água bruta e na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários	95
Figura 5.8 - Alumínio residual na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários	96
Figura 5.9 - Cloro residual livre na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários	97
Figura 5.10 – Íon fluoreto na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários	98
Figura 5.11 – Fluxograma de aplicação de produtos químicos na ETA 1	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Check-list para o diagnóstico de ETAs considerando aspectos relacionados à segurança da água (continua).....	49
Quadro 4.2 – Ensaio e análises realizados durante a visita a campo para o diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água 1	55
Quadro 4.3 – Perigos e eventos perigosos em estações de tratamento de água	58
Quadro 4.4 - Ponderação para a probabilidade de ocorrência de eventos perigosos	61
Quadro 4.5 - Ponderação para a severidade das consequências de eventos perigosos.....	61
Quadro 4.6 - Ponderação dos riscos com base na probabilidade de ocorrência e na severidade das consequências	62
Quadro 4.7 - Classificação dos riscos	62
Quadro 4.8 – Atribuição da severidade dos perigos prioritários identificados na ETA 1	64
Quadro 5.1 - Parâmetros de qualidade de água bruta monitorados pelo Serviço de Abastecimento de Água do Município 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018.....	70
Quadro 5.2 – Resultados das análises de carbono orgânico total	73
Quadro 5.3 - Configuração dos dois módulos da ETA 1	78
Quadro 5.4 - Dimensões dos decantadores da ETA 1	80
Quadro 5.5 - Parâmetros de operação para os decantadores da ETA 1.....	80
Quadro 5.6 - Turbidez da água na saída de cada filtro nos dias 15 e 16 de julho de 2017, considerando valores médios diários	87
Quadro 5.7 - Porcentagem de amostras de água filtrada com turbidez em acordo com o padrão de potabilidade	89
Quadro 5.8 - Turbidez da água filtrada nos filtros remanescentes em operação	91
Quadro 5.9- Informações sobre a aplicação de produtos químicos na ETA 1	99
Quadro 5.10 – Identificação dos perigos - Controle Geral ETA.....	105
Quadro 5.11 - Identificação dos perigos - Adsorção em carvão ativado	107
Quadro 5.12 - Identificação dos perigos - Coagulação	108
Quadro 5.13 - Identificação dos perigos - Floculação	110
Quadro 5.14 - Identificação dos perigos - Decantação	111

Quadro 5.15 - Identificação dos perigos - Filtração	112
Quadro 5.16 - Identificação dos perigos - Fluoração	113
Quadro 5.17 - Identificação dos perigos - Desinfecção	114
Quadro 5.18 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Controle Geral ETA.....	115
Quadro 5.19 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Adsorção em carvão ativado	117
Quadro 5.20 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Coagulação.....	118
Quadro 5.21 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Floculação.....	119
Quadro 5.22 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Decantação.....	120
Quadro 5.23 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Filtração	121
Quadro 5.24 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Fluoração	122
Quadro 5.25 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Desinfecção	122
Quadro 5.26 - Pontos de controle, medidas de controle e limites críticos e operacionais para os perigos de risco “alto” identificados na ETA 1	124
Quadro 5.27 - Ações corretivas estabelecidas para os pontos de controle da ETA 1	129
Quadro 5.28 - Monitoramento operacional – Vazão de água bruta	132
Quadro 5.29 - Monitoramento operacional - Turbidez	133
Quadro 5.30 - Monitoramento operacional – Cloro residual livre.....	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COT	Carbono Orgânico Total
ETA	Estação de Tratamento de Água
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS / WHO	Organização Mundial da Saúde / World Health Organisation
ONU	Organização das Nações Unidas
PSA / WSP	Plano de Segurança da Água / Water Safety Plan
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	Introdução	25
2	Levantamento bibliográfico	29
2.1	A relevância dos Planos de Segurança da Água	29
2.2	Objetivos do PSA	31
2.3	Definições importantes.....	33
2.4	Etapas da elaboração do PSA	34
2.5	Estado da arte.....	40
2.6	O Brasil e a implementação do PSA.....	42
3	Objetivos	45
4	Materiais e métodos.....	47
4.1	Levantamento das informações	47
4.2	Visita a campo.....	54
4.3	Identificação dos perigos e estabelecimento do monitoramento operacional 56	
5	Resultados e discussão	67
5.1	Diagnóstico	67
5.1.1	Descrição geral do Sistema.....	67
5.1.2	Captação e qualidade da água do manancial.....	69
5.1.3	Sistema de Tratamento de Água	75
5.1.4	Análise dos dados operacionais e dos ensaios realizados durante a visita 85	
5.1.5	Produtos químicos.....	98
5.1.6	Identificação dos perigos e dos eventos perigosos	103
5.1.7	Identificação dos perigos, dos eventos perigosos e probabilidade de ocorrência	105
5.1.8	Análise dos riscos.....	115
5.1.9	Medidas de controle e parâmetros de monitoramento.....	123
5.1.10	Ações corretivas	128
5.1.11	Monitoramento operacional	131
6	Considerações finais.....	136
7	Conclusões	140
8	referências bibliográficas.....	142

1 INTRODUÇÃO

A provisão de serviços básicos, como abastecimento de água e saneamento, tem impactos diretos na proteção da saúde pública e na melhoria da qualidade de vida da população. Não à toa, o acesso à água segura e ao saneamento foi considerado um direito humano pela Organização das Nações Unidas (ONU), em sua Assembleia Geral em 2010 (VIEIRA, 2015).

Embora sejam perceptíveis os avanços no que diz respeito ao acesso à água potável, notadamente após o compromisso internacional pautado nas Metas do Milênio (1990), propostas pela Organização das Nações Unidas (ONU), o Brasil ainda possui grandes desafios em relação ao abastecimento de água potável. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao ano de 2016, 31 milhões de brasileiros viviam em domicílios sem acesso à água potável pela rede de distribuição. Além disso, sérias disparidades regionais demandam estratégias de gestão dos sistemas de abastecimento de água adaptadas ao contexto local: a região Norte tinha, em 2017, apenas 59,2% dos domicílios ligados à rede geral de distribuição, em contraposição aos 85,7% registrados para a média nacional e os 92,5% registrados na região Sudeste. Somam-se a isso situações de desabastecimento e intermitências na distribuição de água, que fazem parte da realidade de muitos brasileiros: 13,3% não têm acesso diário à água pela rede geral de abastecimento (IBGE, 2018).

É evidente que a falta de acesso à água potável contribui para que a população não atendida pelo sistema de abastecimento busque fontes alternativas, em geral, pouco confiáveis no que diz respeito à segurança e à qualidade da água. No entanto, mesmo a água distribuída pode apresentar riscos no que diz respeito à saúde pública. Ainda segundo o IBGE, em 2008, mais de 7% da água distribuída no Brasil não era tratada. Na região Norte, essa porcentagem ultrapassava 25% (IBGE, 2010). Ademais, o tratamento da água também não é garantia de água segura, tendo em vista a inadequação dos métodos convencionais de tratamento para água de mananciais com qualidade comprometida, as falhas e condições precárias de operação das Estações de Tratamento de Água (ETAs), e os eventuais problemas de contaminação ao longo da rede de distribuição (HESPANHOL, 2012; MORAIS, 2015).

Diante disso, é essencial que a gestão e operação de um sistema de abastecimento garanta a qualidade da água distribuída, considerando aspectos

microbiológicos, químicos, organolépticos e radiológicos, e a disponibilidade e fiabilidade no processo de produção e distribuição, tendo em vista as variações no consumo, a manutenção da pressão na rede, e o atendimento da rede 24 horas por dia e 7 dias por semana (VIEIRA, 2015).

No tocante da saúde pública, essas considerações apontam para a necessidade do controle de qualidade da água como indicativo de segurança. É notório que, atualmente, o controle realizado nos sistemas de abastecimento de água é orientado por padrões estabelecidos por normas específicas, as quais estão focadas, sobretudo, na etapa do tratamento da água. No caso do Brasil, a norma vigente para o controle da água tratada está contida no Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05, de 28 de setembro de 2017 (que revogou a Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011), do Ministério da Saúde.

Não obstante, esse tipo de controle da qualidade da água tratada apresenta uma série de limitações práticas que podem pôr à prova a questão da segurança da água. Dentre essas limitações, cita-se, por exemplo, o controle microbiológico, que se pauta em indicadores bacteriológicos que têm fraca correlação com outros microrganismos patogênicos eventualmente presentes na água, como vírus e protozoários. Além disso, os métodos analíticos não oferecem resultados suficientemente rápidos para se proceder com medidas corretivas ou evitar que a água potencialmente nociva à saúde seja consumida. A frequência de monitoramento e os volumes de água submetidos a análises são também, em geral, pouco representativos da qualidade e da segurança da água (VIEIRA, 2015).

À vista disso, a Organização Mundial da Saúde (OMS) propôs uma nova abordagem para o controle dos sistemas de abastecimento, através da implementação do Plano de Segurança da Água (PSA). Esses planos se pautam na metodologia de avaliação e gestão de riscos (*Hazard Analysis and Critical Control Point* - HACCP) e buscam indicar medidas para o controle dos potenciais perigos associados à água de consumo, desde à captação até à rede de distribuição, minimizando, assim, os riscos relacionados à segurança da água. Para tanto, os PSAs baseiam-se em estratégia preventiva de riscos, com enfoque em barreiras múltiplas, ao invés de uma estratégia corretiva, focada apenas no produto final, isto é, na água tratada (OLIVEIRA, 2010). Além disso, lança mão de uma abordagem sistêmica de gestão operacional com observância aos requisitos da ISO 9001:2015 e inclui

melhorias operacionais e inovação tecnológica (SILVA; PORTELA, 2017; WHO, 2009).

Embora não haja um modelo único e estrito para a elaboração e implementação do PSA, aponta-se para algumas etapas fundamentais que orientam e dão consistência a esses planos, a saber:

- descrição do sistema de abastecimento de água;
- identificação de perigos e avaliação dos riscos associados;
- implementação de medidas de controle para minimizar os riscos identificados;
- validação e revisão das medidas de controle;
- revisão e atualização contínua do PSA (processo iterativo).

O presente trabalho buscou estudar a aplicação da metodologia do PSA no sistema de tratamento de água de um município brasileiro, e, com base nisso, fazer apontamentos sobre os principais desafios e potenciais de aplicação desses planos à realidade brasileira.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1 A relevância dos Planos de Segurança da Água

Os sistemas de abastecimento de água visam garantir a produção e distribuição de água potável para o consumo humano. Nesse sentido, qual seria a utilidade de um Plano de Segurança da Água, já que o termo “potável” pressupõe “água que não oferece riscos à saúde” (BRASIL, 2011)? Para compreender a relevância do PSA é preciso partir da distinção entre potabilidade e segurança.

No Brasil, a Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017, que consolida as “normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde”, define, em seu artigo 5º:

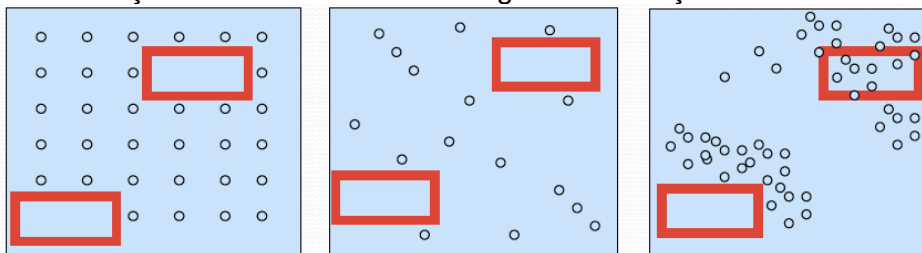
Art. 5º Para os fins desta Portaria, são adotadas as seguintes definições:
I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;
II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;
III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

Mancuso e Souza (2015), ressaltam que “água segura” significa que, além de não representar riscos à saúde, seja disponibilizada em quantidade suficiente para atender as necessidades humanas, que esteja continuamente disponível e que seja acessível do ponto de vista financeiro à população.

A OMS, por sua vez, define que água segura para o consumo é aquela que não representa riscos significativos à saúde humana incluindo a sensibilidade inerente a cada estágio de vida (WHO, 2004). Essa definição traz uma visão mais ampla do conceito de segurança, uma vez que água que atende os valores numéricos dos padrões de potabilidade não é, necessariamente, água segura para todos os consumidores. Por exemplo, não existe padrão de potabilidade para protozoários, ainda que esses microrganismos possam representar riscos à saúde. Consequentemente, água contendo protozoários pode ser considerada potável se não provocar surtos de doenças na população. Entretanto, não se pode dizer que essa água seja segura a todos os indivíduos, visto que a densidade desses microrganismos, ainda que baixa, pode afetar a saúde de pessoas mais suscetíveis, como crianças e idosos.

Além disso, como já foi mencionado, a amostragem da água, levando em consideração volume e frequência, pode ser pouco representativa da presença e concentração/densidade de contaminantes, levando a conclusões equivocadas sobre segurança. A Figura 2.1 ilustra essa situação, apontando que a amostragem é ocasional e pode não contemplar os contaminantes presentes na água a um nível que possam ser identificados.

Figura 2.1 - Distribuição dos contaminantes na água e a limitação das análises laboratoriais



Fonte: Vieira (2005)

Dessa maneira, o PSA representa uma mudança de paradigma no controle da qualidade da água, sendo um instrumento que permite superar a “arriscada sensação de segurança proporcionada pela amostragem e análise da água no sistema de abastecimento” (OPAS/OMS, 2017).

Para tanto, o PSA se baseia na compreensão do sistema de abastecimento a fim de identificar, avaliar e priorizar ameaças potenciais à qualidade e segurança da água, desde a fonte de captação até o consumidor final. Esse enfoque de barreiras múltiplas tem caráter preventivo, uma vez que o controle dos riscos, através da execução de medidas de controle, busca evitar que os perigos se mantenham ao longo das etapas do sistema de abastecimento (WHO, 2009).

É notório que, usualmente, o controle dos riscos é feito basicamente na etapa do tratamento, através da remoção de eventuais contaminantes (químicos e microbiológicos), visando ao atendimento aos padrões de potabilidade. No entanto, a qualidade da água é dinâmica no tempo e no espaço, sobretudo porque as atividades e usos do solo na bacia hidrográfica podem ser responsáveis pelo aporte de novos contaminantes à água, muitos dos quais não dispõem de padrão de potabilidade (SIMÕES; ALEGRETTI; AMARAL, 2015). Isso representa um grande desafio às Estações de Tratamento de Água (ETAs), especialmente àquelas com limitações estruturais, operacionais e de recursos financeiros, pois podem falhar, enquanto

barreira, na garantia de água segura aos consumidores. Fica claro, dessa forma, que o tratamento da água como medida mitigadora dos impactos ambientais sofridos pelos mananciais e como única barreira para conter perigos que oferecem riscos à saúde pública, não assegura a inocuidade da água, do ponto de vista da segurança.

Nesse sentido, o PSA não deve ser elaborado pelo serviço de abastecimento de maneira isolada e considerando somente a etapa de tratamento. A prevenção e minimização de riscos pode envolver terceiros e requerer sua colaboração, especialmente no que concerne às medidas de controle a serem implementadas na bacia hidrográfica (WHO, 2009). Essa colaboração é bastante coerente, visto que a segurança da água é interesse de todos os usuários, não apenas do serviço de abastecimento.

Finalmente, a metodologia do PSA não garante somente ganhos em relação à melhoria da qualidade e segurança da água mas, se bem executado, pode representar, a longo prazo, economias e melhor aproveitamento dos recursos, uma vez que permite identificar e priorizar as melhorias que devem ser implementadas em todo o sistema de abastecimento e reduzir custos com a potabilização da água, devido ao controle dos contaminantes desde a fonte de captação (WHO, 2009).

2.2 Objetivos do PSA

Resumidamente, o PSA tem por objetivo garantir sistematicamente a segurança e acessibilidade da água de consumo fornecida por um sistema de abastecimento de água (SAA), a partir de melhorias nas práticas de gestão e operação, do maior conhecimento sobre o sistema e sua vulnerabilidade, e de melhorias na comunicação e na colaboração entre os usuários e os envolvidos no SAA (WHO, 2009; FUNASA, 2013).

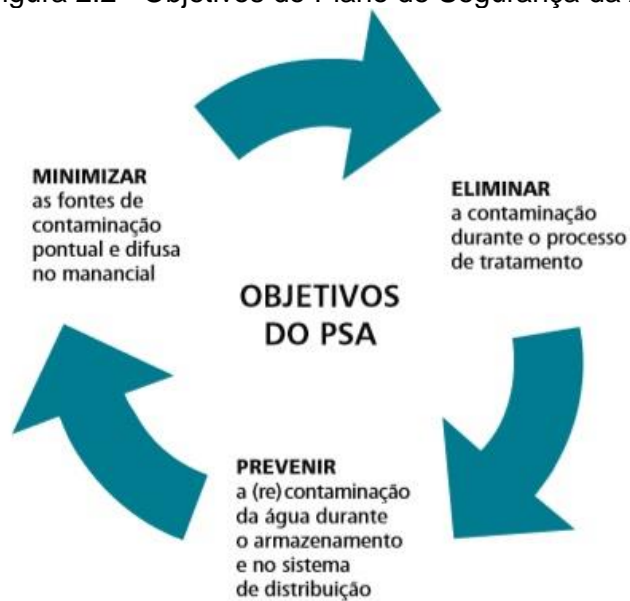
Para tanto, busca:

- minimizar a vulnerabilidade e o risco de contaminação da água dos mananciais;
- reduzir a contaminação da água através de métodos e técnicas de tratamento adequadas;
- promover boas práticas na operação e manutenção dos SAA;

- prevenir a contaminação e recontaminação da água durante o armazenamento e distribuição da água potável;
- assegurar a disponibilidade de água e continuidade do abastecimento;
- administrar e controlar adequadamente os riscos em cada componente do SAA, desde a captação até o consumidor final (WHO, 2009).

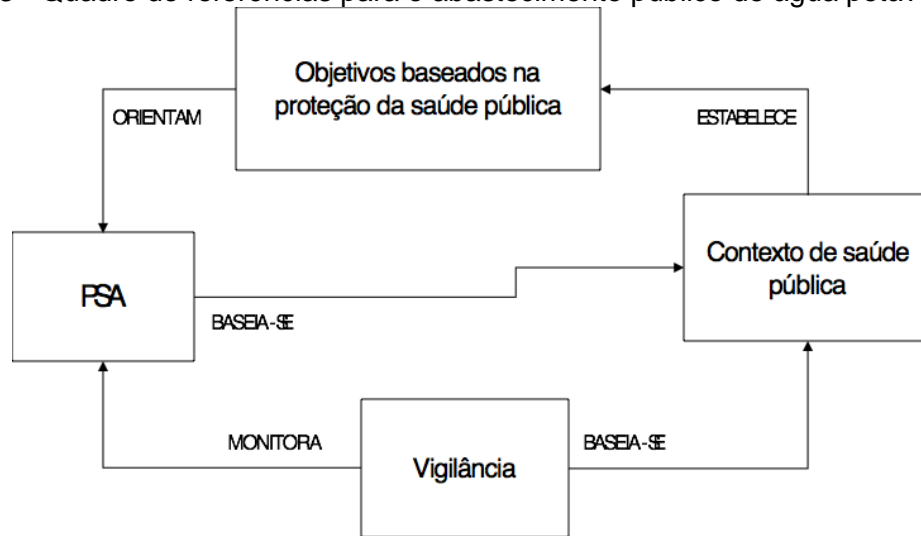
A Figura 2.2 sintetiza os objetivos do PSA e a Figura 2.3 apresenta o quadro de referência para o abastecimento público de água potável segura, considerando o PSA como componente integrante da gestão de riscos e do cumprimento das metas para a qualidade da água e para a proteção da saúde pública.

Figura 2.2 - Objetivos do Plano de Segurança da Água



Fonte: Bastos (2010)

Figura 2.3 - Quadro de referências para o abastecimento público de água potável e segura



Fonte: WHO (2004), modificado

2.3 Definições importantes

A metodologia do PSA se ampara em alguns conceitos cujas definições auxiliam na abordagem proposta, mais especificamente na identificação e avaliação dos riscos.

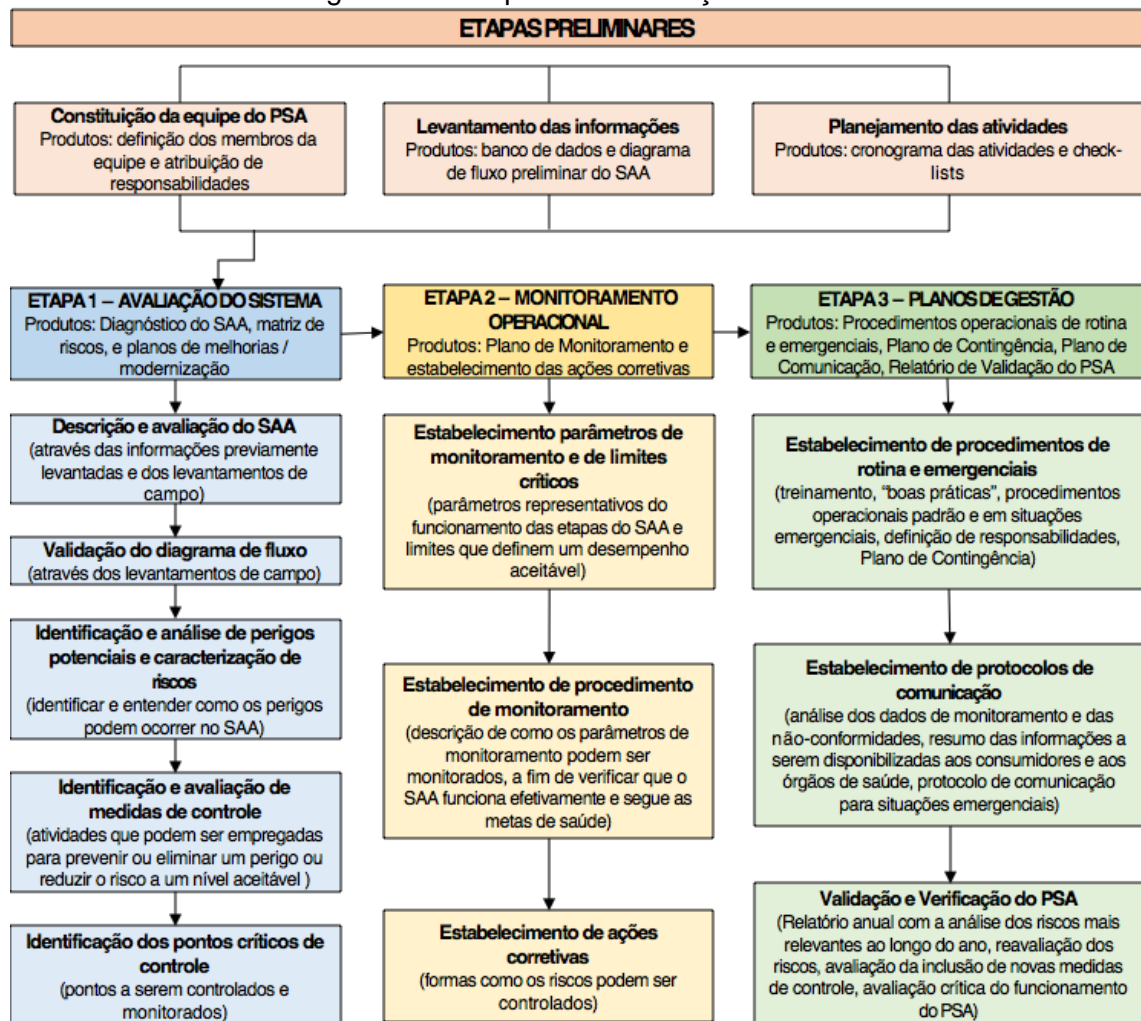
A seguir estão as principais definições que integram o PSA:

- **Perigos:** agentes físicos, biológicos, químicos ou radiológicos presentes na água que podem causar danos à saúde pública (WHO, 2009);
- **Eventos perigosos:** eventos que introduzem ou impedem a eliminação dos perigos no sistema de abastecimento (WHO, 2009);
- **Risco:** o risco associado a cada perigo diz respeito à probabilidade de ocorrência e à severidade das consequências caso ele ocorra, tendo em vista a saúde pública (WHO, 2009). Dessa forma, a combinação desses dois atributos (ocorrência e severidade) resultam no risco. Assim, quanto maior a probabilidade de ocorrência e mais graves as consequências de um perigo, maior será seu risco.

2.4 Etapas da elaboração do PSA

O objetivo do PSA, de garantir a segurança e acessibilidade da água fornecida por um sistema de abastecimento (WHO, 2009), é alcançado a partir da compreensão sistemática de seus processos, por meio da qual os perigos e seus respectivos riscos são determinados e que, por sua vez, orientarão o monitoramento. Para tanto, a metodologia do PSA segue 3 etapas principais: a avaliação, o monitoramento operacional e a gestão do sistema de abastecimento de água, como sintetiza a Figura 2.4.

Figura 2.4 - Etapas de elaboração do PSA



Fonte: WHO (2005, 2006), modificado

Primeiramente, contudo, a elaboração do PSA deve partir da formação da equipe responsável por seu desenvolvimento, da compilação de todas as informações que possam ser importantes, e da realização de uma caracterização preliminar do sistema.

A OMS recomenda que a equipe responsável pelo desenvolvimento do PSA seja composta por pessoas do próprio serviço de abastecimento, uma vez que são elas que melhor o conhecem e que vão executar e manter o Plano. É notório, no entanto, que as atividades do PSA concorrerem com as tarefas habituais dos colaboradores do serviço de abastecimento. Assim, para que a conciliação das funções seja possível, o apoio institucional é imprescindível. O envolvimento da direção também é importante para garantir a disponibilidade de recursos financeiros e para legitimar a segurança da água como uma meta da organização (WHO, 2009).

No mais, é importante que a equipe do PSA seja qualificada e tenha conhecimentos técnicos para que a identificação e análise dos riscos sejam contundentes.

No caso do Brasil, tem-se observado que os serviços de abastecimento contratam especialistas externos para a elaboração do PSA. O auxílio desses profissionais pode contribuir tecnicamente com o desenvolvimento da metodologia e com o diagnóstico do sistema. Entretanto, não é recomendável que uma equipe externa elabore o PSA isoladamente e o imponha ao sistema de abastecimento de água. A manutenção desses Planos requer que o serviço de abastecimento compreenda e valide a metodologia e a incorpore como instrumento de gestão. Desse modo, ainda que o PSA seja desenvolvido por consultores externos, é crucial que a comunicação com os operadores e responsáveis pelo SAA seja efetiva, e é preferível que haja um responsável que trabalhe e conheça o sistema participando assiduamente na elaboração do PSA, a fim de alinhar a realidade operacional com o que será descrito nesse documento.

Além da formação de uma equipe, é recomendável levantar todas as informações pertinentes sobre o sistema, desde dados históricos de qualidade da água do manancial e da água tratada, de produtos químicos e de dados de operação da ETA, até acessórios presentes na rede de distribuição. Aconselha-se também, a elaboração de um diagrama de fluxo que represente o sistema de abastecimento, desde a captação até a rede de distribuição. Essa ferramenta facilita a visualização global do sistema e de potenciais riscos que podem existir (DAMIKOUKA; KATSIRI; TZIA, 2007). É evidente, entretanto, que o diagrama de fluxo não dispensa visitas de campo, as quais são essenciais para validá-lo e para identificar os perigos e eventos perigosos.

É então, partindo do levantamento preliminar das informações e de visitas técnicas, que o sistema pode ser avaliado. Essa etapa do PSA propõe a descrição e diagnóstico do sistema, considerando sua situação atual. Vale ressaltar que a avaliação do sistema deve ser feita periodicamente, uma vez que a qualidade da água varia ao longo do tempo e do espaço (COSTA, 2010), daí a necessidade de revisão e o caráter iterativo do PSA.

A descrição e o diagnóstico do sistema possibilitam reconhecer os eventos e fatores que podem causar algum dano à água e ter impactos negativos na saúde pública (COSTA, 2010). Em outras palavras, a avaliação do sistema permite identificar os eventos perigosos que podem introduzir contaminantes (perigos) à água e colocar

em risco sua segurança. Para cada perigo identificado, deve-se ponderar o risco associado, isto é, a concretização do perigo, em termos de probabilidade e severidade da ocorrência.

A identificação dos perigos e dos eventos responsáveis por introduzi-los à água orienta a proposição de medidas de controle, que visam evitar, eliminar ou reduzir o perigo a um nível aceitável. É possível que medidas de controle já existam para o perigo identificado. Neste caso, os riscos devem ser reavaliados, considerando se essas medidas existentes são ou não eficazes (OPAS/OMS, 2017).

Muito provavelmente, os perigos identificados em um sistema de abastecimento representam riscos maiores ou menores. Assim, a aplicação de medidas de controle pode ser priorizada de acordo com a classificação dos riscos. O método de classificação pode ser quantitativo, semi-quantitativo (mais usual e menos subjetivo) ou mesmo consensual, através da discussão entre a equipe do PSA (em geral, em sistemas de abastecimento pequenos) (WHO, 2009).

Após a implementação das medidas de controle, é importante monitorar sistematicamente o risco a ser eliminado/reduzido, a fim de avaliar se as medidas foram bem sucedidas. Dessa forma, os riscos mais importantes, indicados e priorizados através da classificação, devem estar associados a pontos de controle, isto é, os pontos a serem monitorados. O monitoramento pode ser feito através da estipulação de limites para os parâmetros a serem monitorados e da observação de sua conformidade, ou mesmo através da observação e previsão de consequências, como é o caso, por exemplo, de riscos associados à expansão de área agrícola na bacia hidrográfica. O grau de monitoramento dos pontos de controle pode, então, variar, de acordo com a relevância do perigo e de seu risco associado, como será discutido no item 4.3.

Ao definir os pontos de controle, delimitam-se, então, os procedimentos de monitoramento para cada um deles. Esses procedimentos devem responder perguntas como:

- O que será monitorado (parâmetro de monitoramento)?
- Como será monitorado?
- Quando e com que frequência será monitorado?
- Onde será monitorado?
- Quem vai monitorar?

- Quem realizará a análise?
- Quais devem ser as ações corretivas para o restabelecimento da normalidade da operação?
- Quem deverá executar as ações corretivas ou tomar as providências necessárias?

Faz-se a ressalva de que os parâmetros selecionados para o monitoramento devem ser de rápida resposta e devem ser facilmente incorporados à rotina de operação do sistema. Para tanto, parâmetros microbiológicos ou químicos não são aconselháveis, pois requerem, em geral, análises caras e demoradas, invalidando o objetivo de se dispor de resultados que permitam ajustes operacionais antes do fornecimento de água potencialmente nociva à saúde (HESPANHOL, 2017).

Assim, tais ajustes ou ações corretivas devem ser previstas e descritas no monitoramento para que sejam colocadas em execução quando forem detectadas não-conformidades (incidentes) nos parâmetros de monitoramento definidos, criando um protocolo que busque restituir a normalidade na operação.

Até aqui, todas as informações e análises estudadas e desenvolvidas no PSA devem dar suporte à gestão do sistema de abastecimento. Nesta etapa, deve, então, ser sistematizado um Plano de Gestão que contemple o estabelecimento de ações em situação de rotina e em situações emergenciais, a organização dos documentos de avaliação do sistema, o estabelecimento de documentação e protocolos de comunicação, os programas de suporte e a validação e revisão periódica do PSA.

As ações em situações de rotina dizem respeito aos procedimentos a serem realizados normalmente no sistema de abastecimento, os quais contemplam o monitoramento, a calibração de equipamentos, “boas práticas”, o controle de estoques de produtos químicos, entre outros. Essas ações de rotina devem ser registradas e são esses registros que permitem a verificação de eventuais desvios e que guiam a aplicação de ações corretivas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Além das atividades de rotina, deve-se prever no Plano de Gestão ações a serem tomadas em situações de emergências ou desastres, de caráter natural ou operacional, que possam implicar em perigos à saúde pública. Para isso, é indicado que se avalie a vulnerabilidade do sistema de abastecimento em caso de ocorrência desses eventos excepcionais. Recomenda-se, para tanto, que se mapeie o sistema

de abastecimento indicando as instalações, operações e pessoas mais susceptíveis diante desses casos de emergência (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Ademais, é importante que se identifiquem e se definam os responsáveis envolvidos na tomada de decisão em caso de situações emergenciais. É notório que, nesses casos, a contingência dos perigos não se limita somente aos colaboradores do serviço abastecimento. Podem fazer parte dessa “rede de articulação” o setor de saúde, a defesa civil, a polícia militar, civil e federal, a prefeitura, o corpo de bombeiros, entre outros.

É imprescindível que a atribuição de responsabilidades, os esquemas alternativos para o abastecimento de água, e um plano de comunicação para alertar e informar os consumidores nesses casos excepcionais sejam especificados de forma clara no plano de emergência. Por fim, após o registro de situações emergenciais, elas devem ser investigadas em relação às causas, a como o acontecimento foi identificado, às ações tomadas, aos problemas e dificuldades constatados, às consequências de curto e longo prazo, e à eficácia do plano de emergência. Essa investigação permite à entidade gestora adquirir maior resiliência e a fazer face a situações semelhantes que possam vir a ocorrer no futuro (IRAR; IWA, 2005), devendo, portanto, ser registrada.

No que concerne à documentação e aos protocolos de comunicação, os registros, tanto das atividades de rotina quanto dos casos excepcionais, devem ser analisados e apresentados em relatórios periódicos. Tais documentos são úteis na identificação de tendências, na adição de ajustes operacionais e na detecção de falhas no sistema, além de auxiliarem no processo nas auditorias externas (IRAR; IWA, 2005). Os protocolos de comunicação também devem apontar quais informações devem ser disponibilizadas aos usuários (periodicamente e em situações excepcionais), definir os procedimentos para informar prontamente quaisquer incidentes no sistema de abastecimento à autoridade de saúde pública, e estabelecer vias para receber e encaminhar reclamações e notificações da comunidade em tempo hábil (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Destaca-se que o Decreto Nº 5.440, de 04 de maio de 2005 “estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano”, portanto deve ser considerado na definição dos protocolos de comunicação (BRASIL, 2015).

Finalmente, as variações na qualidade e na quantidade da água dos mananciais, bem como eventuais falhas ou inadequação dos procedimentos de monitoramento e das medidas de controle, apontam para a necessidade de revisão e/ou validação do PSA. Tal atividade tem por objetivo garantir que o PSA seja um instrumento útil e assertivo em relação à garantia da segurança da água. Entende-se, então, que o PSA deve ser objeto de auditorias periódicas, internas ou externas, a fim de verificar o desempenho do sistema de abastecimento de água em relação ao atendimento do preceito de segurança da água e a partir da abordagem proposta (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

O PSA também deve ser revisado após casos excepcionais ou incidentes, a fim de garantir que esses não se repitam e que os impactos sejam minimizados. Essas revisões podem apontar melhorias e ajustes operacionais necessários para a manutenção da segurança da água e para o aprimoramento do controle e gestão de riscos.

2.5 Estado da arte

Em 2002, Austrália e Islândia foram países pioneiros na aplicação da metodologia HACCP em sistemas de abastecimento de água. Mas foi em 2003, na “Water Safety Conference – why a new approach to water safety”, em Berlim, que a HACCP consolidou-se como metodologia básica do gerenciamento para a segurança da água. Nesse mesmo ano, iniciaram-se projetos piloto para a aplicação e desenvolvimento deste método em Berlim e, notadamente, em Portugal, por parte da empresa Águas do Cávado S.A. com consultoria da Universidade do Minho (BENSOUSSAN, 2015).

Em 2004, a terceira edição do “Guidelines for drinking water quality”, da OMS, apresentou, pela primeira vez, o conceito de Plano de Segurança da Água, fornecendo orientações para a implementação desse instrumento (BENSOUSSAN, 2015).

Em 2007, entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água de 12 países (Estados Unidos, Portugal, Espanha, Reino Unido, França, Holanda, Malásia, Jamaica, Brasil, África do Sul, Uganda e Austrália) formaram uma rede de colaboração internacional, chamada Rede de Bona, para a promoção dos princípios básicos do abastecimento de água potável segura e para o desenvolvimento de ferramentas para a implementação do PSA. Foram formadas também redes colaborativas

internacionais em âmbito regional, como a “Latin America and Caribbean WSP Network”, “African WSP Network”, “Asia Pacific WSP Network” (VIEIRA, 2015).

É notório que essas redes e o intercâmbio de experiências entre os países contribuem para a consolidação e aprimoramentos dos PSA. Ademais, a produção de guias e a realização de conferências são importantes para que a questão da segurança da água avance e seja incorporada efetivamente na gestão dos sistemas de abastecimento de água. Entretanto, a troca de experiências deve nortear o desenvolvimento do PSA considerando o contexto local, ao invés de induzir a reprodução de modelos propostos sem as devidas adaptações.

Além do desenvolvimento metodológico, os exemplos de aplicação do PSA nos diferentes países lançam luz sobre o processo de implementação e de articulação para que esse instrumento atinja seus objetivos. Nesse sentido, os casos bem sucedidos mostram que o apoio institucional de autoridades de saúde, agências reguladoras, e etc, é indispensável para o desenvolvimento de programas coerentes, integrados à política de controle de qualidade de água, para a execução e consolidação do PSA (VIEIRA, 2015).

Vieira (2015), menciona que a metodologia PSA tem destaque em iniciativas de países como, Austrália, Brasil, Nova Zelândia, Portugal, e Reino Unido. No Brasil, destaca-se um projeto piloto de desenvolvimento do PSA em Viçosa, em 2007, em parceria com a Universidade de Viçosa, e, em 2012, o município de Campinas, que instituiu o PSA através de uma resolução municipal. Nesse mesmo ano, o Ministério da Saúde do Brasil publicou um guia bastante útil ao desenvolvimento dos Planos de Segurança (BENSOUSSAN, 2015).

Dentre as experiências internacionais que mais se destacam, é digna de menção o caso da Nova Zelândia. O Ministério da Saúde neozelandês disponibiliza em seus guias para elaboração do PSA um quadro de referência bastante completo e sistematizado com os perigos e eventos perigosos mais frequentes encontrados nos sistemas de abastecimento de água do país. Para cada perigo, elenca as principais consequências de sua ocorrência, as medidas de controle, procedimentos de monitoramento e ações corretivas.

Guias como esse podem auxiliar no levantamento e na consideração de eventos perigosos em contextos como o do Brasil, colaborando com uma visão mais ampla e completa dos sistemas de abastecimento. No entanto, reforça-se que o PSA deve ser desenvolvido de maneira individualizada, observando a realidade local de seu objeto

de estudo. Para tanto, sua abrangência vai depender da qualidade e da quantidade de informações relativas ao SAA, de modo que não faz sentido elencar eventos perigosos de ocorrência improvável para o contexto analisado.

2.6 O Brasil e a implementação do PSA

A OMS atua no desenvolvimento de diretrizes mundiais para melhorar a equidade na saúde, reduzir os riscos para a saúde e promover estilos de vida e ambientes saudáveis (WHO, 2018). Nesse sentido, é parte de suas tarefas estabelecer diretrizes para a qualidade da água potável, as quais se pautam na Avaliação e na Gestão de Riscos.

A Avaliação de Riscos é realizada pelos centros internacionais da OMS e inclui a identificação e avaliação da relação dose-efeito, em nível mundial, de contaminantes potencialmente nocivos à saúde pública e, com base nesses estudos, propõe diretrizes e recomendações baseadas no conceito de risco e de segurança à saúde. A Gestão de Riscos, por sua vez, é realizada pelos países que adaptam essas diretrizes a seu contexto técnicos, econômico, social e ambiental (HESPANHOL, 2017).

No caso do Brasil, no entanto, a Portaria de Consolidação Nº 05/2017 não elaborou a etapa de Gestão de Riscos, uma vez que adotou praticamente todas as variáveis propostas pelas diretrizes da OMS sem as adaptações necessárias ao contexto local. Disso pode decorrer inocuidade das normas de potabilidade estabelecidas, afastando ainda mais a garantia da segurança da água.

Hespanhol (2017) chama a atenção para como sugestões de variáveis são acatadas indiscriminadamente para a elaboração e revisão de normas relativas ao controle da qualidade da água para consumo humano, “sem quaisquer bases científicas ou estudos epidemiológicos e toxicológicos que lhes confirmem credibilidade” (HESPANHOL, 2017, p.3). Menciona ainda que a regulamentação de parâmetros de potabilidade não avalia previamente quais variáveis devem ser regulamentadas levando em consideração a frequência de ocorrência e periculosidade nas condições brasileiras.

Como consequência, os custos com monitoramento aumentam sem que, necessariamente, ocorram ganhos na qualidade da água distribuída (HESPANHOL,

2017). Os pequenos serviços de abastecimento são os maiores prejudicados com isso, pois dispõem, em geral, de recursos limitados, os quais devem atender também as necessidades técnicas e operacionais.

Nesse contexto, o PSA pode contribuir com o aumento da segurança da água e com a discussão das variáveis que precisam, de fato, ser monitoradas, uma vez que busca garantir sistematicamente o funcionamento das diversas barreiras do sistema de distribuição, a começar pelo controle das fontes poluidoras dos mananciais.

Não obstante, o controle efetivo nas fontes poluidoras e proteção dos mananciais representam um grande desafio à realidade brasileira. No caso do Estado de São Paulo, por exemplo, o controle de emissões de efluentes é feito pela CETESB somente com base em relatórios mensais de auto-monitoramento dos emissores (HESPANHOL, 2017).

Além disso, a característica dinâmica da qualidade da água ao longo do tempo e do espaço, implica que sistemas de tratamento que não se adequam às variações na água bruta acabam se tornando obsoletos e inadequados para a produção de água potável segura. Embora a filtração e desinfecção garantam boa remoção de microrganismos patogênicos, não removem poluentes emergentes, como disjuntores endócrinos, fármacos, cosméticos e nano partículas (HESPANHOL, 2012), os quais podem ter um efeito nocivo à saúde da população.

Nessa perspectiva, o PSA também contribui apontando as medidas de controle necessárias para a adequação do sistema de tratamento. A priorização dessas medidas de controle, em geral ligadas a melhorias e reformas nas ETAs, auxilia na gestão dos recursos financeiros e pode representar economias no orçamento, além de privilegiar a minimização dos riscos mais preocupantes.

Por fim, o Brasil precisa superar os estigmas relacionados com a burocratização e conseqüente inutilização dos instrumentos de gestão. O PSA deve ser encarado como uma ferramenta útil e necessária, mais do que simplesmente “interessante”. Para tanto, a metodologia e os critérios devem ser adaptados à realidade dos SAAs brasileiros e recursos devem ser investidos em diagnósticos aprofundados que revelem as principais fragilidades do sistema que concorrem para colocar em risco a segurança da água e, sobretudo, em medidas de controle e de proteção dos mananciais, sendo essas as primeiras e mais importantes barreiras do sistema de abastecimento de água.

3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo fornecer subsídios metodológicos e conceituais para a elaboração de Planos de Segurança de Água (PSA), bem como identificar e discutir as principais dificuldades e potencialidades em sua elaboração.

Para tanto, propõe, como estudo de caso, a elaboração do PSA de um sistema de abastecimento de água brasileiro, aqui denominado “Sistema de Abastecimento de Água 1” (SAA 1), com foco nas etapas de diagnóstico e de monitoramento operacional (Etapas 1 e 2 da metodologia do PSA) para o estágio de tratamento da água.

Buscou-se fazer apontamentos para a adaptação da metodologia proposta pela OMS e de suas potencialidades para que o PSA seja um instrumento de gestão de qualidade útil aos serviços de abastecimento no contexto brasileiro.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Como o tratamento tem particular relevância no controle de riscos, já que, no contexto brasileiro, opera como a última barreira para eliminação ou redução de perigos, este trabalho se concentrou no desenvolvimento das Etapas 1 e 2 do PSA (Figura 4) para a Estação de Tratamento de Água (ETA) do sistema de abastecimento estudado, denominada ETA 1. Essa ETA realiza o tratamento em ciclo completo (coagulação, floculação, decantação e filtração) e abastece um município, aqui chamado de Município 1, de cerca 120 mil habitantes.

4.1 Levantamento das informações

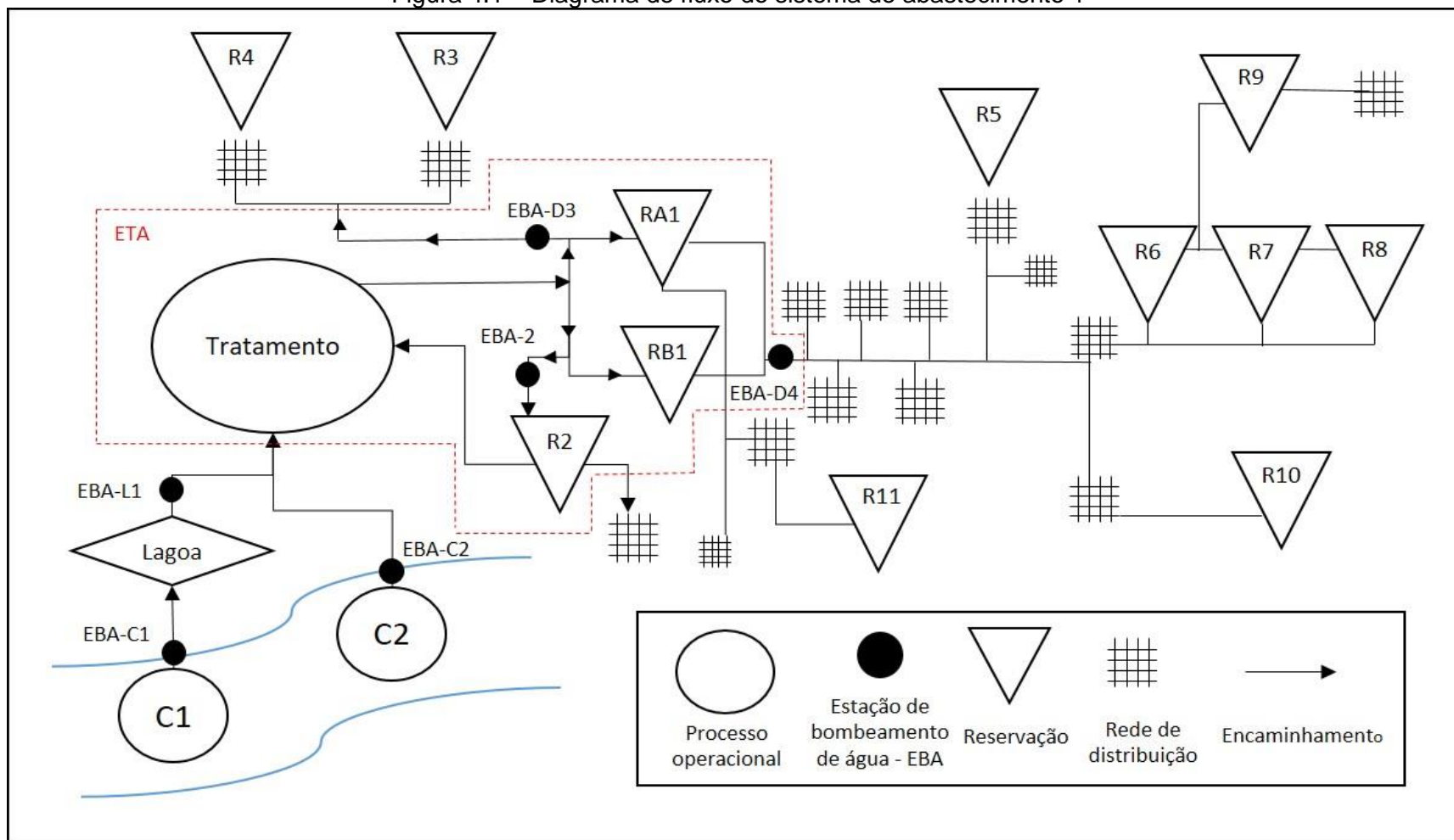
A etapa preliminar de elaboração do PSA partiu da compilação de informações sobre o sistema de abastecimento, SAA 1. Para tanto, os seguintes documentos foram consultados:

- Plano Municipal de Saneamento Básico do Município 1;
- Plano de Bacias Hidrográficas;
- Plantas e projetos da ETA 1, disponibilizados pelo SAA 1;
- Documentos de consulta de dosagem de produtos químicos na ETA 1;
- Laudos de produtos químicos utilizados na ETA 1;
- Planilhas operacionais da ETA 1.

Com base no estudo prévio dessas informações, elaborou-se um check-list para orientar o levantamento e a validação de informações em campo, além de um diagrama de fluxo do Sistema de Abastecimento.

A Figura 4.1 mostra o diagrama de fluxo que representa o SAA 1 e o Quadro 4.1 agrega as informações do check-list que orientou o diagnóstico da ETA 1. O check-list e o diagrama de fluxo do SAA 1 mostraram-se bastante úteis na identificação dos perigos uma vez que permitem melhor compreender as etapas envolvidas.

Figura 4.1 – Diagrama de fluxo do sistema de abastecimento 1



Fonte: A autora

Quadro 4.1 - Check-list para o diagnóstico de ETAs considerando aspectos relacionados à segurança da água (continua)

Aspectos a serem considerados no diagnóstico da ETA		SIM	NÃO	N.A.	Observações
Organizacional ETA	Existe rotina de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água bruta na ETA (parâmetros e frequência de monitoramento, responsáveis pelo monitoramento operacional)?				
	Existe rotina de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água tratada (parâmetros e frequência de monitoramento, responsáveis pelo monitoramento operacional)?				
	Os métodos analíticos são adequados? Existem procedimentos padrão para os procedimentos analíticos?				
	Existem limitações nas análises devido à equipagem dos laboratórios?				
	Existe rotina de monitoramento dos equipamentos críticos (bombas dosadoras, medidores de vazão, etc)?				
	Existem planos de inspeção/manutenção de equipamentos críticos?				
	Existem registros de falhas operacionais e em equipamentos críticos?				
	Existem alarmes para controle operacional de parâmetros como vazão, turbidez, cloro residual, etc?				
	Existe avaliação periódica interna dos dados de monitoramento (relatórios de monitoramento)?				
	Os procedimentos operacionais dispõem de protocolos específicos / estão descritos sistematicamente?				
	Treinamentos e capacitações são oferecidos aos colaboradores? Com qual frequência?				
	Existem protocolos para situações emergenciais?				
	Há registros de interrupções no abastecimento por limitações da ETA ou por falha de bombas?				
	Falhas de energia elétrica são recorrentes? Qual é a frequência de ocorrência dessas falhas?				
	Eventos como fogo e explosão já foram registrados? Onde?				
	A ETA está localizada em área de risco (inundações e etc)?				
	Existe controle da entrada de pessoas? Os muros ou cercas da ETA garantem sua proteção em relação a entrada não autorizada de pessoas?				
	Existe algum tipo de monitoramento (câmeras de segurança, vigias, etc)?				
	Estão previstos treinamentos e capacitações aos colaboradores? Quais? Qual a frequência?				
	A capacidade do estoque de produtos químicos é adequada?				
Existe controle do estoque de produtos químicos (rotina de inspeção)? O controle possui registros?					
Já foram registradas limitações no tratamento por esgotamento de produtos químicos?					
Os produtos químicos apresentam laudos de qualidade?					
A operação da ETA já foi prejudicada pelo esgotamento de produtos químicos?					

Aspectos a serem considerados no diagnóstico da ETA		SIM	NÃO	N.A.	Observações
Água bruta	A sazonalidade tem relevância na qualidade da água bruta?				
	O tratamento apresenta limitações em relação às variações sazonais?				
	Ocorrem picos de turbidez em períodos chuvosos? Se sim, qual é a duração desses picos? Com qual frequência esses picos ocorrem? Em que época isso costuma ocorrer?				
	Existem problemas de nitrogênio amoniacal na água bruta?				
	Existem precursores de subprodutos organo-clorados na água bruta?				
	Existem sinais de eutrofização na água bruta (florações de macrófitas, coloração esverdeada)? Em que época?				
	Cor e odor são recorrentes na água bruta?				
	Quando há sinais de eutrofização / cor ou odor na água etapa de adsorção é realizada?				
	Existe variação significativa da vazão aduzida? Há limitações sazonais na adução da água bruta?				
	A água bruta apresenta algum tipo de contaminante químico em concentrações significativas (ex.: ferro, manganês, chumbo, etc)?				
	A água bruta apresenta densidade significativa de microrganismos (protozoários, bactérias, etc)?				
Existe algum tipo de pré-tratamento (ex.: desarenadores, grades, etc)?					
Mistura rápida	A unidade de mistura rápida é do tipo vertedor Parshall?				
	Existe medição de vazão na unidade de mistura rápida? (Se for vertedor Parshall, suas dimensões são padrão?)				
	Ocorre formação de ressalto hidráulico? (Se houver vertedor Parshall)				
Coagulação	O coagulante é aplicado em local adequado?				
	Existe algum controle da eficiência da coagulação? (análises de flocos, aferição de parâmetros?)				
	Ensaio de jarreste são realizados para o ajuste das condições de coagulação?				
	O pH de coagulação é monitorado/ajustado (adição de alcalinizante)?				
	Foi identificado alumínio residual na água tratada?				
	Existe controle/critérios na dosagem de alcalinizante?				
	Existe controle/critérios na dosagem de coagulante?				

Aspectos a serem considerados no diagnóstico da ETA		SIM	NÃO	N.A.	Observações
Divisão de vazão	A ETA opera em módulos paralelos? Se sim, quantos?				
	Existe controle da divisão de vazão em cada módulo? Qual? (controle manual por comportas, controle por vertedor, etc)				
	Foi observado afogamento em alguma unidade da ETA?				
	Foi observado transbordo em alguma unidade da ETA?				
Adsorção	A adsorção é uma etapa prevista no sistema de tratamento da ETA?				
	A aplicação e dosagem de carvão ativado tem critérios em definidos?				
Floculação	As unidades de floculação apresentam algum problema (gradiente de agitação inadequado; chicanas afogadas; tempo de detenção inadequado/sobrecarga de vazão)?				
	Polímero é utilizado como auxiliar de floculação?				
	Existe critério para aplicação / controle da dosagem de polímero? Quais?				
Decantação	Observou-se problemas nas unidades de decantação? (tempo de detenção inadequado; placas de decantadores de alta taxa quebradas; etc)?				
	As calhas de coleta de água decantada encontram-se afogadas?				
	Foi observado arraste de flocos?				
	A turbidez da água decantada é consistentemente inferior a 5,0 uT?				
	A limpeza dos decantadores segue critérios específicos (frequência de descarga)?				
	A água decantada apresenta características similares entre os decantadores da ETA (se houver mais de um)?				
Filtração	A água filtrada, durante a carreira de filtração, atende ao padrão de potabilidade?				
	Os filtros operam em vasos comunicantes? Se sim, sua entrada está afogada?				
	Há vertedores individuais para a coleta de água filtrada?				
	Há extravasores no canal comum de alimentação dos filtros?				
	O meio filtrante é o mesmo previsto pelo projeto dos filtros? Qual foi a última troca / reposição de meio filtrante?				
	As unidades de filtração foram executadas na mesma época? Os filtros são idênticos (mesmas dimensões)?				

Aspectos a serem considerados no diagnóstico da ETA		SIM	NÃO	N.A.	Observações
	Qual é o critério de encerramento da carreira de filtração?				
	Existem critérios para lavagem dos filtros (transpasse, tempo, carga hidráulica, nível no reservatório)?				
	Existem mecanismos para compensar as diferentes perdas de carga nos filtros / na água de lavagem?				
	A velocidade ascensional da água de lavagem é a mesma em todos os filtros?				
	Identificou-se redução das carreiras de filtração?				
	O sistema de lavagem é adequado para o meio filtrante?				
	Qual foi a última reposição de material filtrante?				
	Identificou-se a presença de bolas de lodo nos filtros?				
	Identificou-se perda de material filtrante durante a lavagem?				
	Ocorrem interferências durante a filtração (abertura e fechamento de válvulas)?				
	Existe vertedor individual de água filtrada para cada filtro?				
	A turbidez é medida na saída de cada filtro? Se sim, com qual frequência?				
	A turbidez da água de lavagem dos filtros é $\leq 5,0$ uT?				
	Picos de turbidez foram identificados no reinício da operação dos filtros?				
	Há limitações da lavagem em relação ao volume de água utilizada?				
Há reservatório exclusivo para água para lavagem dos filtros?					
Há recirculação da água de lavagem dos filtros?					
Oxidação e desinfecção	Há etapa de pré ou inter cloração?				
	Outro oxidante é utilizado além do cloro?				
	Há critérios para a dosagem de cloro na etapa da pré ou intercloração (vazão da água bruta, variações na qualidade da água bruta)?				
	Os dosadores de cloro funcionavam adequadamente?				
	Há controle/monitoramento da dosagem de cloro (através do monitoramento de cloro total, por exemplo)?				
O cloro residual na saída da ETA atende o padrão de potabilidade?					

		Aspectos a serem considerados no diagnóstico da ETA	SIM	NÃO	N.A.	Observações
Fluoração		Os dosadores de flúor funcionam adequadamente?				
		Existe controle/ajustes na dosagem de flúor?				
Geral		As bombas da ETA estão funcionando corretamente?				
		Há bombas reservas em condições adequadas para o funcionamento?				
		Há monitoramento de parâmetros como carbono orgânico total (COT)?				
		A vazão tratada está de acordo com a vazão de projeto? Há sobrecarga de vazão?				

Fonte: A autora

4.2 Visita a campo

Além da validação dos pontos levantados no check-list e do diagrama de fluxo, a visita a campo possibilitou a obtenção de informações com os operadores do SAA 1 a respeito da ocorrência de eventos frequentes e de problemas operacionais na ETA 1.

Ademais, fotos são registros importantes para o diagnóstico e para o acompanhamento da execução das medidas de controle. No entanto, as imagens capturadas ao longo da visita ao SAA 1 são confidenciais e, por isso, não foram adicionadas a este trabalho.

No decorrer da visita, realizaram-se alguns ensaios e análises, como resume o Quadro 4.2.

Todas essas informações deram subsídio ao diagnóstico da ETA 1, a partir do qual se identificou uma série de fragilidades na etapa do tratamento da água, que podem estar associadas à ocorrência de eventos perigosos, como melhor descrito no item 5.1.7.

Quadro 4.2 – Ensaio e análises realizados durante a visita a campo para o diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água 1

Ensaio	Local de coleta das amostras	Objetivo	Parâmetros aferidos	Métodos / equipamentos
Carbono orgânico total (COT)	Água bruta da captação C1, água bruta da captação C2 (na entrada da lagoa e na lagoa) e água bruta (C1 + C2) na entrada da ETA	Identificar presença de compostos orgânicos que podem favorecer a formação de subprodutos organoclorados	Carbono orgânico total (mg/L)	Shimadzu ASI-L e TOC-L (método de combustão infravermelha)
Cloro total e cloro livre	Água tratada (reservatório de água tratada)	Verificar o atendimento do padrão de potabilidade	Cloro residual livre (mg/L)	Método DPD Hach
	Na entrada e na saída dos decantadores A1 e B2	Verificar eventuais diferenças nos valores de cloro livre e de cloro total entre os dois decantadores	Cloro livre e cloro total (mg/L)	Métodos DPD Hach
Flúor	Água tratada (reservatório de água tratada)	Verificar o atendimento do padrão de potabilidade	Íon fluoreto (mg/L)	Método Colorimétrico SPADNS
Alumínio	Água floculada (entrada dos decantadores) Água tratada (reservatório de água tratada)	Verificar adequabilidade das condições de coagulação e verificação de atendimento ao padrão de potabilidade	Alumínio total (mg/L)	Espectofotometria / espectrofotômetro
Turbidez	Saída de água filtrada de cada filtro	Avaliar o desempenho dos filtros individualmente	Turbidez (uT)	Método nefelométrico / Turbidímetro

Ensaio	Local de coleta das amostras	Objetivo	Parâmetros aferidos	Métodos / equipamentos
Turbidez (um filtro fora de operação para lavagem)	Saída de água filtrada de cada filtro (exceto Filtro 7)	Avaliar o desempenho dos filtros enquanto um filtro está fora de operação para lavagem	Turbidez (uT)	Método nefelométrico / Turbidímetro
Turbidez (pós-lavagem)	Saída de água filtrada do Filtro 7	Analisar possível ocorrência de transpasse inicial após a çavagem (durante 1 hora)	Turbidez (uT)	Método nefelométrico / Turbidímetro
Turbidez (água de lavagem dos filtros)	Calhas de coleta de água de lavagem do Filtro 7	Avaliar a lavagem dos filtros através da variação da turbidez na água durante a lavagem	Turbidez (uT)	Método nefelométrico / Turbidímetro
Expansão do meio filtrante	Câmara do Filtro 7	Avaliar a expansão do meio filtrante	Altura da expansão	Coletor de material filtrante e trena

Fonte: A autora

4.3 Identificação dos perigos e estabelecimento do monitoramento operacional

O diagnóstico possibilitou o levantamento dos potenciais perigos associados ao SAA 1, sobretudo à ETA.

É importante destacar que a identificação dos perigos é limitada pela quantidade e qualidade das informações disponibilizadas e levantadas. Para tanto, a etapa preliminar de levantamento e sistematização das informações é essencial para que o PSA seja contundente. O processo de manutenção, revisão e validação do PSA, por sua vez, tem o potencial de estimular o registro, a atualização e a sistematização das informações.

Além disso, a experiência da equipe responsável pela elaboração do PSA é fundamental para a compreensão integrada de como os perigos podem permear o sistema de abastecimento.

O Quadro 4.3 apresenta os perigos mais comuns nas ETAs e os eventos perigosos aos quais estão associados.

Quadro 4.3 – Perigos e eventos perigosos em estações de tratamento de água

Eventos perigosos frequentes na etapa de tratamento da água	Consequências prováveis	Perigos associados
ETA operada com vazão superior à vazão de projeto	Sobrecarga nas unidades da ETA, ineficiência das operações unitárias, transpasse nos filtros	Contaminantes químicos, bactérias, vírus e protozoários
Aplicação de produtos químicos contaminados, vencidos ou de baixa qualidade	Ineficiência das operações unitárias, aporte de contaminantes químicos	Contaminantes químicos
Erro na dosagem de produtos químicos ou esgotamento de produtos químicos	Ineficiência das operações unitárias	Contaminantes químicos, bactérias e vírus (erro na dosagem de oxidante), protozoários (erro na dosagem de coagulante)
Ausência ou inadequações no projeto de operações unitárias necessárias para o tratamento da água	Tratamento inadequado da água, ineficiência das operações unitárias	Contaminantes químicos (subprodutos), protozoários
Não adequação das condições de coagulação (pH e dosagem de coagulante) quando as características da água bruta variam consideravelmente	Ineficiência das operações unitárias	Contaminantes químicos (alumínio, se o coagulante for sulfato de alumínio), bactérias e vírus, protozoários
Falha em equipamentos críticos e bombas	Comprometimento do tratamento, intermitências no abastecimento / desabastecimento	Bactérias e vírus, protozoários, contaminantes químicos, desabastecimento
Proliferação de algas e cianobactérias	Cor, odor, toxinas na água tratada	Contaminantes químicos
Água bruta com elevado teor de matéria orgânica e ausência de etapa para sua remoção	Cor e odor à água tratada, potencial formação de subprodutos	Contaminantes químicos
Interferências na filtração (abertura e fechamento de válvulas)	Transientes hidráulicos e transpasse	Protozoários

Eventos perigosos frequentes na etapa de tratamento da água	Consequências prováveis	Perigos associados
Lavagem inadequada dos filtros	Redução na carreira de filtração, formação de bolas de lodo, formação de caminhos preferenciais, transientes hidráulicos, perda de material filtrante, transpassa	Protozoários
Recirculação não controlada da água de lavagem dos filtros	Recirculação de contaminantes	Contaminantes químicos, protozoários
Falta de energia elétrica	Comprometimento do tratamento, intermitências no abastecimento / desabastecimento	Bactérias e vírus, protozoários, contaminantes químicos, desabastecimento
Danos estruturais	Comprometimento do tratamento	Contaminantes químicos, bactérias e vírus, protozoários

Fonte: WHO (2009), modificado

Com base nessas informações, os perigosos relacionados à ETA 1 foram identificados e classificados em relação ao tipo e à origem. No que concerne o tipo, os perigos foram classificados em quatro categorias:

- **Biológico (B):** associados à presença de algas e microorganismos na água (bactérias, vírus e protozoários), que podem constituir ameaças à saúde;
- **Químico (Q):** associados à presença de substâncias químicas em concentrações tóxicas, que podem ser nocivas à saúde. Essas substâncias podem ocorrer naturalmente ou surgir durante os processos de tratamento e armazenamento da água. São exemplos de perigos químicos metais, fluoreto, arsênio, agrotóxicos, fármacos, e subprodutos de desinfecção com cloro;
- **Físico (F):** associados às características estéticas da água, tais como cor, turbidez, gosto e odor;

- Desabastecimento (D): associados a eventos que ocasionam interrupções no abastecimento, como falhas elétricas e problemas nas bombas.

A literatura também aponta para perigos radiológicos, relacionados à contaminação da água a partir de fontes de radiação natural ou antrópica (VIEIRA & MORAIS, 2005). Contudo, como não foram identificados perigos no SAA 1 que se enquadram nessa categoria, ela não compõe a matriz de resultados.

Em relação a origem dos eventos perigosos, os mesmos foram classificados em relação a:

- Projeto/ concepção do sistema (P);
- Operação do sistema (O);
- Fatores externos (E);
- Consequência de outros eventos perigosos (OE).

Relacionou-se, a cada evento perigoso e perigo, indícios de ocorrência mostrados no diagnóstico. A construção de um quadro com essas informações auxilia a determinação da probabilidade de ocorrência, componente fundamental para a determinação dos riscos.

A partir da identificação dos perigos, os riscos associados foram avaliados por meio de uma matriz de riscos, que associa probabilidade de ocorrência e severidade das consequências caso os perigos ocorram. Para esses dois aspectos, estabeleceu-se os critérios apresentados no Quadro 4.4 e Quadro 4.5.

Quadro 4.4 - Ponderação para a probabilidade de ocorrência de eventos perigosos

Probabilidade da Ocorrência	Descrição	Peso
Quase certa	Espera-se que ocorra 1 vez ao dia	5
Muito provável	Espera-se que ocorra 1 vez por semana	4
Provável	Espera-se que ocorra 1 vez por mês	3
Pouco provável	Espera-se que ocorra 1 vez por ano	2
Raro	Pode ocorrer em situações excepcionais (1 vez em 10 anos)	1

Fonte: WHO (2009), modificado

Quadro 4.5 - Ponderação para a severidade das consequências de eventos perigosos

Severidade das Consequências	Descrição	Peso
Catastrófica	Pode ser letal para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	5
Grande	Pode ser letal para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	4
Moderada	Pode ser nocivo para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$)	3
Pequena	Pode ser nocivo para uma pequena parte da população ($< 10\%$)	2
Insignificante	Sem qualquer impacto detectável	1

Fonte: WHO (2009), modificado

A ponderação da probabilidade de ocorrência e da severidade das consequências configuram o risco, como mostram o Quadro 4.6 e Quadro 4.7.

Quadro 4.6 - Ponderação dos riscos com base na probabilidade de ocorrência e na severidade das consequências

Probabilidade da Ocorrência	Severidade das Consequências				
	Insignificante (1)	Pequena (2)	Moderada (3)	Grande (4)	Catastrófica (5)
Quase certa (5)	5	10	15	20	25
Muito provável (4)	4	8	12	16	20
Provável (3)	3	6	9	12	15
Pouco provável (2)	2	4	6	8	10
Raro (1)	1	2	3	4	5

Fonte: A autora

Quadro 4.7 - Classificação dos riscos

Caracterização do Risco	Resultado da Matriz
Baixo	1 a 5
Moderado	6 a 9
Alto	10 a 16
Muito alto	20
Catastrófico	25

Fonte: A autora

A vantagem da avaliação de risco está em colocar em evidência os pontos do sistema de abastecimento que devem receber, prioritariamente, medidas de controle para que os perigos mais preocupantes sejam eliminados ou reduzidos a um nível seguro (minimização do risco).

Cabe aqui ressaltar que ampla variedade de possíveis perigos presentes na água bruta tratada na ETA 1, sobretudo os desreguladores endócrinos e fármacos, não foi considerada na análise de risco elaborada nesse trabalho. Isso porque, a eliminação ou remoção desses perigos está, em geral, associada a técnicas avançadas de tratamento, como a oxidação. Além disso, o padrão de potabilidade e mesmo as normas internacionais não dispõem de valores de concentrações máximas permissíveis para esses compostos na água de consumo humano, devido à ausência de dados toxicológicos conclusivos (LIMA et al., 2017). No entanto, é importante deixar registrado que nas revisões e atualizações do PSA do SAA 1, esses perigos são passíveis de serem considerados e integrados na avaliação de riscos, na medida que os perigos prioritários (abordados neste trabalho) forem controlados.

Nesse sentido, com base no diagnóstico da água bruta e da ETA 1, os perigos mais urgentes e passíveis de serem removidos através do tratamento convencional foram: contaminantes orgânicos, contaminantes químicos, protozoários, vírus, bactérias, subprodutos organo-clorados, alumínio e flúor, como será discutido no item 5.

Para cada um desses perigos, atribuiu-se um valor para a severidade, conforme a escala proposta no Quadro 4.5, tendo por base os efeitos na saúde pública. O Quadro 4.8 apresenta os valores estipulados para os perigos contemplados neste trabalho.

Quadro 4.8 – Atribuição da severidade dos perigos prioritários identificados na ETA 1

Perigo	Ponderação atribuída considerando a severidade
Protozoários	4
Vírus e bactérias	
Subprodutos organo-clorados	
Contaminantes (químicos / orgânicos)	3
Alumínio	
Flúor	2

Fonte: A autora

Nota-se que os riscos relacionados a microrganismos patogênicos (protozoários, bactérias e vírus) tendem a ser maiores, devido à severidade das consequências, caso ocorram no sistema de abastecimento.

Aos riscos classificados como “altos” foram atribuídos pontos de controle (PC), isto é, locais ou procedimentos ao longo do sistema de abastecimento que devem receber algum tipo de medida de controle e/ou de monitoramento, a fim de se evitar a ocorrência do perigo.

A atribuição de PCs também auxilia na priorização dos riscos, no que diz respeito ao controle e monitoramento. Para tanto, os PCs podem ser classificados em:

- **Pontos de controle (PC):** são pontos ao longo do sistema de abastecimento onde pode haver perigos e que são passíveis de ser monitorados de forma sistemática e contínua, a partir do estabelecimento de limites críticos, de modo a prevenir ou reduzir o perigo a um nível tolerável (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).
- **Pontos críticos de controle (PCC):** são pontos ao longo do sistema de abastecimento onde pode haver perigos que ofereçam riscos à saúde e que são passíveis de ser monitorados de forma sistemática e contínua, a partir do

estabelecimento de limites críticos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Em geral, esses pontos representam a última barreira para conter o perigo, assim, em sua falha ou inoperância, a gravidade das consequências pode ser bastante preocupante.

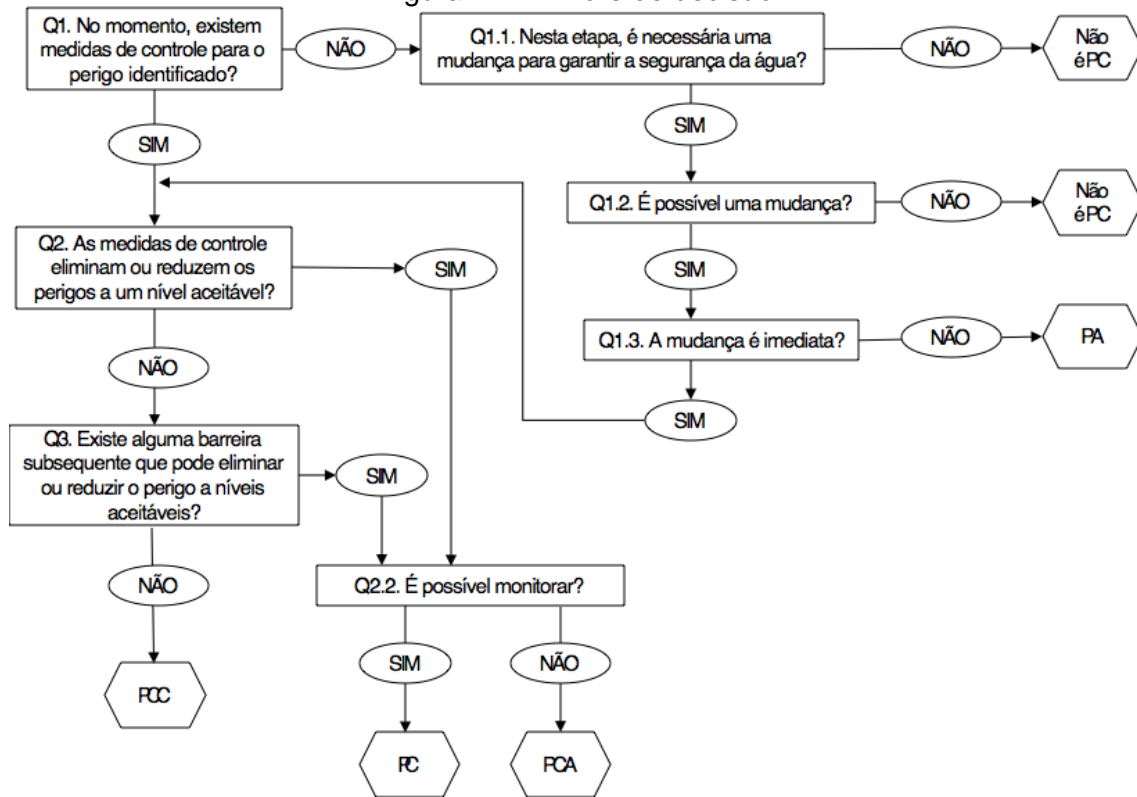
- **Pontos críticos de atenção (PCA):** são pontos ao longo do sistema de abastecimento onde pode haver perigos que ofereçam riscos à saúde e que não são passíveis de monitoramento por meio de limites críticos, mas para os quais é possível estabelecer medidas de controle visando prevenir, reduzir ou eliminar o perigo a um nível tolerável (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).
- **Pontos de atenção (PA):** são pontos ao longo do sistema de abastecimento onde pode haver perigos que ofereçam riscos à saúde e em que as medidas de controle não podem ser realizadas de imediato ou são de difícil execução, como a ampliação de estações de tratamento ou o controle de fontes poluidoras difusas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

A classificação dos pontos de controle pode ser realizada com auxílio de diagramas do tipo “árvore de decisão”, como mostra o exemplo da Figura 4.2.

Por fim, a determinação dos PCs orientou o estabelecimento do monitoramento das medidas de controle estabelecidas para o controle dos riscos. O monitoramento é feito a partir do estabelecimento de parâmetros cujos limites críticos apontam para a eficácia do controle ou para a necessidade de se proceder com ações corretivas para que os riscos retornem a um nível aceitável.

Assim, propôs-se parâmetros de monitoramento (“o quê monitorar”), procedimentos de monitoramento (“quando, onde, como e quem vai monitorar”), limites críticos (aqueles que indicam a tolerância máxima em relação ao perigo e, em caso de desvio, requer que ações corretivas sejam efetuadas), limites operacionais (nível adicional de segurança que estipula metas operacionais mais restritivas do que os limites críticos) e ações corretivas (medidas a serem tomadas quando ocorrerem desvios em relação aos limites críticos) para os processos da ETA 1.

Figura 4.2 - Árvore de decisão



Fonte: Ministério da Saúde (2012), modificado

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Diagnóstico

5.1.1 Descrição geral do Sistema

O Sistema de Abastecimento de Água 1 capta água em dois pontos em um manancial classe 02 e abastece o Município 1, com população de cerca de 120 mil habitantes e localizado na região de duas bacias hidrográficas. Os pontos de captação, no entanto, localizam-se em outra bacia hidrográfica, denominada, neste trabalho, B1-M, que não compreende os limites do município.

O uso e ocupação da área bacia B1-M é composto, principalmente, por campos (correspondem a mais de 50% da área da bacia), lavouras (sobretudo áreas para o cultivo de arroz), área urbana e áreas de mata e reflorestamento (18 Unidades de Conservação, sendo 9 federais, 6 estaduais e 3 municipais). É notório que a área urbanizada da bacia está próxima da margem direita do manancial que abastece o SAA 1, enquanto que sua outra margem recebe influência sobretudo de áreas com pecuária de bovinos e ovinos, de lavouras temporárias (arroz, soja, milho, batata-inglesa) e de silvicultura.

O principal foco de contaminação dos corpos hídricos nessa bacia são os efluentes provenientes de atividades urbanas, como efluentes de esgoto doméstico, efluentes industriais e de contribuições difusas de poluição. As atividades agropecuárias também contribuem com cargas poluidoras, notadamente os arrozais, cujo efluente das áreas alagadas para seu cultivo pode provocar o aporte de elevada carga orgânica aos corpos d'água, e de microrganismos patogênicos, como *Cryptosporidium*, presentes nas fezes de animais.

A qualidade das águas do manancial que abastece o SAA 1 também é influenciada pela água de seus afluentes provenientes da bacia hidrográfica aqui chamada de B1-A. Essa bacia tem caráter rural e o principal uso do solo compreende atividades agropecuárias (cultivo de arroz, silvicultura, pecuária). Apresenta também áreas florestadas (9 Unidades de Conservação) que têm grande importância para a manutenção da qualidade da água.

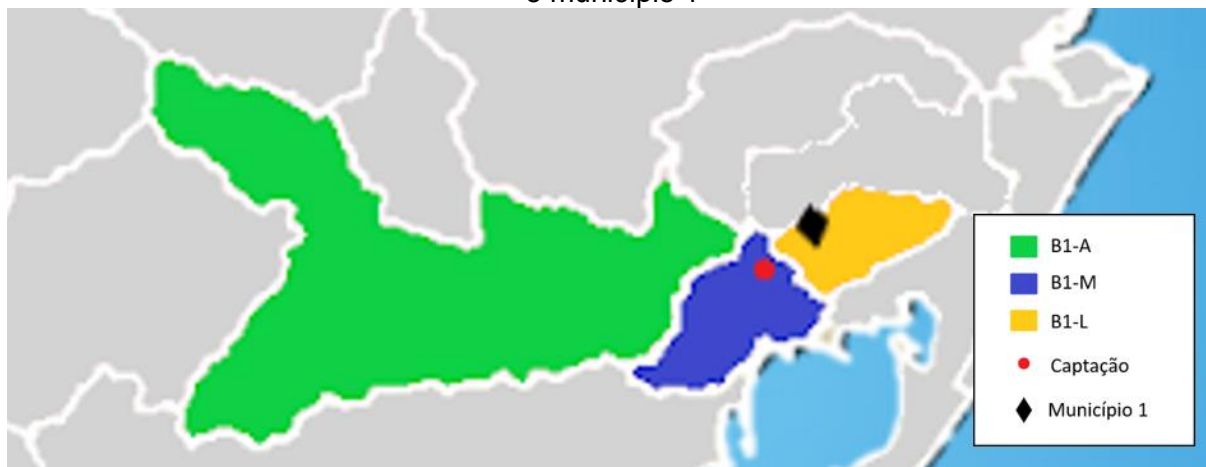
A principal fonte poluidora na bacia é, notadamente, o esgoto doméstico, pois grande parte de seus municípios não dispõem de sistema de esgotamento sanitário, de acordo com dados do IBGE (2008) e do Plano Municipal de Saneamento Básico do Município 1, e parte considerável desses efluentes é disposta *in-natura*, em rios, córregos e drenagens pluviais. Ademais, atividades agropecuárias, abatedouros de aves e bovinos e resíduos sólidos dispostos em terrenos baldios ou diretamente nos cursos d'água são fontes poluidoras relevantes na bacia B1-A.

Além disso, é importante levar em consideração que a água proveniente de uma das captações (Captação C1) é armazenada em uma lagoa de reservação, antes de ser encaminhada para o tratamento na ETA 1. A qualidade da água de captação, nesse ponto do sistema, é certamente influenciada pelas atividades desenvolvidas no entorno da lagoa, que se localiza na bacia hidrográfica aqui chamada de B1-L.

A bacia B1-L abrange a maior parte da área do Município 1, sobretudo sua porção urbana. Os principais usos e ocupação dessa bacia são campos e pastagens com pecuária extensiva, lavouras (principalmente de arroz irrigado), área de mata (6 Unidades de Conservação) e área urbana. O principal foco de contaminação dessa bacia é o esgoto doméstico (associada à presença de *Cryptosporidium* e *Giardia*), visto que grande parte de seus municípios também não dispõem de sistema de esgotamento sanitário, segundo o IBGE (2008) e o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município 1. Ademais, a criação de suínos (associada à presença de *Cryptosporidium*), o cultivo de arroz e as atividades industriais são fontes poluidoras importantes na bacia.

A Figura 5.1 apresenta a localização do Município 1 e da captação em relação às bacias hidrográficas mencionadas.

Figura 5.1 – Localização das bacias hidrográficas que influenciam o manancial que abastece o município 1



Fonte: Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Sul (2018), modificado

O tratamento da água de abastecimento do SAA 1 é realizado em uma Estação de Tratamento de Água (ETA 1), de tratamento convencional, que dispõe de unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração.

Da ETA 1, a água abastece 09 reservatórios (05 apoiados e 04 elevados) com capacidade total de reservação de 15.420 m³. O sistema de distribuição possui 04 estações de bombeamento de água utilizadas para o recalque de água dos reservatórios apoiados para os reservatórios elevados. A rede de distribuição tem cerca de 330 km e conta com aproximadamente 38 mil ligações com 48 mil economias ativas, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016).

5.1.2 Captação e qualidade da água do manancial

A água do Sistema de Abastecimento 1 é captada em dois pontos em um manancial classe 02, segundo a classificação da Resolução CONAMA Nº 357/2005. A água aduzida no ponto de captação C1 é encaminhada a uma lagoa que, anteriormente, era usada como lagoa de pré-tratamento mas que, atualmente, opera apenas como reservatório de água bruta. Dessa lagoa, a água é bombeada à ETA 1. Do outro ponto de captação (C2), a água é bombeada diretamente à ETA.

Durante a visita técnica ao SAA 1, não foi possível acessar à captação C1, impossibilitando, assim, o diagnóstico de sua situação atual. Mas os operadores do serviço de abastecimento informaram que a captação apresenta problemas

operacionais relacionados à falta de gradeamento eficiente na entrada da captação, o que faz com que ocorra redução da vazão aduzida disponível para o sistema. Visitou-se o ponto de captação C2, e observou-se que ele se encontra devidamente cercado e dispõe de vigilância em período integral. Não há registros de invasão ou vandalismo na área. As estruturas elétricas encontram-se elevadas, de forma a minimizar a ocorrência de danos nos equipamentos, em caso de inundação.

A captação C2 opera com três conjuntos motobomba verticais (sendo 01 reserva). No momento da visita técnica, dois conjuntos motobomba estavam em funcionamento, e o terceiro conjunto estava em manutenção. Não há qualquer sistema de gradeamento na captação da água bruta na captação C2, o que favorece a presença de vegetação e sólidos na água.

O Serviço de Abastecimento realiza ensaios periódicos para monitorar a qualidade da água bruta proveniente do manancial. O Quadro 5.1 apresenta os valores médios, máximos e mínimos diários de alguns dos parâmetros monitorados entre 2017 e 2018.

Quadro 5.1 - Parâmetros de qualidade de água bruta monitorados pelo Serviço de Abastecimento de Água do Município 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018

Parâmetro	Resultado das medições	VMP CONAMA Nº357/2005 (classe 2)
Turbidez	Máx = 91 uT	100 uT
	Méd = 24 uT	
	Mín = 11 uT	
pH	Máx = 7,2	6,0 a 9,0
	Méd = 6,6	
	Mín = 6,2	
Cor aparente	Máx = 141,0 mg/L Pt-Co	-
	Méd = 56,8 mg/L Pt-Co	
	Mín = 18,0 mg/L Pt-Co	

Parâmetro	Resultado das medições	VMP CONAMA Nº357/2005 (classe 2)
Alcalinidade	Máx = 30,0 mg/L CaCO ₃	
	Méd = 21,5 mg/L CaCO ₃	-
	Mín = 4,0 mg/L CaCO ₃	
Oxigênio dissolvido	Máx = 6,8 mg/L	
	Méd = 4,5 mg/L	≥5 mg/L
	Mín = 0,8 mg/L	
Matéria orgânica	Máx = 10,0 mg/L	
	Méd = 5,2 mg/L	-
	Mín = 2,5 mg/L	
Dureza	Máx = 30 mg/L	
	Méd = 23mg/L	-
	Mín = 16 mg/L	
Ferro dissolvido	Máx = 2,4 mg/L	
	Méd = 1,4 mg/L	0,3 mg/L
	Mín = 0,6 mg/L	
Manganês	Máx = 0,4 mg/L	
	Méd = 0,1 mg/L	0,1 mg/L
	Mín = 0,0 mg/L	

Fonte: A autora

Nota-se, com base nas informações do Quadro 5.1, que os parâmetros ferro, manganês e oxigênio dissolvido apresentaram valores em desacordo com os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA Nº 357/2005.

Os inconvenientes da presença de ferro na água estão relacionados a incrustações na tubulação e bactérias ferruginosas nocivas que podem acometer as redes de distribuição. Além disso, o ferro, assim como o manganês, pode conferir sabor e odor à água, dessa forma, é interessante sua remoção. Em geral, o tratamento convencional promove a precipitação desses metais. Contudo, a remoção de manganês é mais difícil do que a de ferro, pois a formação de seu precipitado (MnO_2) ocorre em pH superior a 7,0, comprometendo a coagulação com sulfato de alumínio (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

Vale ressaltar, no entanto, que apenas 5,6% das amostras coletadas no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 apresentaram concentração de manganês superior ao limite estipulado pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, assim a presença desse metal não representa uma preocupação para o SAA 1.

No que diz respeito ao ferro, como será discutido adiante, o tratamento convencional da ETA 1 apresentou bons resultados para sua remoção.

Valores baixos de oxigênio dissolvido (OD) na água são um forte indicativo de presença de compostos orgânicos, que podem ser oriundos de atividades agropecuárias, de esgotos domésticos, e de efluentes industriais, os quais são degradados pela atividade de microrganismos. A análise dos resultados indicou que mais de 60% das amostras diárias para o período analisado apresentaram concentração de OD inferior a 5 mg/L, o que pode ser indicativo de contaminação da água bruta por carga orgânica.

Durante a visita técnica, foram coletadas 4 amostras de água bruta para as quais aferiu-se o carbono orgânico total (COT). Esse parâmetro expressa toda a matéria orgânica presente em uma amostra de água, sendo uma medida direta do carbono orgânico que independe do estado de oxidação da matéria orgânica e que não mede outros elementos ligados às cadeias de compostos orgânicos, tais como hidrogênio e nitrogênio (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2012). Assim, é uma medida mais conveniente do que análises de matéria orgânica pelo método do oxigênio consumido.

Os resultados e os locais de coleta das amostras de COT são apresentados no Quadro 5.2.

A relevância de se aferir esse parâmetro está relacionada ao potencial de formação de subprodutos organoclorados nas etapas de desinfecção, os quais são

comprovadamente tóxicos e cujos limites não são estipulados pela Portaria de Consolidação Nº 05/2017, Anexo XX.

Quadro 5.2 – Resultados das análises de carbono orgânico total

Amostra	Local de coleta da amostra	Carbono Orgânico Total - COT (mg/L) ^(*)
Água bruta 1	Chegada da adutora na ETA 1	4,812
Água bruta 2	Ponto a montante da lagoa	5,058
Água bruta 3	Lagoa	8,337
Água bruta 4	Chegada da adutora na ETA 1	4,711
Água filtrada	Água filtrada	2,766

^(*)Análise de COT pelo método de combustão infravermelha nos equipamentos Shimadzu ASI-L e TOC-L.

Com base no Quadro 5.2 nota-se que a amostra da lagoa de pré-tratamento apresentou valores elevados de COT, prejudicando a qualidade da água bruta e que, ao fim do tratamento, a concentração de carbono orgânico total foi reduzida. Tais informações referentes à água da lagoa evidenciam que a função da mesma é questionável, uma vez que a aeração prevista para esta unidade foi desativada e que os parâmetros da água indicam uma piora de sua qualidade.

Em relação ao resultado da concentração de COT para água filtrada, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 2012) recomenda valores abaixo de 2,0 mg/L para ETAs que possuem desinfecção com cloro, a fim de ser reduzida a formação de subprodutos da desinfecção. Na ETA 1, a concentração para água filtrada foi de 2,766 mg/L, fato que reitera a necessidade de se avaliar periodicamente o COT, bem como sua composição, a fim de serem tomadas providências para sua remoção e para a redução da probabilidade de formação de subprodutos organoclorados.

Ainda no que concerne ao aporte de contaminantes à água do manancial, a região geográfica onde está localizada a captação de água bruta é cercada por arrozais, os quais têm influência na qualidade da água bruta, visto que, ao final das colheitas de arroz, as áreas de cultivos são desfeitas e toda a área alagada é esvaziada, vertendo seu efluente no manancial. O efluente dos arrozais, rico em nitrogênio, fósforo e agrotóxicos, utilizados nas lavouras de arroz, pode conferir riscos à qualidade da água bruta aduzida à ETA.

A Resolução CONAMA Nº 357/2005 estabelece que águas classe 02 podem ser destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional. Contudo, a eficiência do tratamento nem sempre garante água tratada de qualidade, pois as características da água bruta podem variar significativamente, notadamente quando há despejo dos efluentes dos arrozais, que promovem acréscimo de carbono orgânico total na água. Nestes casos, etapas complementares de tratamento, como adsorção, fazem-se necessárias.

Além disso, como já foi mencionado, outros contaminantes não monitorados e que não dispõem de valores máximos permitidos, como é o caso de fármacos e grande parte de desreguladores endócrinos, podem estar presentes e representarem perigos à água de consumo. O tratamento convencional também não é garantia de remoção desses contaminantes e, nesse sentido, é primordial que as medidas de controle desses perigos sejam estabelecidas sobretudo na bacia de captação e não somente na etapa de tratamento. Dessa forma, a melhoria na qualidade da água, bem como a implementação de medidas para garantir a disponibilidade hídrica devem ter como ponto de partida ações preventivas na captação.

A cidade de Nova York é um ótimo exemplo de como a conservação e o controle dos mananciais são eficazes no provimento de água potável segura e de qualidade. Essa cidade abastece 9 milhões de pessoas com água superficial que dispensa tratamento, recebendo apenas adição de cloro e flúor (IEA-USP, 2016).

Nova York conquistou essa condição a partir de um ambicioso projeto que requereu a compra de vastas áreas ao redor dos mananciais; o estabelecimento de acordos com vários setores da sociedade, tanto no sentido de conscientização como de negociação; e de regulação do uso e ocupação do solo. Ademais, mesmo o controle da poluição difusa foi bem sucedido, graças à articulação com os diversos atores e ao pagamento por serviços ambientais, que estimulou, sobretudo os agricultores, a preservarem os mananciais (IEA-USP, 2016).

É claro que o sucesso dessa estratégia só foi possível graças a uma arena institucional complexa, baseada em acordos entre os diversos atores sociais e na conciliação de interesses, e, sem dúvidas, graças ao investimento de recursos para a aquisição de áreas circunvizinhas dos mananciais e para os pagamentos por serviços ambientais. No entanto, aponta-se que o valor gasto nos diversos acordos foi da ordem de US\$ 1,4 bilhão, “uma economia significativa diante dos custos da construção de uma estação de tratamento”, além do projeto de conservação dos mananciais ter

poupado ao estado de Nova York uma quantia da ordem de US\$ 6 a US\$ 8 (IEA-USP, 2016).

No caso do Brasil, é urgente que se pense na conservação dos mananciais a partir da preservação e controle das atividades nas bacias hidrográficas, não somente devido à atual redução na qualidade da água bruta por atividades antrópicas, mas também tendo em vista questões ligadas à disponibilidade hídrica, tema cada vez mais preocupante após os episódios de seca dos últimos anos, que marcaram a crise hídrica no país. Nesse sentido, aponta-se para a necessidade de se investir recursos em programas de conservação dos mananciais, além de fortalecer a atuação dos comitês de bacia e de ampliar a articulação entre os diversos atores sociais.

Por fim, o controle dos mananciais contempla o monitoramento sistemático da água bruta, o qual deve oferecer respostas à operação do tratamento, de forma a orientá-la, seja em relação ao ajuste das dosagens de produtos químicos, seja em relação à adição de etapas adicionais de tratamento, como é o caso da adsorção.

5.1.3 Sistema de Tratamento de Água

A ETA 1 encontra-se em área urbana, sendo circunvizinhada por residências sem isolamento adequado. Este ponto é relevante, tendo em vista a vulnerabilidade da estação de tratamento diante ameaças de contaminação intencional, questão a ser considerada em um PSA.

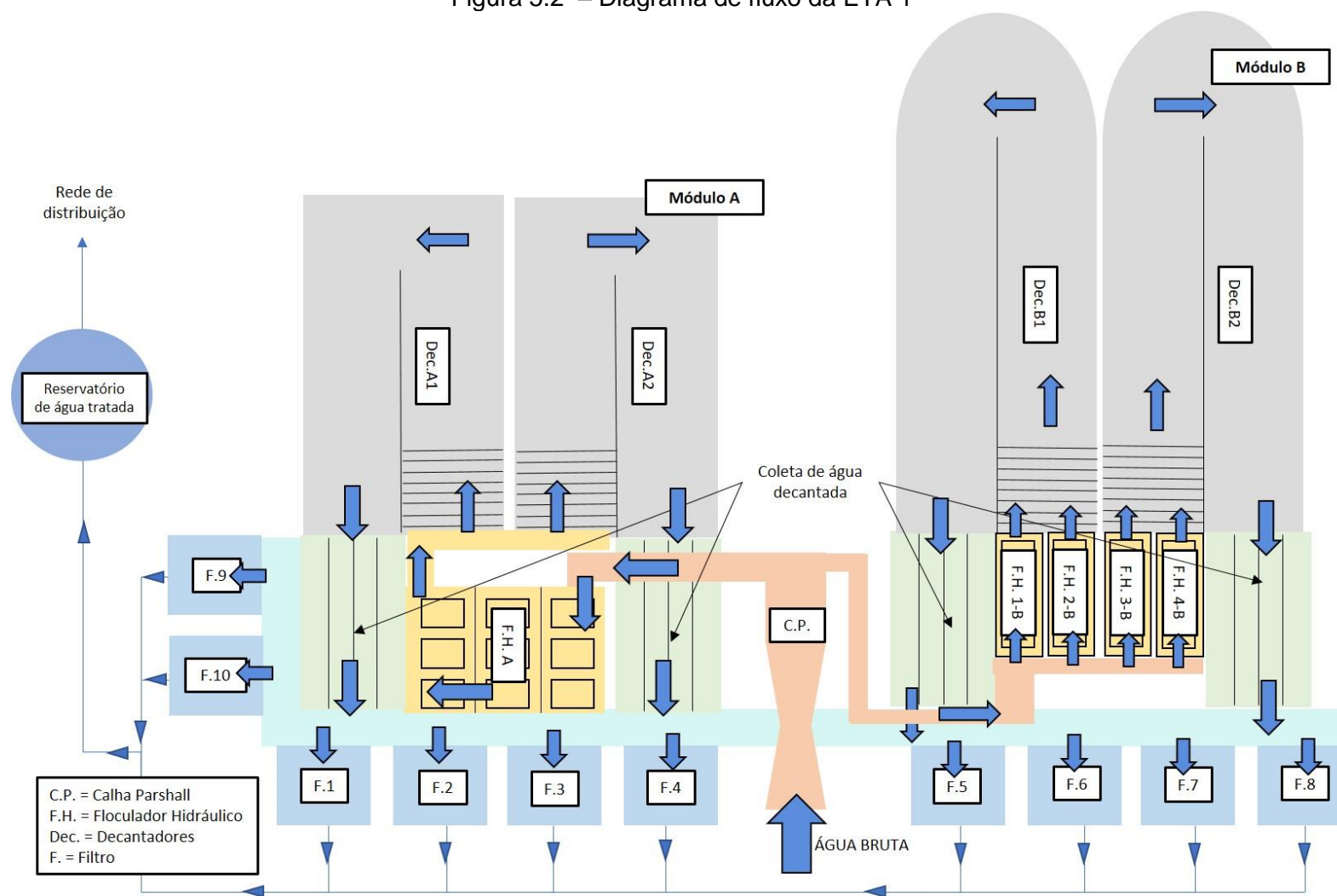
A ETA 1 opera 24 horas por dia e tem vazão nominal de projeto de 520 L/s, operando em dois módulos de tratamento. Seu projeto de ampliação, responsável pela construção do segundo módulo, ressalta que a ETA poderia suportar sobrecarga de 50% na vazão sem ter sua eficiência prejudicada, isto é, a capacidade da ETA poderia aumentar de 520 L/s para até 780 L/s. Atualmente, no entanto, opera com vazão média de 830 L/s e, no dia da visita operava com vazão de 879 L/s. De fato, como pode ser observado durante a visita, há evidências de sobrecarga de vazão ao longo do tratamento, como elevados gradientes de velocidade, chicanas dos floculadores afogadas, arraste de flocos, tubos de coleta dos decantadores afogados, dentre outros.

As duas adutoras de água bruta (adutoras da captação C1 e C2) chegam à ETA em uma câmara de recepção, onde é feita aplicação do coagulante (sulfato de

alumínio). Nessa câmara também acontece a aplicação de alcalinizante (cal hidratada) quando há necessidade de ajustar o pH de coagulação.

Em seguida, a água segue à uma unidade de mistura rápida hidráulica (Calha Parshall) e é dividida entre os dois módulos (módulos A e B), como mostra o esquema da Figura 5.2 e resume o Quadro 5.3. A vazão que ingressa ao tratamento não é medida na Calha Parshall, como é comum se observar nas ETAs em geral. A vazão de água bruta é aferida apenas no macromedidores da captação e não se tem controle preciso da parcela da vazão que vai para cada um dos módulos, uma vez que o controle é realizado manualmente pelos operadores através da observação do nível de água nas unidades, de modo que manobras nas válvulas e registros são feitas para evitar transbordamento e o afogamento das calhas de coleta de água decantada. No mais, ressalta-se que os canais de divisão de vazão possuem distâncias e singularidades distintas entre os módulos, e as comportas de entrada do Módulo A apresentam sinais de corrosão, o que pode resultar em perdas de carga e vazões de entrada diferentes.

Figura 5.2 – Diagrama de fluxo da ETA 1



Fonte: A autora

Quadro 5.3 - Configuração dos dois módulos da ETA 1

	Módulo A	Módulo B
Mistura rápida	Calha Parshall	
Floculação	Floculador hidráulico (com chicanas de escoamento vertical) e trecho de floculação adicional na entrada dos decantadores	4 floculadores hidráulicos (com chicanas de escoamento vertical) paralelos e trecho de floculação adicional na entrada dos decantadores
Decantação	2 decantadores de circuito “vai e vem” (denominação de projeto) - retangulares	2 decantadores de fluxo “vai e vem” (denominação de projeto) - arredondados
Filtração	10 filtros rápidos descendentes de antracido e areia, projetados para operar com taxa declinante variável	

Fonte: A autora

No módulo A, existem dois trechos de floculação, sendo um trecho único com chicanas de escoamento vertical (passagens superiores e inferiores) e um trecho de floculação adicional no início de cada um dos decantadores. Observou-se, no dia da visita, que as chicanas encontravam-se afogadas, evidenciando a sobrecarga de vazão na ETA.

O trecho inicial do floculador hidráulico recebe a água coagulada e o tempo teórico de floculação estimado neste trecho é de 7,6 minutos, considerando-se a vazão de entrada na ETA de 830 L/s e a divisão equitativa entre os dois módulos 1 e 2. Posteriormente, a água pré-floculada é encaminhada para os decantadores, na entrada dos quais há chicanas que promovem um trecho adicional de floculação, com tempo teórico estimado de 13,2 minutos, considerando a divisão equitativa de vazão entre os decantadores (também não há nenhum controle preciso da divisão de vazão, que é feita a partir da abertura manual dessas comportas).

Em relação aos tempos teóricos estimados de floculação, verifica-se que o tempo total de floculação está de acordo com a faixa de valores recomendada, de 20 a 30 minutos. Observa-se, para tanto, que o trecho adicional de floculação é indispensável para que o tempo de floculação seja adequado. Vale ressaltar que as chicanas da entrada dos decantadores também se encontravam afogadas no dia da visita.

É realizada a aplicação de auxiliar de floculação (no momento da visita, polímero sintético não iônico) por meio de tubulações perfuradas localizadas em dois pontos da unidade de floculação. Destaca-se que não há controle da dosagem aplicada desse polímero, sendo seu ajuste feito, na prática, em função de análise visual do floco e da qualidade da água decantada.

No módulo B, a água coagulada é encaminhada para 4 unidades paralelas de floculação (F.H. 1-B, 2-B, 3-B e 4-B), conforme a Figura 5.2, cada uma composta por dois trechos de floculação, sendo o primeiro trecho com chicanas de escoamento vertical (passagens superiores e inferiores) e tempo teórico de floculação estimado em 10,1 minutos (para a vazão de operação da ETA igual a 830 L/s), e trecho de floculação adicional no início de cada um dos 2 decantadores, com tempo teórico estimado de 9,5 minutos. Verifica-se que o valor do tempo teórico de floculação para o módulo B está abaixo da faixa recomendada (20 a 30 minutos), mesmo considerando o trecho adicional de floculação.

Ademais, há também neste módulo, aplicação de polímero sintético como auxiliar de floculação em dois pontos, por meio de tubulações perfuradas instaladas no início e no final da floculação.

Cada módulo da ETA possui 2 decantadores (4 no total) de circuito “vai e vem”, isto é, com um trecho de curva em uma das extremidades (Figura 5.2). Com base nas informações contidas no projeto (Quadro 5.4), calcularam-se os parâmetros atuais de floculação, os quais estão expressos no Quadro 5.5.

Os cálculos desconsideraram a seção do decantador munida de chicanas, uma vez que a decantação só começa, efetivamente, depois que a água passa por esse trecho. Além disso, no projeto, o cálculo da taxa de aplicação superficial é feito considerando-se toda a área em planta do decantador, como se ele fosse um decantador convencional. No entanto, essa extrapolação é incorreta, uma vez que as linhas de correntes na curva não são paralelas, como ocorre nos decantadores convencionais. Assim, calculou-se a taxa de aplicação superficial para os parâmetros de projeto e para os parâmetros atuais de operação considerando apenas a área em planta dos trechos retilíneos dos decantadores.

Quadro 5.4 - Dimensões dos decantadores da ETA 1

	Módulo A	Módulo B
Área em planta (m ²) - desconsiderando a curva	249,00	328,74
Volume total de um decantador (m ³)	1.099	1560
Altura molhada (m)	3,30	3,50

Fonte: A autora

Quadro 5.5 - Parâmetros de operação para os decantados da ETA 1

	Decantadores Módulo A		Decantadores Módulo B	
	Parâmetros de projeto	Parâmetros atuais de operação*	Parâmetros de projeto	Parâmetros atuais de operação*
Vazão em cada decantador (L/s)	130,00	207,50	130,00	207,50
Tempo de detenção (h)	2,35	1,47	3,30	2,09
Taxa de aplicação superficial (m ³ /m ² /dia)	45	72	34	55
Velocidade de sedimentação (cm/min)	3,13	5,00	2,37	3,79
Velocidade de escoamento (cm/s)	0,76	1,24	0,60	2,09

(*) Considerando a vazão do dia da visita e a divisão equitativa de vazão entre os módulos e entre os decantadores

Fonte: A autora

Observa-se que os decantadores estão operando com velocidade e taxa de aplicação superficial muito acima dos valores de projeto, o que pode comprometer a eficiência da decantação.

No tocante da velocidade média de escoamento na seção transversal, a norma NBR 12.216/1992 estabelece que, em decantadores horizontais convencionais, esse valor deve ser inferior a 0,75 cm/s para ETAs com capacidade superior a 10.000 m³/d, como é o caso da ETA 1. Assim, a velocidade de escoamento atual pode comprometer o desempenho e a operação dos decantadores. De fato, foi observado o arraste de flocos na saída do decantador.

Destaca-se que os parâmetros de operação podem estar ainda mais críticos do que os apresentados no Quadro 5.5, uma vez que não há garantia de que, de fato, a vazão é distribuída equitativamente entre os decantadores.

No que concerne à sedimentação dos flocos, de acordo com os operadores da ETA 1, o maior acúmulo de lodo ocorre no primeiro trecho e especialmente na curva do decantador. Esse comportamento é previsível, uma vez que a curva promove diferentes gradientes de velocidade, fazendo com que haja uma tendência de depósito de sedimentos na parte interna da curva, onde a velocidade do escoamento é menor.

Há que se mencionar ainda que a configuração em “U” do decantador não é comum, uma vez que a sedimentação ocorre principalmente no primeiro trecho e na curva, sendo o trecho após a curva pouco vantajoso.

A coleta de água decantada é feita ao final do segundo trecho de cada decantador através de tubos com orifícios. No dia da visita, observou-se, nos dois módulos, que esses tubos encontravam-se afogados e que a água vertia livremente para as calhas de coleta, o que é um indicativo de sobrecarga na vazão. Foi observado, ainda, arraste de flocos no vertedor de coleta de água decantada do Módulo A.

Ademais, vale mencionar que é feita aplicação de cloro (cloração intermediária) em um decantador de cada módulo (D-A1 e D-B2), no trecho de floculação adicional. A aplicação de cloro deveria ocorrer em todos os decantadores, mas os outros dois rotômetros não estavam em funcionamento.

Ainda em relação à adição de cloro nos decantadores, a cloração intermediária reduz o tempo de contato desse agente desinfetante, se comparada à pré-cloração, diminuindo também a probabilidade de formação de subprodutos organoclorados. Para tanto, é aconselhável que a aplicação de cloro nos decantadores seja feita em pontos no fim dessas unidades, pois a quantidade de precursores da formação desses subprodutos, sobretudo matéria orgânica, é menor ao final da decantação.

Dos decantadores, a água segue para um canal comum de alimentação dos filtros, os quais foram projetados para trabalhar com taxa declinante variável.

No entanto, os 10 filtros da ETA 1 apresentam características distintas, notadamente em relação às dimensões, composição e espessura do meio filtrante, tubulações, acessórios e vertedores (somente dos filtros 9 e 10 utilizam vereadores para a coleta da água filtrada). Além disso, a operação é feita manualmente, sem critérios definidos, através da abertura e fechamento das válvulas das tubulações de saída de água filtrada durante a filtração.

Esses fatores interferem diretamente na filtração com taxa declinante variável, e podem representar os seguintes problemas:

- Concepção hidráulica incorreta, uma vez que os filtros são hidraulicamente diferentes, estando, portanto, em desacordo com o princípio da operação em taxa declinante variável. Os filtros passam a apresentar diferentes perdas de carga turbulenta (sistema de drenagem, tubulação de saída, vertedor) e laminar (diferentes espessuras e granulometrias de meio filtrante) que impossibilitam o controle deste método de operação. A consequente falta de controle de operação pode resultar na redução da qualidade da água filtrada devido a possível ocorrência de transpasse e de transientes hidráulicos;
- Operação inadequada, pois, apesar de contraindicado, observa-se que há controle de vazões (de água filtrada) por meio do ajuste manual das válvulas de saída de água filtrada de cada filtro, que também pode ocasionar transientes e transpasse.

Aqui cabe mencionar que a ocorrência de transpasse significa que foi ultrapassada a capacidade do meio filtrante de reter impurezas, ocasionando provável aumento da turbidez na água filtrada e, conseqüentemente, do número de microrganismos na água tratada, notadamente protozoários.

Ademais, os filtros apresentam meio filtrante de antracito e areia (dupla camada) e fundo com bocais para lavagem. A carreira de filtração dura 24 horas, e a lavagem dos filtros é realizada somente com água no sentido ascensional, proveniente de um reservatório elevado de água para lavagem (270 m³). A lavagem é precedida por lavagens superficiais com jatos de mangueira, que têm por finalidade a limpeza das paredes dos filtros e auxiliar no desprendimento da camada mais superficial de partículas retidas no meio filtrante.

A literatura recomenda que filtros de dupla camada devem observar alguns requisitos, como:

- Lavagem auxiliar com ar, que possui diversos benefícios listados pela literatura nacional e internacional, como a redução do volume de água utilizado na lavagem, redução de bolas de lodo, bem como os picos de turbidez e sua duração durante o período inicial de filtração (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017);
- O reservatório de água de lavagem deve ser projetado de modo que a variação dos níveis de água no início e no final da operação não altere significativamente a velocidade ascensional de água de lavagem;
- A fim de compensar as perdas de carga resultantes dos acessórios e da distância entre os filtros e o reservatório de lavagem, uma opção é a instalação de placas perfuradas com diferentes diâmetros na tubulação individual de água para lavagem;
- A expansão do meio filtrante deve estar de acordo com as características do meio filtrante utilizado (composição, granulometria e espessura);
- O encerramento da lavagem dos filtros deve ocorrer quando a turbidez da água de lavagem atingir turbidez em torno de 5,0 uT, conforme Di Bernardo, Dantas e Voltan (2017). Para tanto, recomenda-se a instalação de turbidímetro de fluxo contínuo no canal de coleta de água de lavagem, bem como a automação da operação da lavagem;
- Atualmente, as válvulas que controlam a vazão de entrada da água de lavagem em cada filtro da ETA 1 são operadas manualmente e conforme a sensibilidade do operador. De acordo com o que foi verificado durante da visita, no início da lavagem dos filtros (cerca de 5 minutos), as válvulas de entrada da água de lavagem possuem abertura de cerca de 30% e, para o restante do tempo, a válvula é completamente aberta. Esta operação é realizada para que não haja danos nos meios filtrantes devido à variação de vazão.

O tempo de lavagem dos filtros é determinado pela observação visual da turbidez da água de lavagem, e varia, em geral, entre 7 e 10 minutos, como indicado pela literatura. A água resultante da lavagem dos filtros é encaminhada diretamente para um corpo d'água, sem qualquer tratamento prévio.

É importante mencionar que o procedimento de lavagem dos filtros segue um protocolo genérico elaborado pelo SAA 1. No entanto, o protocolo descreve a lavagem para filtros rápidos descendentes com camada de areia, e não para filtros de dupla camada. Faz-se, assim, algumas ressalvas em relação às recomendações contidas nesse documento:

- O documento recomenda que o filtro deve ser tirado da carreira de filtração para lavagem quando for verificado aumento da turbidez na água filtrada ou quando for observada colmatação do meio filtrante, caracterizada pela diminuição da vazão de água filtrada. Entretanto, o encerramento da carreira de filtração não pode ser feito após o transpasse, pois isso pressupõe riscos à segurança da água. Sugere-se que seja feito o encerramento por tempo ou por carga hidráulica. Ademais, o fato de os filtros não serem idênticos invalida a correlação entre a redução na vazão do efluente e a colmatação do meio filtrante. Deste modo, o procedimento para a lavagem dos filtros da ETA 1 deve ser revisado;
- O documento indica que a velocidade ascensional da água de lavagem dos filtros deve ser adequada ao meio filtrante. Contudo, a composição e espessura atuais do meio filtrante dos filtros da ETA não são conhecidas e, tendo em vista que os filtros são diferentes, a velocidade ascensional em cada um deles deve ser diferente;
- É pertinente observar que o documento descreve o procedimento de lavagem somente com água, mas o método de lavagem ideal para filtros de dupla camada, como é o caso dos filtros da ETA 1, seria com ar e água.

Por fim, após a filtração, a água filtrada é encaminhada a dois reservatórios enterrados de 1.500 m³ através de um canal, no qual ocorre a dosagem de ácido fluossilícico e de cloro. Dos reservatórios da ETA 1, a água é bombeada aos reservatórios da rede de distribuição.

É importante frisar que a filtração é a operação unitária mais crítica em uma ETA de tratamento convencional, isso porque, os filtros representam a última barreira e a etapa mais eficiente na remoção de protozoários (CERQUEIRA, 2008). Dessa forma, é imperativo que essas unidades operem de maneira adequada e que sua lavagem seja realizada rigorosamente, a fim de evitar prejuízos ao funcionamento dos filtros e a ocorrência de transpasses no reinício de sua operação.

5.1.4 Análise dos dados operacionais e dos ensaios realizados durante a visita

Com base nos dados operacionais da ETA 1 para o período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018, analisou-se a variação dos seguintes parâmetros: turbidez, pH, cor aparente, matéria orgânica, alcalinidade, oxigênio dissolvido, dureza, ferro emanganês para a água bruta e tratada, e cloro residual livre e fluoreto somente para a água tratada. Nos itens a seguir, são apresentados os parâmetros que apontaram desvios em relação ao padrão de potabilidade.

- **Turbidez**

O tratamento convencional visa, sobretudo, a remoção/redução de turbidez da água bruta. Isto porque, há uma forte correlação entre esse parâmetro e a presença de protozoários na água. Estudos observaram que a taxa de decaimento de oocistos de protozoários estava diretamente relacionada a seu grau de aderência ou adsorção às partículas em suspensão, responsáveis por conferir turbidez à água (HAWKINS et al., 2000, apud CERQUEIRA, 2008, p. 47).

É notório ainda, que a desinfecção com diversos desinfectantes, mesmo com ozônio, mostrou-se pouco eficiente na inativação de oocistos (WARE et al., 2010). Mesmo que estudos têm mostrado que a inativação de oocistos por irradiação ultravioleta apresenta bons resultados (DUMETRE, et al., 2008; WARE et al., 2010), essa tecnologia ainda é pouco adotada nos sistemas de tratamento de água brasileiros. Assim, a remoção da turbidez através da filtração permanece como etapa preponderante no tratamento de água.

De acordo com Heller et al. (2004), cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* apresentam dimensões de aproximadamente 8 a 15 μm e 4 a 6 μm , respectivamente, o que os torna passíveis de serem removidos por filtração. Esses autores apontam que sistemas de tratamento com filtração rápida seguida de desinfecção, se bem operados e produzindo água filtrada com turbidez $\leq 0,5$ uT, podem alcançar remoção e inativação de 99,9% de cistos de *Giardia*. E, para produção de água tratada com $\leq 0,3$ uT de turbidez, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* pode chegar a 99%

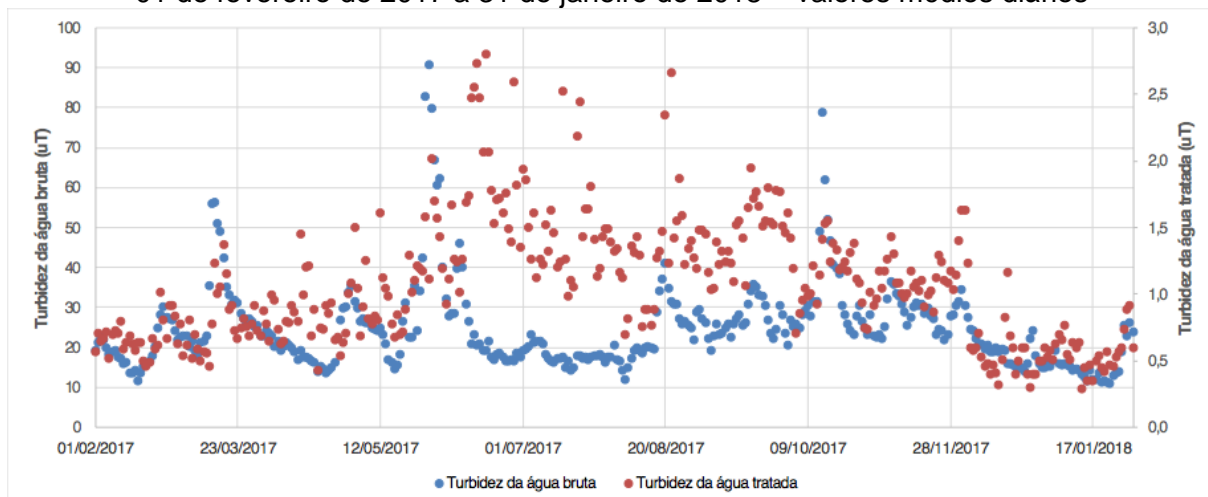
(HELLER, et al., 2004). Nesse sentido, a turbidez é considerada um parâmetro de natureza sanitária e uma medida indireta da presença de protozoários.

No que diz respeito à água tratada na ETA 1, os valores médios diários de turbidez ultrapassaram 1,0 uT, como pode ser observado na Figura 5.3. No entanto, a Portaria de Consolidação Nº 05/2017 (Anexo XX) não estabelece limites de turbidez para água pós-desinfecção, conquanto que, na rede de distribuição, a turbidez da água seja inferior a 5,0 uT.

Destaca-se que, dificilmente a turbidez da água tratada é maior do que 5,0 uT e, no caso da ETA 1, o maior valor de turbidez observado na água tratada, considerando os valores médios diários, foi de 2,8 uT (18/06/2017). Contudo, a adição de cloro e alcalinizante não deve implicar no aumento significativo de turbidez, exceto quando utilizado alcalinizante de baixa qualidade. Assim, os valores mais elevados de turbidez da água tratada podem ser influenciados pela turbidez da água filtrada.

Nos dias 15 e 18 de junho de 2017, por exemplo, dias de pico na turbidez da água tratada, como pode ser constatado no gráfico da Figura 5.3, a turbidez da água na saída de cada filtro superou o valor estipulado pelo padrão de potabilidade, de 1,0 uT (para 95% das amostras a VMP para turbidez deve ser inferior a 0,5 uT), como mostra o Quadro 5.6.

Figura 5.3 - Variação da turbidez da água bruta e da água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

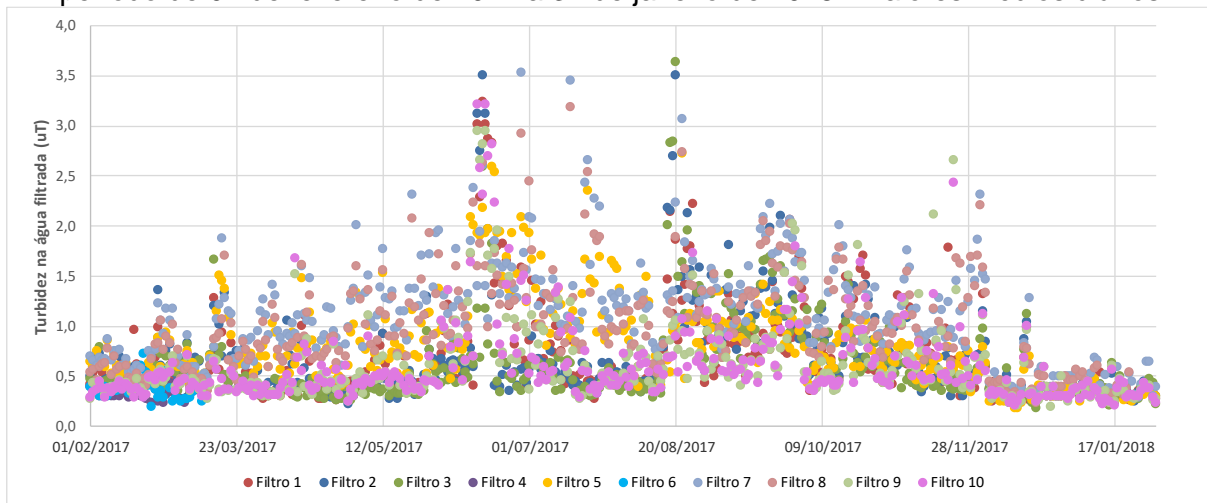
Quadro 5.6 - Turbidez da água na saída de cada filtro nos dias 15 e 16 de julho de 2017, considerando valores médios diários

Turbidez da água filtrada		
	15/06/2017	18/06/2017
F1	3,250	2,842
F2	3,517	1,317
F3	2,592	1,833
F4	3,983	1,900
F5	2,192	2,592
F6	2,267	2,642
F7	2,608	1,633
F8	2,633	1,325
F9	2,817	1,575
F10	2,317	2,817

Fonte: A autora

No que concerne à turbidez da água de cada filtro, o padrão de potabilidade estabelece o limite máximo de turbidez de 0,5 uT para 95% das amostras de água filtrada de cada unidade de filtração e o valor máximo pontual não deve exceder 1,0 uT. Não obstante, com base nas planilhas de dados operacionais da ETA 1, para o período de fevereiro de 2017 a janeiro de 2018, os dados mostram que o padrão não é atendido, como resumem a Figura 5.4 e o Quadro 5.7.

Figura 5.4 - Variação da turbidez na água filtrada em cada um dos 10 filtros da ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

Quadro 5.7 - Porcentagem de amostras de água filtrada com turbidez em acordo com o padrão de potabilidade

Filtro	Porcentagem de amostras com turbidez de água filtrada menor ou igual a 0,5 uT	Porcentagem de amostras com turbidez de água filtrada maior que 1,0 uT
1	47,67%	14,79%
2	48,08%	16,21%
3	56,44%	10,96%
4	53,57%	13,19%
5	23,29%	24,66%
6	15,89%	40,55%
7	13,42%	56,44%
8	17,40%	42,27%
9	54,52%	11,51%
10	52,88%	11,51%

Fonte: A autora

Com base nessas informações, verifica-se que nenhum filtro apresentou, em 95% de suas amostras, turbidez menor do que 0,5 uT, sendo o Filtro 3 o que mais se aproxima da norma, com apenas 56,44%. Também se observa que os filtros apresentaram valores de turbidez acima de 1,0 uT em, no mínimo, 10,96% das amostras (Filtro 3). Ao se comparar todos os filtros, percebe-se que os filtros 6, 7 e 8 possuem o pior desempenho.

Ressalta-se ainda que os picos de turbidez para as águas filtrada e tratada, apresentados na Figura 5.3, não são decorrentes de picos de turbidez da água bruta. Isso foi verificado através do resultado da correlação de Pearson para os dados de

turbidez da água bruta e tratada (0,283, correlação considerada desprezível). De fato, os picos de turbidez da água tratada não coincidem necessariamente com os picos de turbidez de água bruta, como pode ser observado especialmente nos dias 18 de junho de 2017 e 22 de agosto de 2017, em que a turbidez da água tratada tem valores mais elevados enquanto que a turbidez da água bruta não apresentou variações significativas. Como mencionado, a turbidez da água tratada pode estar relacionada à turbidez da água dos filtros.

Portanto, pode-se inferir que a água filtrada da ETA 1 apresenta desvios em relação ao padrão de potabilidade, possivelmente devido a problemas no tratamento, especialmente na etapa de filtração. Para tanto, é necessário realizar estudos mais aprofundados sobre o atual funcionamento dos filtros para identificar o motivo pelo qual sua eficiência não está adequada, acarretando, em todos eles, e em especial nos filtros 6, 7 e 8, valores de turbidez acima dos limites máximos da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 (Anexo XX).

Complementarmente à análise dos dados operacionais, foram executadas, na ocasião da visita, análises de turbidez da água filtrada na saída de cada filtro enquanto um dos filtros estava sendo lavado, conforme os dados apresentados no Quadro 5.8. Este procedimento foi realizado a fim de se avaliar o impacto da retirada de um filtro da carreira de filtração devido à lavagem no desempenho dos demais. É necessário identificar se há sobrecarga nos demais filtros ocasionando deterioração da qualidade da água filtrada.

Quadro 5.8 - Turbidez da água filtrada nos filtros remanescentes em operação

Filtro	Turbidez (uT)
1	0,34
2	0,23
3	0,29
4	0,27
5	0,24
6	0,27
8	0,76
9	0,33
10	0,31

Fonte: A autora

Com base nas informações do Quadro 5.8, nota-se que o Filtro 8 apresentou valor de turbidez acima do valor estipulado pelo padrão de potabilidade, de 0,5 uT. Na ocasião da aferição desses valores, o Filtro 8 era o próximo da carreira de filtração a ser lavado e, na sequência, seriam os filtros 9, 10, e assim por diante. Apesar da lavagem ter o potencial de garantir que a turbidez da água filtrada volte a atender o padrão de potabilidade, é notório que a colmatação dos filtros está ocorrendo antes do fim da carreira de filtração, tendo em vista o Filtro 8, o que implica no aumento do risco de transpasse de protozoários (THURSON et al., 2000 apud CERQUEIRA, 2008, p. 57) e consequentes danos à saúde pública.

A partir de todas essas informações, observa-se a elevada frequência com que os valores de turbidez na água filtrada resultaram superiores aos limites estabelecidos pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017. Ademais, a Portaria também recomenda que a água filtrada apresente valor de turbidez menor ou igual a 0,3 uT

em 95% das amostras se a água bruta apresentar concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. maior ou igual a 3,0 oocistos/L. Com base nas informações do item 5.1.1, é muito provável a presença de protozoários na água bruta afluyente à ETA 1, tendo em vista as atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia hidrográfica. Desse modo, pensando na segurança da água, o limite operacional de 0,3 uT para a turbidez da água filtrada deve ser uma meta a ser atendida para cada filtro da ETA 1.

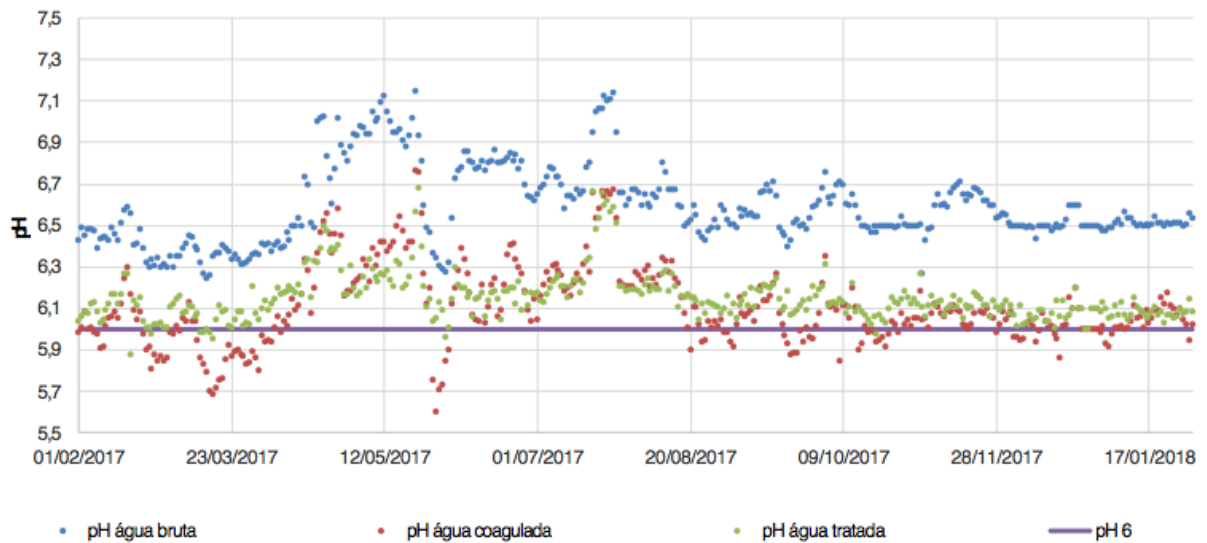
Vale ressaltar que a eficiência na remoção da turbidez depende especialmente da congruência entre a etapa de coagulação e de filtração. LeChevallier e Au (2004) ressaltam que a otimização da coagulação-floculação (ajuste de pH e da dosagem de coagulante, bem como de parâmetros da floculação) tem sido uma das principais melhorias incorporadas aos sistemas de tratamento convencional para alcançar os níveis satisfatórios de remoção de oocistos. Isso porque, a eficiência dessa etapa viabiliza a adsorção de oocistos aos flocos formados, influenciando decisivamente as taxas de remoção nas operações unitárias subsequentes (LECHAVALLIER; AU, 2004). A filtração, por sua vez, é a barreira final de remoção de protozoários, promovendo a retenção desses microrganismos. É imperativo, para tanto, que essas unidades sejam bem projetadas e bem operadas, a fim de evitar o transpasse de partículas e, conseqüentemente de protozoários, para a água de abastecimento.

- **pH**

Análises de pH ao longo do tratamento da água são relevantes para a determinação das condições de coagulação, etapa importante no que diz respeito à remoção de turbidez e de metais.

O gráfico da Figura 5.5 mostra a variação do pH da água ao longo do tratamento. Destaca-se que os valores médios, máximos e mínimos de pH da água coagulada para o período foram 6,1, 6,8 e 5,6, respectivamente.

Figura 5.5 - Variação do pH da água ao longo do tratamento na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 – valores médios diários



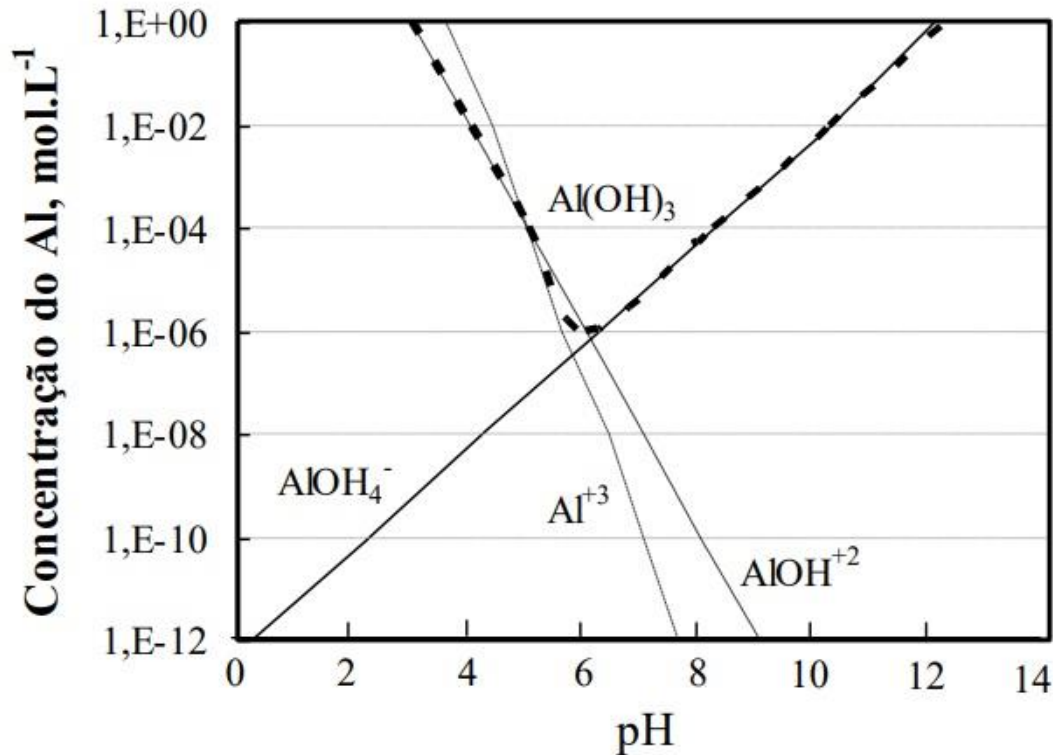
Fonte: A autora

Nota-se que, no caso da ETA 1 o pH de coagulação é mantido em torno de 6,2. De acordo com o diagrama de solubilidade do alumínio (Figura 5.6), é recomendável que o pH de coagulação seja superior a 6,0, de preferência acima de 6,5, a fim de minimizar a presença de íons Al^{3+} na água.

No entanto, é imprescindível que as condições de coagulação sejam ajustadas de acordo com as características da água bruta a ser tratada, a qual sofre variações que devem ser consideradas no tratamento. Para tanto, ensaios em jarreste devem ser rigorosamente executados para que a coagulação seja eficiente e não decorra na presença de alumínio na água tratada, o qual pode ser, segundo estudos epidemiológicos, um fator de risco para o desenvolvimento ou aceleração do Mal de Alzheimer (CETESB, 2012).

A literatura aponta que, para tratamentos em ciclo completo, o mecanismo de varredura é preferível, pois, em geral, os flocos obtidos, neste caso, são maiores e sedimentam mais facilmente (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017). Assim sendo, o ajuste das condições de coagulação (pH e dosagem de coagulante) devem visar que esta ocorra na faixa da varredura.

Figura 5.6 - Diagrama de solubilidade das espécies de alumínio em função do pH



Fonte: Metcalf & Eddy (2003), modificado

- **Matéria orgânica**

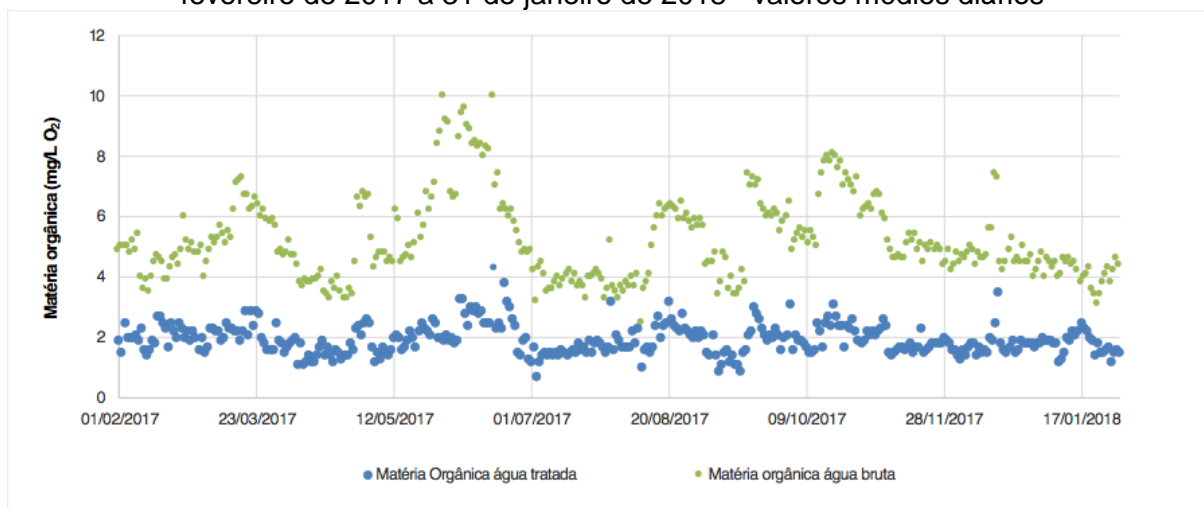
Como já foi mencionado, a remoção de matéria orgânica é importante no tratamento de água, visto que, dependendo de sua origem, pode agir como precursora da formação de compostos organo-halogenados (matéria orgânica de origem natural, como é o caso de substâncias húmicas), ou mesmo causar danos à saúde dos seres humanos, desde irritações cutâneas e nas mucosas a problemas neurológicos e cancerígenos (matéria orgânica de origem antropogênica, como é o caso de agrotóxicos) (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

O gráfico da Figura 5.7 apresenta a concentração de matéria orgânica na água tratada e sua correlação com a água bruta. É notório que os valores de matéria orgânica na água bruta são maiores no período chuvoso para a região de estudo, sobretudo no mês de junho.

Observa-se que os picos da água tratada coincidem com os da água bruta. Assim, teores elevados de matéria orgânica na água de captação podem apontar para

a necessidade de se adicionar carvão ativado à água para reduzir o teor de matéria orgânica na água tratada. Podem ser considerados adequados teores de matéria orgânica abaixo de 2 mg/L de oxigênio consumido na água filtrada (DI BERNARDO et al., 2017). Com base na análise dos dados históricos, verifica-se que 35,9% das amostras de água tratada possui valores acima desse valor de referencia.

Figura 5.7 - Matéria orgânica na água bruta e na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

No entanto, a quantificação de matéria orgânica através de análises de oxigênio consumido é limitada, pois considera somente a fração da matéria orgânica oxidável, sendo, portanto, aconselhável o monitoramento do carbono orgânico total para orientar a etapa de adsorção.

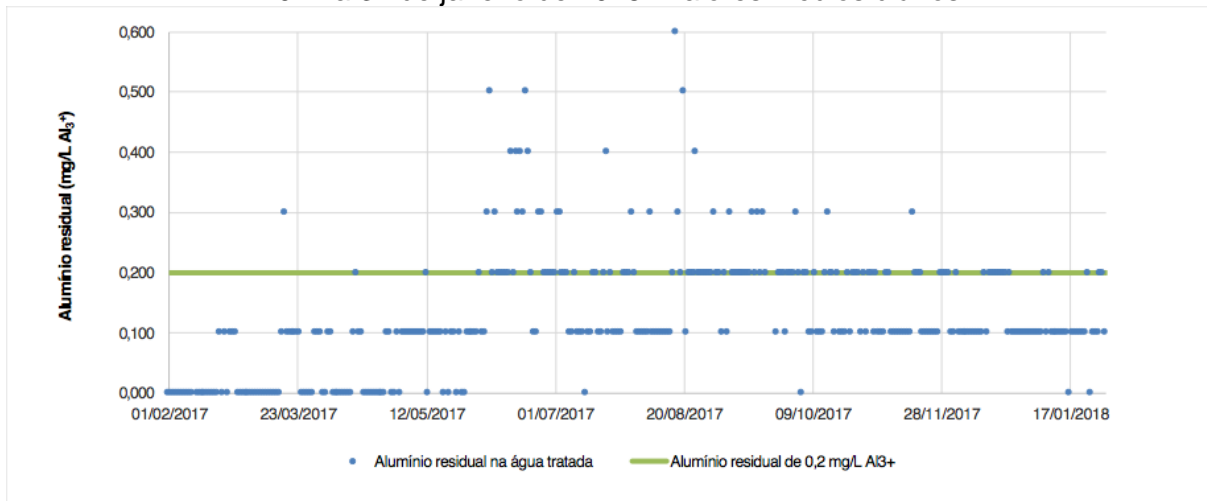
- **Ferro e manganês**

O tratamento na ETA 1 mostrou-se eficiente na remoção de ferro e manganês da água bruta. Nenhuma das amostras para o período estudado indicaram valores acima dos limites definidos pelo padrão de potabilidade para esses parâmetros.

- **Alumínio**

A quantidade de alumínio residual na água tratada foi superior ao limite máximo estabelecido pelo padrão de potabilidade (0,2 mg/L Al³⁺) em 8,3% das amostras do período de fevereiro de 2017 a janeiro de 2018, como mostra a Figura 5.8.

Figura 5.8 - Alumínio residual na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

Ressalta-se que a elevada concentração de alumínio na água tratada pode estar relacionada com condições de coagulação inadequadas (pH de coagulação e dosagem de coagulante) sendo, portanto, necessária a realização de ensaios em jarreste, visando otimizar a condição de coagulação, ou a instalação de equipamentos que automatizam a regulação das condições de coagulação, para que ocorra a precipitação desse metal.

De acordo com a CETESB (2012), estudos sugerem uma possível relação entre o desenvolvimento ou aceleração do Mal de Alzheimer e o alumínio na água, podendo ser este um potencial perigo para a saúde pública.

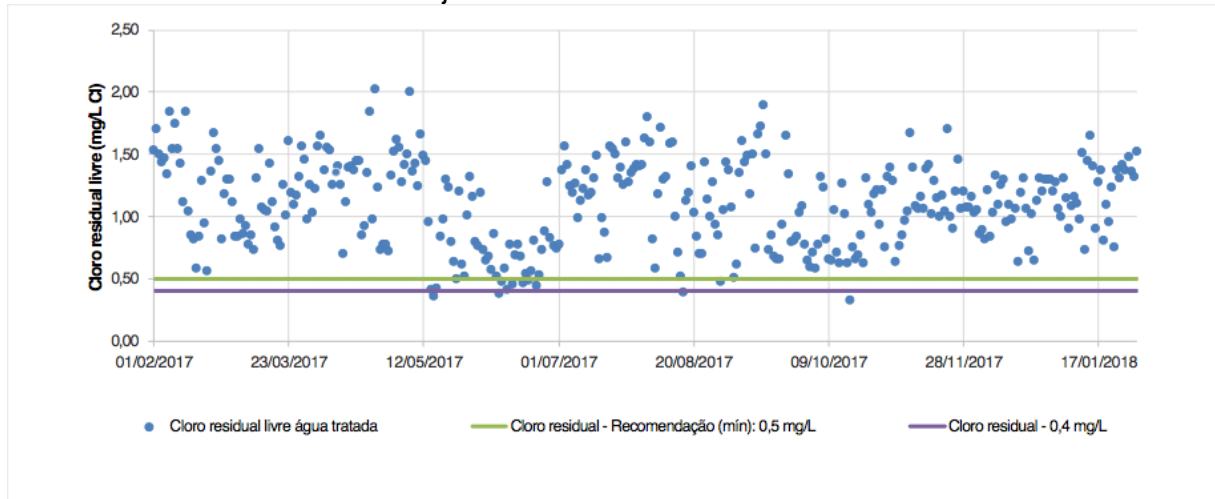
A fim de evitar alumínio residual na água tratada, recomenda-se pH de coagulação maior ou igual a 6,5, visto que abaixo desse valor o alumínio encontra-se solubilizado, de acordo com o diagrama típico de solubilidade do alumínio (Figura 5.6).

- **Cloro residual livre**

Os valores de cloro residual livre na água tratada estão em 96,9% do tempo acima do valor mínimo obrigatório de 0,5 mg/L para a água tratada na saída ETA, como mostra a **FIGURA 5.9**. O padrão de potabilidade estabelece ainda que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2,0 mg/L, pois teores acima desse valor podem conferir gosto e odor à água, provocando rejeição por parte dos consumidores.

Contudo, recomenda-se a manutenção de teor de 2,0 mg/L de cloro residual livre na água tratada, na saída da ETA, a fim de que a inativação de vírus e bactérias seja efetiva.

Figura 5.9 - Cloro residual livre na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

É fundamental que a dosagem de cloro esteja em conformidade com a legislação (Portaria de Consolidação N° 05/ 2017, Anexo XX), visto que a desinfecção é uma etapa crucial para inativação de microrganismos patogênicos (bactérias, microalgas, cianobactérias e vírus) e, portanto, para assegurar a segurança da água.

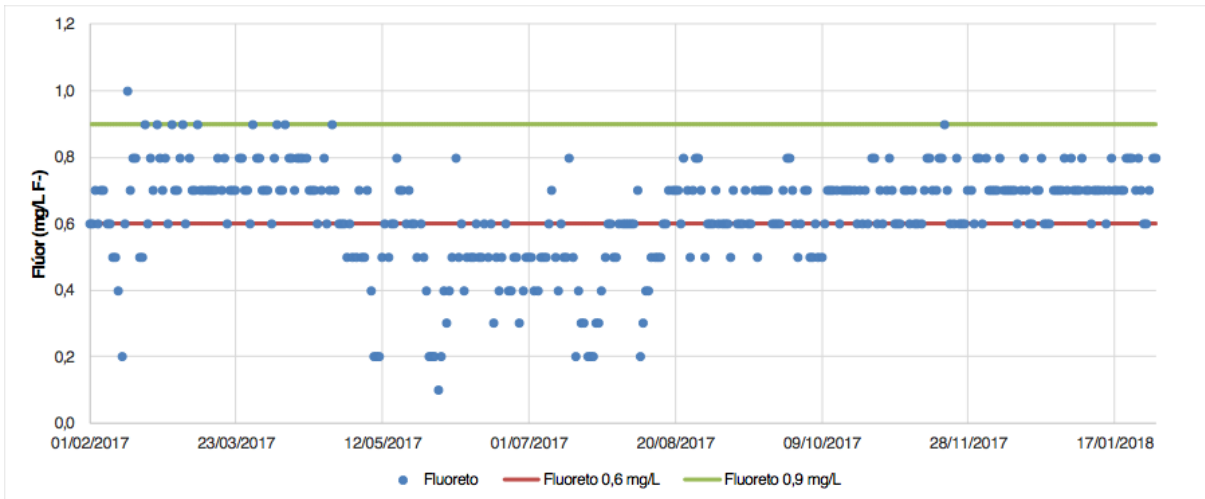
- **Íon fluoreto**

A fluoração é uma etapa do tratamento da água considerada importante para a saúde bucal, principalmente para a prevenção de cáries e, apesar de dividir opiniões sobre sua aplicação no tratamento de água, possui legislação específica no país.

Em relação à concentração de íon fluoreto na água tratada da ETA 1, tem-se que 24,7% das amostras resultaram em valores abaixo de 0,6 mg/L F⁻, e 0,3% acima de 0,9 mg/L F⁻, como mostra a Figura 5.10. Ressalta-se que elevados teores de flúor na água tratada podem provocar fluorose óssea e valores abaixo do recomendado favorece o aumento dos casos de cárie (CETESB, 2014).

A desconformidade da concentração de fluoreto na água tratada deve ser investigada podendo estar relacionada tanto a falhas mecânicas das bombas dosadoras, dosagem inadequada em relação à vazão de água tratada e/ou erros em análises do íon fluoreto.

Figura 5.10 – Íon fluoreto na água tratada na ETA 1 no período de 01 de fevereiro de 2017 a 31 de janeiro de 2018 - valores médios diários



Fonte: A autora

5.1.5 Produtos químicos

O Quadro 5.9 resume as informações sobre os produtos químicos aplicados ao longo do tratamento da água na ETA 1, contemplando análise dos dados sobre o consumo e dosagem dos produtos químicos, fornecidos pela diretoria do SAA 1, e observações feitas durante visita.

O fluxograma da Figura 5.11 mostra os pontos de aplicação dos produtos químicos.

Quadro 5.9- Informações sobre a aplicação de produtos químicos na ETA 1

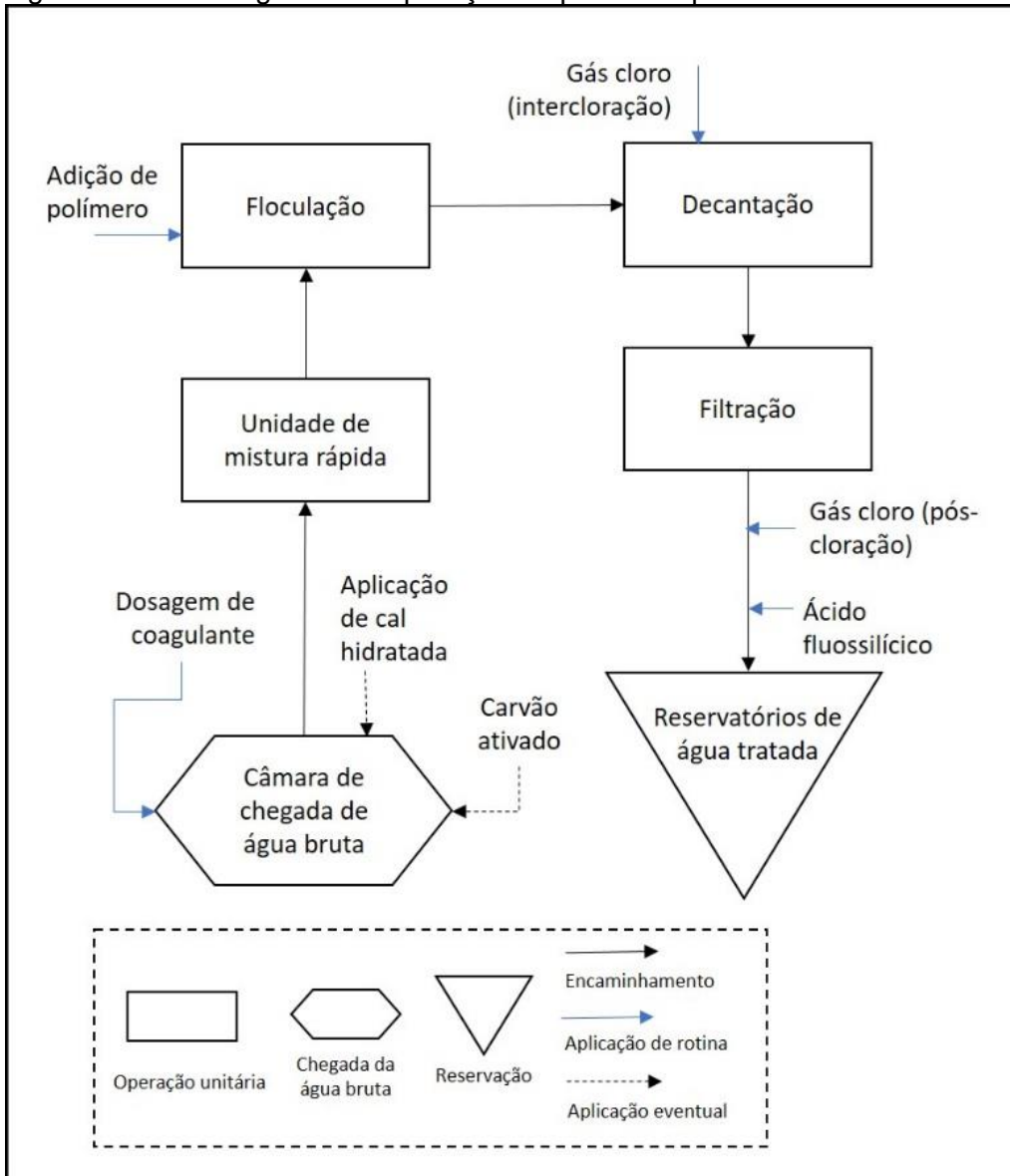
Produto químico	Aplicação / Local de aplicação	Armazenamento	Dosagens (valores diários)	Laudo de qualidade	Considerações
Sulfato de alumínio férrico líquido	Coagulante / Câmara de chegada de água bruta	Solução armazenada em 2 tanques de 8 m³ cada e 1 tanque de	No dia da visita: 31 mg/L Méd: 27 mg/L Máx: 46 mg/L Mín: 17 mg/L	Sim	Não são realizados ensaios de jarreste para ajustes da dosagem de coagulante. A dosagem é regulada com base na análise visual dos flocos. Isso pode implicar em coagulação ineficiente com prejuízo às etapas subsequentes do tratamento
Cal hidratada	Alcalinizante / Câmara de chegada de água bruta	Sacos de 40 kg (pilhas dispostas sobre estrados no depósito de produtos químicos)	Méd: 157 kg Máx: 770 kg Mín: 0 kg	Sim	A aplicação de alcalinizante ocorre quando a alcalinidade natural da água bruta não for suficiente para reagir com a quantidade de coagulante requerida
Polímero sintético (não iônico)	Auxiliar de floculação / Entrada dos floculadores	-	No dia da visita: 0,01 mg/L Méd: 0,02 mg/L Máx: 0,07 mg/L Mín: 0,00 mg/L	Sim	Não há distribuição uniforme do produto e a dosagem ocorre sem critérios objetivos, baseando-se na análise visual dos flocos formados. No dia da visita, observou-se que a formação de flocos pequenos, o que pode indicar a necessidade de se aumentar a dosagem de polímero. Recomenda-se a realização de ensaios para determinar a dosagem ideal desse produto químico

Produto químico	Aplicação / Local de aplicação	Armazenamento	Dosagens (valores diários)	Laudo de qualidade	Considerações
Gás cloro	Desinfecção / Entrada dos decantadores D-A1 e D-B2 (cloração intermediária) e na tubulação que encaminha a água tratada ao reservatório da ETA	4 cilindros de 900 kg (casa de cloro)	Méd: 225 kg Máx: 501 kg Mín: 94 kg	Sim	Foi observada, no dia da visita, falha de dois rotômetros que dosam cloro nos decantadores, o que pode comprometer a eficiência da cloração intermediária. Recomenda-se a mudança do local do ponto de aplicação de cloro nos decantadores para minimizar o potencial de formação de subprodutos organoclorados. Ademais, de acordo com a NBR 12.216/1992, a capacidade de armazenamento de cilindros de cloro deveria prever estoque de produto para 30 dias, considerando o dia de maior consumo. Neste caso, seriam necessários 17 cilindros em estoque. A casa de cloro da ETA conta com sistema de exaustão e lavagem de gás para casos de vazamento de gás cloro
Ácido fluossilícico	Fluoração / Tubulação que encaminha a água tratada ao reservatório da ETA	Tanque	Méd: 2,6 mg/L Máx: 12,0 2,6 mg/L Mín: 0,0 2,6 mg/L	Sim	3 bombas dosadoras
Hipoclorito de sódio	Desinfecção / Tubulação que encaminha a água tratada ao reservatório da ETA	Tanque	-	Sim	Utilizado apenas em casos emergenciais

Produto químico	Aplicação / Local de aplicação	Armazenamento	Dosagens (valores diários)	Laudo de qualidade	Considerações
Carvão ativado pulverizado	Adsorção / Câmara de chegada de água bruta	Sacos (depósito de produtos químicos) e preparo da solução em um tanque de preparo	-	-	O carvão ativado é aplicado somente quando há identificação de sabor e odor na água. Ademais, notou-se que a instalação é insuficiente para dosagens acima de 10 mg/L. Recomenda-se que a aplicação seja feita na captação, a fim de aumentar o tempo de contato

Fonte: A autora

Figura 5.11 – Fluxograma de aplicação de produtos químicos na ETA 1



Fonte: A autora

5.1.6 Identificação dos perigos e dos eventos perigosos

Com base nas informações que compõem o diagnóstico, fez-se uma síntese dos principais problemas identificados:

- Não há adequação das condições de coagulação diante de variações da qualidade da água bruta, com prejuízo à formação de flocos, redução da eficiência dos decantadores e filtros, e aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros;
- Aplicação não-uniforme de cloro nos decantadores, o que pode causar a diminuição das taxas de inativação de organismos patogênicos como vírus e bactérias, ou também pode ocasionar a formação de subprodutos organoclorados (ponto de aplicação de cloro nos decantadores em local não adequado) caso haja precursores de sua formação na água;
- O controle da vazão afluyente a cada módulo é feito manualmente e por meio de observação visual dos operadores, o que pode resultar em mau funcionamento dos módulos de floculação e decantação, bem como a imprecisão nas dosagens de produtos químicos;
- O fato das chicanas encontrarem-se afogadas prejudica a formação de flocos e reduz a eficiência de decantadores e filtros;
- A distribuição da solução de polímero nas unidades de floculação não é uniforme e contribui para a má formação de flocos, o que reduz a eficiência dos decantadores e sobrecarrega os filtros;
- Com o elevado gradiente de velocidade nos flocladores, há a formação de flocos menores e, conseqüentemente, com menores velocidades de sedimentação, o que reduz a eficiência dos decantadores e sobrecarrega os filtros;
- Arraste de flocos no vertedor de coleta de água decantada do Módulo A, o que pode influenciar negativamente no funcionamento dos filtros;

- Vazão nos decantadores excede os valores estabelecidos em projeto, o que resulta no extravasamento da água decantada na parede final do vertedor de água decantada e sobrecarga no funcionamento dos filtros;
- A lavagem dos filtros com água não é eficiente em comparação com a lavagem com ar e água e seu resultado é a produção de água filtrada de pior qualidade e redução da vida útil do meio filtrante;
- Os filtros da ETA 1 não operam conforme a literatura nacional e internacional de taxa declinante variável, visto que possuem áreas em planta e composição de meio filtrante distintos, apenas 2 dos 10 filtros utilizam vertedores de água filtrada e os acessórios e tubulações de cada filtro também são diferentes;
- Verificou-se, com base nos dados históricos e nas medições realizadas em visita técnica à ETA 1 que os valores de turbidez da água filtrada estão em desacordo com os limites máximos estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 (Anexo XX), o que pode indicar possíveis contaminações da água tratada com microrganismos patogênicos, notadamente protozoários;
- Com base nos dados históricos da ETA 1 foi verificado que a concentração de alumínio na água tratada mostrou-se acima da permitida em legislação, o que pode ser resultado de condições de coagulação inadequadas;
- Com base nos dados históricos da ETA 1, foi verificado que a concentração de íon fluoreto resultou valores acima ou abaixo da faixa estipuladas em legislação, podendo ter impactos à saúde pública.

O diagnóstico da ETA e o levantamento dos problemas citados acima permitiram a identificação dos perigos e seus respectivos riscos associados à etapa de tratamento, como será mostrado nos itens a seguir.

5.1.7 Identificação dos perigos, dos eventos perigosos e probabilidade de ocorrência

O Quadro 5.10 ao Quadro 5.17 apresentam os perigos identificados ao longo das etapas de tratamento da ETA 1.

Quadro 5.10 – Identificação dos perigos - Controle Geral ETA

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Microrganismos patogênicos e contaminantes químicos	Contaminação proposital ou acidental da água por entrada não autorizada de terceiros			x	x	x	x	x	x	Boicotes e vandalismos / depredação da estrutura da ETA, contaminação da água com patógenos, agentes químicos e radioativos e consequentes riscos à saúde pública
	Fogo / explosão		x	x	x	x	x	x	x	Inutilização total ou parcial da estrutura da ETA
	Armazenamento inadequado dos produtos químicos / capacidade de estoque reduzida por questão de espaço físico	x	x			x	x	x		Ineficiência do tratamento e consequentes riscos à saúde pública

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
	Medições e informações incorretas de qualidade da água ao longo do tratamento		x			x	x	x		Baixa fiabilidade dos dados relativos à água devido à reduzida qualidade de reagentes, procedimentos de análise inadequados, fraudes no preenchimento das planilhas operacionais, equipamentos não calibrados, acarretando em dosagens incorretas de produtos químicos e/ou perda de eficiência das unidades consequentes riscos à saúde pública
	Operadores desqualificados		x			x	x	x	x	Falhas na operação e consequentes riscos à saúde
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto	x				x	x	x		Sobrecarga e redução da eficiência das unidades de tratamentos e consequentes riscos à saúde pública
	Falha nas bombas ou falta de energia elétrica		x	x		x	x	x	x	Prejuízos na operação ou interrupção do tratamento

Fonte: A autora

Quadro 5.11 - Identificação dos perigos - Adsorção em carvão ativado

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Contaminantes orgânicos	Não aplicação de carvão ativado	x	x				x	x		Presença de compostos orgânicos tóxicos na água distribuída decorrentes da limitação operacional da ETA convencional em removê-los, e consequentes riscos à saúde pública. A presença de compostos orgânicos pode conferir cor e sabor à água, acarretando na rejeição por parte dos consumidores
	Adsorção inadequada (tempo e dosagem insuficientes ou inadequados de carvão ativado pulverizado ou carvão ativado pulverizado de má qualidade ou ausência de parâmetro de controle de qualidade da água)	x	x	x			x	x		Prejuízo na remoção dos contaminantes e consequentes riscos à saúde pública. A presença de compostos orgânicos pode conferir cor e sabor à água, acarretando na rejeição por parte dos consumidores

Fonte: A autora

Quadro 5.12 - Identificação dos perigos - Coagulação

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Protozoários	Coagulação inadequada (condição de dosagem e pH de coagulação inadequados para a qualidade da água bruta / não execução de jarteste)	x	x			x		x		Prejuízos na formação dos flocos, redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Coagulação inadequada (esgotamento dos estoques de coagulante/alcalinizante)		x	x		x		x		Prejuízos na formação dos flocos, redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Coagulação inadequada (local de aplicação dos produtos químicos)	x	x			x		x		Prejuízos na formação dos flocos, redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Coagulação inadequada (produtos químicos de má qualidade)			x		x		x		Prejuízos na formação dos flocos, redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Contaminantes químicos	Produtos químicos de má qualidade na coagulação			x			x	x		Introdução de substâncias tóxicas (metais pesados, compostos orgânicos etc.) e consequentes riscos à saúde pública
Alumínio	pH de coagulação inferior a 6,50 com uso de sulfato de alumínio como coagulante		x				x			Alumínio residual na água tratada acima do VMP do padrão de potabilidade e consequentes riscos à saúde pública

Fonte: A autora

Quadro 5.13 - Identificação dos perigos - Floculação

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Protozoários	Floculação inadequada (tempos e gradientes de velocidade na floculação inadequados para a qualidade da água bruta e/ou vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto; dosagem inadequada de polímero)	x	x			x		x		Prejuízo à formação dos flocos, com consequente redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Floculação inadequada (divisão não equitativa de vazão entre os módulos de tratamento)	x	x			x		x		Prejuízo à formação dos flocos, com consequente redução da eficiência dos decantadores e filtros, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública

Fonte: A autora

Quadro 5.14 - Identificação dos perigos - Decantação

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Protozoários	Sedimentação inadequada (velocidades de sedimentação e de escoamento elevadas em função da vazão de operação da ETA ser superior à vazão nominal de projeto)	x			x	x		x		Redução da eficiência dos decantadores, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Sedimentação inadequada (dosagem insuficiente/inadequada de polímero como auxiliar de floculação)	x	x		x	x		x		Redução das eficiências dos decantadores, aumento da probabilidade de ocorrência de transpasse ou colmatção precoce dos filtros (dosagens elevadas de polímero) e consequentes riscos à saúde pública

Fonte: A autora

Quadro 5.15 - Identificação dos perigos - Filtração

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Protozoários	Lavagem inadequada (velocidade ascensional e tempo de lavagem inadequados e método de lavagem inadequado para meio filtrante de antracito e areia)	x	x		x	x		x		Redução das carreiras de filtração, perda de meio filtrante, transientes hidráulicos, formação de bolas de lodo, transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Interferências na filtração (abertura e fechamento de válvulas)		x		x	x		x		Alterações nas perdas de carga, formação de transientes hidráulicos, provável ocorrência de transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Método de operação inadequado (não realização de lavagens no tempo indicado, negligência no controle, etc)		x			x		x		Redução das carreiras de filtração, transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto, com consequente funcionamento dos filtros com taxas de filtração elevadas	x			x	x		x		Redução das carreiras de filtração, transpasse nos filtros e consequentes riscos à saúde pública

Fonte: A autora

Quadro 5.16 - Identificação dos perigos - Fluoração

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Flúor	Dosagem inadequada de flúor (falta de controle operacional)		x				x			Elevado teor de flúor na água tratada, acima do VMP da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 (Anexo XX) podendo ocasionar fluorose na população, ou mesmo teor de flúor abaixo do que recomenda o padrão de potabilidade, acarretando em possível aumento dos casos de cárie

Fonte: A autora

Quadro 5.17 - Identificação dos perigos - Desinfecção

Perigo	Evento Perigoso	Origem do Evento Perigoso				Tipo de Perigo				Descrição das Consequências
		P	O	E	OE	B	Q	F	D	
Vírus e bactérias	Dosagem inadequada de cloro (aplicação ineficiente e desigual entre os módulos de decantação, falta de controle operacional e quebra de equipamentos dosadores)	x	x		x	x				Não inativação ou inativação incompleta dos patogênicos na água a ser distribuída, com consequentes riscos à saúde da população
Subprodutos organoclorados	Formação de subprodutos organoclorados (THM, ácidos haloacéticos, etc.) na cloração intermediária	x	x	x			x			Presença de compostos orgânicos tóxicos e carcinogênicos na água distribuída, decorrentes das reações químicas do cloro com os precursores orgânicos da água bruta

Fonte: A autora

5.1.8 Análise dos riscos

O Quadro 5.18 ao Quadro 5.25 apresentam a análise dos riscos referentes aos perigos identificados ao longo das etapas de tratamento da ETA 1.

Quadro 5.18 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Controle Geral ETA

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Microrganismos patogênicos e contaminantes químicos	Contaminação proposital ou acidental da água por entrada não autorizada de terceiros	Possível devido a problemas de isolamento da ETA, entretanto improvável visto que nunca foi observada ocorrências anteriormente	1	4	4	Baixo
	Fogo / explosão	Evento não observado anteriormente nos registros de ocorrência	1	4	4	Baixo
	Armazenamento inadequado dos produtos químicos	Improvável, devido aos procedimentos de operação padrão	1	4	4	Baixo
	Medições e informações incorretas de qualidade da água ao longo do tratamento	Pouco provável devido aos procedimentos de operação padrão	2	4	8	Moderado
	Falta de treinamento contínuo dos operadores	Pouco provável devido aos procedimentos de operação padrão	2	4	8	Moderado

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto	Ocorrência observada em visita técnica (sobrecarga nas unidades)	4	4	16	Alto
	Falha nas bombas ou falta de energia elétrica	Pouco provável devido aos procedimentos de operação padrão de vistoria dos equipamentos críticos e ausência de registros sobre falta de energia elétrica	2	4	8	Moderado

Fonte: A autora

Quadro 5.19 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Adsorção em carvão ativado

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Contaminantes orgânicos	Ausência da etapa de adsorção	Provável, uma vez que há potencial de contaminação da água bruta por agrotóxicos provenientes dos efluentes dos arrozais e que não há monitoramento desses parâmetros para colocar em execução da etapa de adsorção	3	3	9	Moderado
	Adsorção inadequada (tempo e dosagem insuficientes ou inadequados de carvão ativado pulverizado ou carvão ativado pulverizado de má qualidade ou ausência de parâmetro de controle de qualidade da água)	Provável devido à ausência de monitoramento dos parâmetros para esses contaminantes e de ensaios de adsorção	3	3	9	Moderado

Fonte: A autora

Quadro 5.20 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Coagulação

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Protozoários	Coagulação inadequada (condição de dosagem e pH de coagulação inadequados para a qualidade da água bruta / não execução de jarreste)	Provável devido à não execução de ensaios de jarreste	2	4	8	Moderado
	Coagulação inadequada (esgotamento dos estoques de coagulante/alcalinizante)	Improvável, como observado em visita técnica	1	4	4	Baixo
	Coagulação inadequada (local de aplicação dos produtos químicos)	Ocorrência observada em visita técnica	1	4	4	Baixo
	Coagulação inadequada (produtos químicos de má qualidade)	Improvável, visto que é realizado um rigoroso controle de qualidade dos produtos químicos	1	4	4	Baixo
Contaminantes químicos	Produtos químicos de má qualidade na coagulação	Improvável, visto que é realizado um rigoroso controle de qualidade dos produtos químicos	1	3	3	Baixo
Alumínio	pH de coagulação inferior a 6,50 com uso de sulfato de alumínio como coagulante	Provável tendo em vista que a coagulação é feita em pH inferior a 6,5	3	3	9	Moderado

Fonte: A autora

Quadro 5.21- Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Flocculação

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Protozoários	Floculação inadequada (tempos e gradientes de velocidade na floculação inadequados para a qualidade da água bruta e/ou vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto; dosagem inadequada de polímero)	Ocorrência observada em visita técnica	2	4	8	Moderado
	Floculação inadequada (divisão não equitativa de vazão entre os módulos de tratamento)	Provável, tendo em vista que a divisão é regulada pelo fechamento e abertura manual das válvulas	2	4	8	Moderado

Fonte: A autora

Quadro 5.22 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Decantação

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Protozoários	Sedimentação inadequada (velocidades de sedimentação e de escoamento elevadas em função da vazão de operação da ETA ser superior à vazão nominal de projeto)	Ocorrência observada em visita técnica	2	4	8	Moderado
	Sedimentação inadequada (dosagem insuficiente/inadequada de polímero como auxiliar de floculação)	Provável devido ao desconhecimento da dosagem aplicada e de eventuais problemas nos dosadores	2	4	8	Moderado

Fonte: A autora

Quadro 5.23 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Filtração

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Protozoários	Lavagem inadequada (velocidade ascensional e tempo de lavagem inadequados e método de lavagem inadequado para meio filtrante de antracito e areia)	Ocorrência observada em visita técnica (lavagem somente com água)	4	4	16	Alto
	Interferências na filtração (abertura e fechamento de válvulas)	Ocorrência observada em visita técnica (operadores regulam as válvulas durante a filtração)	4	4	16	Alto
	Método de operação inadequado (não realização de lavagens no tempo indicado, negligência no controle, etc)	Provável visto que foi verificado na visita o controle operacional inadequado dos filtros	3	4	12	Alto
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto, com consequente funcionamento dos filtros com taxas de filtração elevadas	Ocorrência observada em visita técnica	4	4	16	Alto

Fonte: A autora

Quadro 5.24 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Fluoração

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Flúor	Dosagem inadequada de flúor (falta de controle operacional)	Pouco provável	2	2	4	Baixo

Fonte: A autora

Quadro 5.25 - Avaliação dos riscos referentes à ETA 1 - Desinfecção

Perigo	Evento Perigoso	Ocorrência	Probabilidade de Ocorrência	Severidade das Consequência	Resultado da Matriz	Classificação do Risco
Vírus e bactérias	Dosagem inadequada de cloro (aplicação ineficiente e desigual entre os módulos de decantação, falta de controle operacional e quebra de equipamentos dosadores)	Ocorrência observada em visita técnica (dosadores quebrados e aplicação em somente dois decantadores)	3	4	12	Alto
Subprodutos organoclorados	Formação de subprodutos organoclorados (THM, ácidos haloacéticos, etc.) na cloração intermediária	Provável, pois a aplicação ocorre no início do decantador	3	3	9	Moderado

Fonte: A autora

5.1.9 Medidas de controle e parâmetros de monitoramento

Para os riscos classificados como “altos”, estipulou-se medidas de controle para eliminar ou reduzir os perigos associados. A efetividade dessas medidas deve ser monitorada através dos parâmetros de monitoramento definidos. Para esses parâmetros, atribuiu-se limites críticos e operacionais. O Quadro 5.26 mostra os pontos de controle selecionados e apresenta as medidas a serem executadas para o controle dos riscos prioritários.

Para cada medida de controle, atribuiu-se um fator de prioridade, que varia de 1 a 3, sendo as medidas de controle mais urgentes indicadas por 1 e as secundárias por 2 ou 3.

Quadro 5.26 - Pontos de controle, medidas de controle e limites críticos e operacionais para os perigos de risco “alto” identificados na ETA 1

Perigo	Evento Perigoso	Classificação do Risco	Ponto de Controle	Medidas de Controle Existentes	Medidas de Controle Propostas ^(*)	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais
Microrganismos patogênicos e contaminantes químicos	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto	Alto	PA	-	2 - Ampliação da ETA; 2 – Instalação de medidor de vazão na ETA (Calha Parshall);	Vazão	Vazão de projeto a ser definida pelo projeto de ampliação	A ser definido após o projeto de ampliação
Protozoários	Lavagem inadequada (velocidade ascensional e tempo de lavagem inadequados e método de lavagem inadequado para meio filtrante de antracito e areia)	Alto	PCC	Lavagem dos filtros seguindo o um procedimento operacional padrão	1 - Reforma dos filtros; 1 - Lavagem com ar e água; 1 - Adequação da velocidade ascensional de lavagem; 1 – Adequação do tempo de lavagem; 1 – Adequação da expansão do meio filtrante; 2 - Automação das válvulas de entrada da água de lavagem; 2 – Treinamento dos operadores; 3 –	Turbidez da água filtrada na saída de cada filtro	0,5 uT	0,3 uT

Perigo	Evento Perigoso	Classificação do Risco	Ponto de Controle	Medidas de Controle Existentes	Medidas de Controle Propostas(*)	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais
					Manutenção do as-built atualizado			
	Interferências na filtração (abertura e fechamento de válvulas)	Alto	PCA	-	1 – Treinamentos e orientações aos operadores da ETA; 2 – Automação da abertura e fechamento das válvulas	-	-	-

Perigo	Evento Perigoso	Classificação do Risco	Ponto de Controle	Medidas de Controle Existentes	Medidas de Controle Propostas(*)	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais
	Método de operação inadequado (não realização de lavagens no tempo indicado, negligência no controle, etc)	Alto	PA	-	1 - Treinamento dos operadores; 1 – Reforma dos filtros; 1- Reforma / ampliação da ETA	Turbidez da água filtrada na saída de cada filtro	0,5 uT	0,3 uT
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto, com conseqüente funcionamento dos filtros com taxas de filtração elevadas	Alto	PA	-	1 – Reforma dos filtros; 2 - Instalação de medidores de vazão; 2- Reforma / ampliação da ETA	Vazão	Vazão de projeto a ser definida pelo projeto de ampliação	A ser definido após o projeto de ampliação

Perigo	Evento Perigoso	Classificação do Risco	Ponto de Controle	Medidas de Controle Existentes	Medidas de Controle Propostas^(*)	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais
Vírus e bactérias	Dosagem inadequada de cloro (aplicação ineficiente e desigual entre os módulos de decantação, falta de controle operacional e quebra de equipamentos dosadores)	Alto	PCC	Monitoramento de cloro residual livre e ajustes na dosagem para atender o padrão de potabilidade	1 – Manutenção ou substituição dos dosadores de cloro	Cloro residual livre	0,5 mg/L	2,0 mg/L

^(*)Para cada medida de controle, atribuiu-se um fator de prioridade, que varia de 1 a 3, sendo as medidas de controle mais urgentes indicadas por um e as secundárias por 2 ou 3

Fonte: A autora

Nota-se que a adequação da filtração é imperativa para reduzir os riscos associados a protozoários na ETA 1. Para tanto, a reforma dos filtros e a substituição do sistema de lavagem dessas unidades merecem atenção especial no planejamento das melhorias do sistema de tratamento. Ademais, o ajuste/manutenção dos dosadores de cloro também merece urgência dentre as medidas de controle a serem executadas na ETA 1, visto que a desinfecção é o principal processo para a inativação de vírus e bactérias.

Após a implementação das principais medidas de controle, deve-se monitorar sua efetividade com base nos parâmetros e limites críticos, também indicados no Quadro 5.26. As atividades de monitoramento devem ser devidamente descritas e os resultados do monitoramento devem ser sistematicamente registrados, para que se possa fazer avaliações periódicas do funcionamento da ETA. Em caso de não observância dos limites críticos estabelecidos, deve-se executar ações corretivas para restabelecer o funcionamento normal da operação, dentro dos limites estabelecidos.

5.1.10 Ações corretivas

As ações corretivas são medidas tomadas quando os limites críticos forem ultrapassados e devem assegurar que a operação volte a ocorrer em níveis aceitáveis (OLIVEIRA, 2010). É importante ressaltar que as ações corretivas só são efetivas se as medidas de controle já tiverem sido executadas e se foram, de fato, eficientes para reduzir ou eliminar os riscos. Nesse sentido, a resposta das ações corretivas é indicadora da adequabilidade das medidas de controle.

Ademais, o ideal é que os limites críticos não sejam ultrapassados, daí a importância do estabelecimento de limites operacionais, que oferecem uma margem de segurança, “servindo de alerta e permitindo maior tempo para ajustes de processo”. Para tanto, antecedendo as ações corretivas, a operação ordinária do sistema de tratamento deve funcionar de maneira preventiva, a fim de evitar a superação dos limites operacionais e de controlar os perigos (OPAS, 2001 apud OLIVEIRA, 2010, p.13).

O Quadro 5.27 apresenta as ações corretivas para os pontos de controle.

Quadro 5.27 - Ações corretivas estabelecidas para os pontos de controle da ETA 1

Perigo	Evento Perigoso	Local de monitoramento	Ponto de Controle	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais	Ações corretivas
Microrganismos patogênicos e contaminantes químicos	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto	Vertedor Parshall	PA	Vazão de água bruta	Vazão de projeto ser definido após o projeto de ampliação a ser definida pelo projeto de ampliação	-	Redução da vazão aduzida
Protozoários	Lavagem inadequada (velocidade ascensional e tempo de lavagem inadequados e método de lavagem inadequado para meio filtrante de antracito e areia)		PCC	Turbidez da água filtrada na saída de cada filtro	0,5 uT	0,3 uT	Lavagem dos filtros
	Interferências na filtração (abertura e fechamento de válvulas)		PCA	-	-	-	-

Perigo	Evento Perigoso	Local de monitoramento	Ponto de Controle	Parâmetro de Monitoramento	Limites críticos	Limites operacionais	Ações corretivas
	Método de operação inadequado (não realização de lavagens no tempo indicado, negligência no controle, etc)		PA	Turbidez da água filtrada na saída de cada filtro	0,5 uT	0,3 uT	Lavagem dos filtros
	Vazão de operação da ETA superior à vazão nominal de projeto, com consequente funcionamento dos filtros com taxas de filtração elevadas		PA	-	-	-	-
Vírus e bactérias	Dosagem inadequada de cloro (aplicação ineficiente e desigual entre os módulos de decantação, falta de controle operacional e quebra de equipamentos dosadores)		PCC	Cloro residual livre	0,5 mg/L	2,0 mg/L	Ajuste na dosagem de cloro e verificação dos equipamentos dosadores

Fonte: A autora

5.1.11 Monitoramento operacional

As atividades de monitoramento devem dispor de protocolos específicos que descrevam os métodos de amostragem. Além disso, os operadores da ETA devem receber treinamentos periódicos a fim de que o monitoramento seja feito de maneira rigorosa e sistemática.

O Quadro 5.28, Quadro 5.29 e Quadro 5.30 agregam informações relativas às atividades de monitoramento, as quais devem ser validadas e padronizadas pelos gestores da ETA.

Quadro 5.28 - Monitoramento operacional – Vazão de água bruta

Monitoramento Operacional		Perigo:	Microrganismos patogênicos e contaminantes químicos
Parâmetro a monitorar:	Vazão da água bruta	Controle	PA
Limite crítico:	A ser definido	Limite operacional:	-
Local de amostragem:	Vertedor Parshall	Frequência de amostragem:	A cada 2 horas
Responsável:	Operador responsável pelo turno de operação		
Método de amostragem:	Observação visual a cada 2 h do nível da água em régua graduada instalada a 2/3 do início da garganta, no trecho convergente do vertedor Parshall e conversão da leitura através de equação ou leitura da vazão através de medidor de vazão ultrassônico (efeito doppler) instalado a 2/3 do início da garganta, no trecho convergente do vertedor Parshall.		
Programação de atividade:	Leitura e registro da vazão aferida. Recomenda-se, para o medidor de nível ultrassônico, a manutenção preventiva (ver recomendações do fabricante).		
Registro:	Os dados de monitoramento referentes a cada amostragem devem ser devidamente registrados e alimentar o banco de dados em plataforma digital (Exemplo Quadro X)		
Ações corretivas:	Interrupção da adução		
Observações:	<p>Equação para cálculo da vazão a partir do nível da água medido no vertedor Parshall:</p> $Q = 0,2269 \times (3,281 \times H_a)^{1,548}$ <p>Onde, <i>Q</i>: vazão (m³/s) <i>H_a</i>: altura medida na régua graduada (m)</p> <p>(DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017)</p>		

Fonte: A autora

Quadro 5.29 - Monitoramento operacional - Turbidez

Monitoramento Operacional		Perigo:	Protozoários
Parâmetro a monitorar:	Turbidez	Controle	PCC
Limite crítico:	0,5 uT	Limite operacional:	0,3 uT
Local de amostragem:	Saída de cada filtro	Frequência de amostragem:	A cada 2 horas / continuamente (turbidímetro de escoamento contínuo)
Responsável:	Operador responsável pelo turno de operação.		
Método de amostragem:	Método Nefelométrico em turbidímetro digital portátil (a ser descrito em protocolo específico) ou em turbidímetro de escoamento contínuo		
Programação de atividade:	Calibrar o turbidímetro; coletar uma amostra de água filtrada na saída de cada filtro, imediatamente antes da aferição; colocar parte da amostra na cubeta; limpar a cubeta; agitar a amostra; fazer a leitura da amostra no turbidímetro portátil (de acordo com protocolo específico); registrar o valor; realizar nova leitura, a fim de verificar se há divergência. Para leituras realizadas em turbidímetro de escoamento contínuo, deve-se certificar se os aparelhos estão devidamente calibrados e instalados em local adequado nos filtros. É recomendável, além disso, realizar periodicamente a limpeza e manutenção preventiva desses equipamentos (ver recomendações do fabricante)		
Registro:	Os dados de monitoramento referentes a cada amostragem devem ser devidamente registrados e alimentar o banco de dados em plataforma digital (Exemplo Quadro X)		
Ações corretivas:	Lavagem dos filtros que superarem o limite crítico		
Observações:	Após a lavagem dos filtros, recomenda-se a medição da turbidez durante os primeiros 15 minutos do reinício da operação a fim de verificar se há transpasse. Em caso de verificação de transpasse, deve-se realizar ensaios para reavaliar e otimizar a lavagem dos filtros		

Fonte: A autora

Quadro 5.30 - Monitoramento operacional – Cloro residual livre

Monitoramento Operacional		Perigo:	Vírus e bactérias
Parâmetro a monitorar:	Cloro residual livre	Controle	PCC
Limite crítico:	0,5 mg/L	Limite operacional:	2,0 mg/L
Local de amostragem:	Calha Parshall	Frequência de amostragem:	A cada 2 horas
Responsável:	Operador responsável pelo turno de operação		
Método de amostragem:	Método colorimétrico		
Programação de atividade:	Calibrar o colorímetro; coletar amostra de água do reservatório; preparar uma amostra de "branco" com parte da água do reservatório coletada e colocá-la em uma cubeta do colorímetro; colocar outra parte da água coletada em uma cubeta do colorímetro e adicionar a ela o reagente; homogeneizar a amostra; fazer leitura da amostra "branco"; fazer leitura da amostra com reagente no colorímetro ou no disco colorimétrico (conforme protocolo específico); registrar o valor; realizar nova leitura para ver se há divergência		
Registro:	Os dados de monitoramento referentes a cada amostragem devem ser devidamente registrados e alimentar o banco de dados em plataforma digital (Exemplo Quadro X)		
Ações corretivas:	Ajuste na dosagem de cloro / Manutenção ou substituição dos dosadores de cloro		
Observações:	Em caso de falha nos dosadores de cloro, o setor responsável pela manutenção deve ser notificado.		

Fonte: A autora

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que após se corrigir as principais fraquezas da ETA 1 (notadamente em relação à filtração e à desinfecção), priorizadas através da avaliação de riscos, o monitoramento das medidas de controle se torna bastante simplificado. Com apenas três parâmetros, vazão, turbidez e cloro residual, faz-se o controle dos riscos mais significativos e preocupantes, priorizados na avaliação de riscos para a etapa do tratamento do SAA 1.

Esses parâmetros já fazem parte da rotina operacional da ETA e seu monitoramento não implicaria, necessariamente, em aumento de custos. Mas para que o monitoramento cumpra seu objetivo, é essencial que os resultados do monitoramento sejam avaliados periodicamente a fim de verificar o cumprimento das metas de qualidade e eventuais falhas, as quais deverão orientar melhorias na operação e no controle, além de dar subsídios à validação do PSA.

Entretanto, faz-se a ressalva de que o monitoramento desses três parâmetros e a garantia de que os limites estabelecidos sejam atendidos não assegura que a água tratada seja indiscutivelmente segura. Isso porque, nem todos os perigos foram contemplados ou priorizados na avaliação dos riscos, como é o caso dos disruptores endócrinos e fármacos. Dessa forma, é essencial que o PSA seja continuamente revisado.

Ressalta-se ainda que a minimização dos riscos deve, em um cenário ideal, contemplar todas as etapas do sistema de abastecimento e, nesse sentido o controle na bacia hidrográfica tem grande relevância, uma vez que, quanto mais confiável for o controle nas primeiras barreiras, menor será a frequência de monitoramento nas barreiras subsequentes.

No que concerne ao desenvolvimento da metodologia do PSA, este trabalho revelou algumas dificuldades e permitiu fazer alguns apontamentos:

- a gestão de um sistema de abastecimento de água não deve focar somente na garantia da qualidade da água, mas deve assegurar a disponibilidade hídrica, que é também componente do conceito de segurança da água;
- o monitoramento definido pelo PSA não dispensa o monitoramento dos parâmetros estabelecidos pelo padrão de potabilidade. No entanto, se o controle de riscos for seriamente incorporado na gestão dos SAAs, a tendência é que os padrões de potabilidade sejam revisados e melhor delimitem os

parâmetros a ser analisados, apontando para a redução de custos com monitoramento;

- o nível de detalhamento e da abrangência do PSA depende da quantidade e qualidade das informações disponibilizadas e levantadas;
- a experiência adquirida ao longo deste trabalho mostrou que as etapas de elaboração do PSA são iterativas e, por vezes, a execução da etapa seguinte esclarece pontos que eventualmente podem ter sido alvo de dúvidas na etapa precedente. Por exemplo, ao se definir o monitoramento das medidas de controle, é possível validá-las, isto é, verificar se elas são, de fato, medidas de controle e se são passíveis de monitoramento. Além disso, as medidas de controle podem ser confundidas com ações corretivas, equívoco que pode ser resolvido ao longo da etapa de definição do monitoramento operacional. Para melhor ilustrar a situação, tomando como exemplo o caso da ETA 1, poder-se-ia pensar no aumento da dosagem de cloro como medida de controle para evitar a ocorrência do perigo “vírus e bactéria”, cujo risco está associado com a falha dos dosadores de cloro e, conseqüentemente, à baixa concentração de cloro residual livre na água tratada. No entanto, essa medida seria paliativa e poderia não ter resultados satisfatórios, visto que o problema identificado foi a falha dos rotômetros. Assim, esses equipamentos é que devem receber alguma medida de controle para que seu funcionamento seja adequado e não comprometa a etapa de desinfecção. Nesse sentido, ajustes na dosagem de cloro configuram-se como ação corretiva;
- a elaboração dos PSAs não deve ser uma mera réplica dos modelos sugeridos pelos guias internacionais. A metodologia e a definição de critérios devem ser realizadas considerando a realidade técnica, operacional e de recursos do SAA;
- diferentemente de projetos, o PSA é um documento que não se encerra. Ele deve ser constantemente atualizado e validado, tendo um caráter iterativo e dinâmico;
- a revisão e atualização do PSA é essencial para que perigos não incorporados à análise de riscos possam integrá-la oportunamente, isto é, quando as medidas de controle para os perigos mais urgentes e preocupantes forem executadas. Aponta-se, no entanto, que ações de controle na bacia podem ser eficientes para evitar perigos como agrotóxicos, por exemplo, e, neste caso, esses perigos devem integrar a análise de risco;
- nota-se que uma das maiores dificuldades para a efetividade do PSA é a falta de envolvimento dos colaboradores do SAA em sua elaboração e,

consequentemente, na falta de continuidade do PSA através de atualizações e validações;

- o PSA não é um tipo de estudo passível de ser replicado “em série” para diferentes SAAs, ainda que o sistema de tratamento utilizado seja o mesmo. Há uma série de particularidades em cada SAA, notadamente em relação às características da água bruta e de operação, o que requer diagnóstico, avaliação de riscos e estabelecimento de medidas de controle e de monitoramento específicos para cada sistema;
- a elaboração da Etapa 3 do PSA torna-se difícil quando não se conhece profundamente a hierarquia e organização do SAA. Esse é um aspecto a ser considerado especialmente quando são consultores externos os responsáveis pela elaboração do PSA;
- a abordagem da avaliação de riscos do HACCP permite ao PSA focar a atenção da gestão e operação nas medidas-chave para o controle dos perigos (DAMIKOUKA; TZIA, 2006). Isso tem especial relevância nas ETAs na medida que a metodologia do PSA auxilia na priorização das melhorias a serem incorporadas para que elas operem adequadamente. No entanto, a garantia da segurança depende sobretudo do controle dos perigos na fonte, o que aponta para a necessidade de proteção dos mananciais.

O sucesso do PSA em garantir segurança e acessibilidade da água de consumo fornecida por um SAA requer, portanto, a mudança do paradigma de fazer o controle de riscos apenas por meio de medidas mitigadoras. A abordagem integrativa do PSA reforça a preponderância do controle preventivo, sobretudo nas primeiras barreiras, isto é, no controle do uso e ocupação da bacia.

7 CONCLUSÕES

Através da metodologia desenvolvida e aplicada ao SAA 1, foi possível fazer o levantamento dos riscos mais significativos para o contexto da ETA 1. A partir desse levantamento, fez-se apontamentos importantes que devem ser considerados na melhoria operacional do tratamento, especialmente no que diz respeito à etapa de filtração, visando a segurança da água de abastecimento, já que essa é a última barreira para o controle de protozoários.

É notório que a implementação dessas medidas de controle, por si só, não garantem que os riscos foram reduzidos ou eliminados. A consistência e efetividade das melhorias propostas devem ser monitoradas e, nesse sentido, o monitoramento apresenta-se como atividade indispensável para a alcançar a segurança.

Contudo, ainda que a avaliação de riscos para os perigos identificados aponte para a priorização das medidas de controle na ETA 1, é imprescindível ter em vista o fortalecimento das barreiras anteriores ao tratamento, isto é, as barreiras ligadas à proteção dos mananciais. A confiabilidade e resiliência de um sistema de abastecimento de água depende da robustez e da integralidade das medidas e ações que visam atender a demanda por água segura, em qualidade e quantidade.

Portanto, o grande desafio do PSA é superar o controle corretivo como única abordagem exequível e introduzir o aspecto da prevenção na gestão dos sistemas de abastecimento de água. Desse modo, é crucial a integração de diferentes setores da sociedade na responsabilidade de gerir a segurança e a disponibilidade hídrica, o que apontaria para a inocuidade do PSA se a articulação do serviço de abastecimento com outras instituições e atores for frágil.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS IBGE. “Norte e Nordeste convivem com restrições no acesso a saneamento básico”. Abril de 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20979-norte-e-nordeste-convivem-com-restricoes-no-acesso-a-saneamento-basico>>. Acesso em: 16 out. 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Disponível em: <https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf>. Acessado em: ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18p.

BENSOUSSAN, M. A. **Plano de Segurança da Água na visão de especialistas**. São Paulo: SETRI, 2015. P. 451. Disponível em: <<http://planosegurancaagua.com.br/index.php/download/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acessado em: jul. 2018.

BRASIL. Decreto nº 5,440, de 04 de maio de 2005. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Brasília (DF), 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm>. Acesso em 08 out. 2018.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acessado em: jul. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Plano de Segurança da Água – garantindo a qualidade e promovendo a saúde – Um olhar do SUS. Brasília (DF), 2012. p. 60.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acessado em: jul. 2018.

CERQUEIRA, D. A. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* E de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto. Tese (Doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 2008. 214 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Ficha de informação toxicológica - Alumínio. São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Aluminio.pdf>>. Acesso em 30 nov. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Ficha de informação toxicológica - Flúor e fluoretos. São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Fluor-e-fluoretos.pdf>>. Acesso em 03 out. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Ficha de informação toxicológica - Alumínio. São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://www.cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Aluminio.pdf>>. Acesso em 03 out. 2018.

COSTA, P. I. B. Plano de Segurança da Água. Caso de Estudo: Sistema de Abastecimento Público de Água de Castro Verde. 2010. 109 f. Tese (Mestrado) – Universidade do Algarve (Portugal), Faro, 2010.

DAMIKOUKA, A.; KATSIRI, A.; TZIA, C. Application of HACCP principles in drinking water. In: 9th Environmental Science and Technology Symposium, September 1-3, 2005, Rhodes, Greece. Global NEST organization, 2007. p. 138 – 145. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.608.4019&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 10 out. 2018.

DI BERNARDO, L, DANTAS, A. D. B., VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3^a ed. São Carlos: Editora LDiBe, 2017.

DUMETRE, A.; LE BRAS, C.; BAFFET, M.; MENECEUR, P.; DUBEY, J. P.; DEROUIN, F.; DUGUET, J. P.; JOYEUX, M.; MOULIN, L. Effects of ozone and ultraviolet radiation treatments on the infectivity of *Toxoplasma gondii* oocysts. *Vet Parasitol* 153, 209 – 213, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. Guidelines for Water Reuse. Washington, D. C., United States, 2012. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf>>. Acesso em 05 out. 2018.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). Ministério da Saúde. Plano de Segurança da Água – Formas de apoiar os municípios na elaboração. 2013. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/Daniel_Cobucci.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X; VIEIRA, M. B. C. M; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; OLIVEIRA, A. A; MACHADO, P. M.; SALVADOR, D. P.; CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*; 13 (2): 79 – 92, 2004.

HESPANHOL, I. Os planos de segurança da água e um novo paradigma para normalização. *Boletim das Águas*, 2017. Disponível em: < <http://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2017/04-os-planos-de-seguranca-da-agua-e-um-novo-paradigma-para-normalizacao.pdf>>. Acesso em 10 out 2018.

HESPANHOL, I. Poluentes Emergentes, saúde pública e reúso potável direto. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental – conceitos, tecnologia e gestão**. São Carlos (SP): Elsevier Campu, 2012. p. 501 – 537.
<http://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>
<https://trianarts.com/eduardo-galeano-de-nuestros-miedos/#sthash.sGv5p7I5.dpbs>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008. Rio de Janeiro, 2010. 218 p. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 16 out. 2018.

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - IEA. Disponível em <<http://www.iea.usp.br/noticias/nova-york-a-metropole-com-a-agua-mais-pura-do-planeta-1>>. Acesso em 07. nov. 2018.

IRAR; IWA. A Carta de Bona para o abastecimento seguro de água para consumo humano. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Lisboa (Portugal), 2005. Disponível em: < http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20acesso%20remoto/Recomenda%C3%A7oes_IRAR_2005_2007.pdf>. Acesso em 05 out 2018.

LeCHEVALLIER, M. W.; AU, K.-K. Water treatment and pathogen control: process efficiency in achieving safe drinking water. Geneva. World Health Organization and IWA. 2004. 112p.

LIMA, D. R. S.; TONUCCI, M. C; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. *Eng Sanit Ambient*, v. 22, n. 6, nov/dez, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-22-06-1043.pdf>>. Acesso em 25 nov. 2018.

MANCUSO, P. C. S; SOUZA, R. M. G. L. Princípios e métodos utilizados em Segurança da Água para consumo humano. In: BENSOUSSAN, M. A. **Plano de Segurança da Água na visão de especialistas**. São Paulo: SETRI, 2015. P. 107 – 121. Disponível em: < <http://planosegurancaagua.com.br/index.php/download/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. Editores: Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D. Metcalf e Eddy, Inc., McGraw Hill, 4th Edition, 1819 p., 2003.

MORAIS, C. Plano de Segurança da Água, porque ele é tão importante. In: BENSOUSSAN, M. A. **Plano de Segurança da Água na visão de especialistas**. São Paulo: SETRI, 2015. P. 47 – 62. Disponível em: <<http://planosegurancaagua.com.br/index.php/download/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

NEW ZELAND. Ministry of Health. Water safety plan guides for drinking water supplies. Wellington (New Zealand), 2014. Disponível em: <<https://www.health.govt.nz/publication/water-safety-plan-guides-drinking-water-supplies>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

OLIVEIRA, D. C. Aplicação da análise de perigos e pontos críticos de controle no tratamento de água para consumo humano. 2010. 114 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS/OMS) - CAMPUS VIRTUAL DE SAÚDE PÚBLICA. Curso de autoaprendizagem sobre “Planos de Segurança da Água”. 2017. Disponível em: <<https://mooc.campusvirtualsp.org/enrol/index.php?id=59>>. Acesso em: 16 out. 2018.

PENSADOR- “De nuestro miedos...”, Eduardo Galeano. Disponível em: <<https://www.pensador.com/frase/NjczMTU1/>>. Acesso em 10 nov. 2018.

R7 NOTÍCIAS. “IBGE: 31 milhões de brasileiros pobres vivem sem água encanada”. Dezembro de 2017. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/economia/ibge-31-milhoes-de-brasileiros-pobres-vivem-sem-agua-encanada-15122017>>. Acesso em: 16 out. 2018.

SILVA, M. F.; PORTELA, L. L. T. Modelo de Gestão Operacional em ETAs. In: Congresso ABES FENASAN, 2017, São Paulo, 2017. P. 6.

SIMÕES, P. H. B.; ALEGRETTI, L.; AMARAL, N. C. Contaminantes emergentes e a integridade dos recursos hídricos. In: BENSOUSSAN, M. A. **Plano de Segurança da Água na visão de especialistas**. São Paulo: SETRI, 2015. P. 123 – 155. Disponível em: <<http://planosegurancaagua.com.br/index.php/download/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Séries históricas – Municípios, 2016. Disponível em <<http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em 10 set. 2018.

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C. Manual para a elaboração de planos de segurança da água para consumo humano. Minho: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho: 2005. 175p. (Série Guias Técnicos, 7). Nd edition. Volume 1.

VIEIRA, J. M. P. Estado da arte do Plano de Segurança da Água. In: BENSOUSSAN, M. A. **Plano de Segurança da Água na visão de especialistas**.

São Paulo: SETRI, 2015. P. 29 – 45. Disponível em: <<http://planosegurancaagua.com.br/index.php/download/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

WARE, M. W.; AUGUSTINE, S. A. J.; ERISMAN, D. O., SEE, M. J.; WYMER, L.; HAYES, S. L.; DUBEY, J. P.; VILLEGAS, E. N. Resistance of *Toxoplasma gondii* oocysts to chemical and physical inactivation treatment processes. *Applied and Environmental Microbiology*. American Society for Microbiology, vol. 76, Nº 15, Aug, 2010, p.5140-5147. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288276812_Resistance_of_Toxoplasma_gondii_oocysts_to_chemical_and_physical_inactivation_treatment_processes>. Acesso em 10 out. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2004. Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition. Vol. I – Recommendations. Geneva (Switzerland), 2004. 515 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 2009. Water Safety Plan Manual- Step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva (Switzerland), 2009. 101 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disponível em:<<http://www.who.int/healthpromotion/about/goals/en/>>. 03 out. 2018.