ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

NATHALIE HOFFERT DE OLIVEIRA CRUZ

Plano de segurança da água: parâmetros indicadores de qualidade da
água para abastecimento público e inovações tecnológicas

São Paulo
2021

NATHALIE HOFFERT DE OLIVEIRA CRUZ

Plano de segurança da água: parâmetros indicadores de qualidade da
água para abastecimento público e inovações tecnológicas

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de mestre em Ciências.

São Paulo

2021

NATHALIE HOFFERT DE OLIVEIRA CRUZ

Plano de segurança da água: parâmetros indicadores de qualidade da
água para abastecimento público e inovações tecnológicas

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia Hidráulica
e Ambiental.

Orientador: Prof. Livre-Docente José Carlos
Mierzwa

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 11 de março de 2021

Assinatura do autor: Nathalie H. de O. Cruz

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Cruz, Nathalie Hoffert de Oliveira

Plano de segurança da água: parâmetros indicadores de qualidade da água para abastecimento público e inovações tecnológicas / N. H. O. Cruz -- versão corr. -- São Paulo, 2021.

82 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Abastecimento de água 2.Plano de segurança da água 3.Barreiras múltiplas 4.Indicadores de controle 5.Melhor tecnologia disponível I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t.

Dedico este trabalho aos brasileiros.

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Carlos Mierzwa pela orientação, paciência e compreensão durante a trajetória do mestrado.

Ao meu pai Hamilton (*in memoriam*) grande incentivador aos meus estudos e carreira.

A minha mãe Maria Aparecida, ao meu irmão Niccholas e aos meus amigos por me darem suporte nesta fase de estudos.

A Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia pela bolsa fornecida para o desenvolvimento deste trabalho.

O nosso povo precisa
Ser sábio, livre, audaz,
Ter o rio como ambiente
De respeito e de paz,
Cuidar e não agredir
Como bem o índio faz.

(Francisco Diniz)

RESUMO

A escassez de água em metrópoles brasileiras tem se agravado em função de características de seu próprio desenvolvimento. A expansão urbana de forma desordenada próxima a mananciais, juntamente com a falta de infraestrutura para estes novos núcleos habitacionais, tem contribuído para a degradação dos mananciais utilizados para abastecimento público. Em razão disto, a população fica mais suscetível às doenças de veiculação hídrica, que implica na necessidade de aprimorar as tecnologias empregadas nos processos de tratamento de água e esgoto afim de promover uma água segura para o abastecimento da população. O presente estudo faz parte do Projeto Conexão Água do Ministério Público Federal e busca observar os sistemas de abastecimento por meio do conceito de múltiplas barreiras, que consiste em analisar o sistema do manancial até a distribuição de água, buscando assegurar a sua qualidade por meio da proteção de mananciais, definição dos padrões de qualidade da água e implantação de sistemas adequados de tratamento; realizar estudo sobre o sistema convencional e os sistemas avançados, de forma a promover o conceito de melhor tecnologia disponível; e desenvolver um método simplificado para a caracterização da qualidade da água a partir de indicadores de controle. Neste método foram adotados os indicadores turbidez, pH, toxicidade química, carbono orgânico total, condutividade elétrica, potencial de inibição enzimática e teste de estrogenicidade e androgenicidade, e avaliando-se a sua eficiência em relação aos padrões da antiga Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de 2011, que foi revogada e incorporada no Anexo XX e XXI da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o plano de segurança da água (PSA) possibilita um melhor monitoramento e controle dos sistemas de tratamento. Isto posto, realizou-se o estudo e comparação das legislações brasileiras que tratam da qualidade da água bruta e da água tratada. Nesta análise foi possível verificar que 40 (quarenta) indicadores se repetiam entre as legislações, mostrando que não há necessidade de monitorá-las em ambas as etapas, na água bruta e no pós-tratamento. Além disso, o estudo do PSA demonstrou que as tecnologias atualmente empregadas no Brasil, não são satisfatórias para tratamento de água de mananciais que sofrem impactos das atividades humanas, sejam da área urbana ou rural, ou seja, há a necessidade de aprimoramento das mesmas. Desta forma, foram apresentadas as melhores tecnologias atualmente empregadas para os grupos de compostos

orgânicos, inorgânicos, sólidos suspensos e microrganismos, de forma a remover contaminantes emergentes. Por fim, os indicadores de controle propostos se mostram satisfatórios em sistemas onde são empregadas tecnologias avançadas conjuntamente, demonstrando a segurança na simplificação dos padrões de qualidade da água.

Palavras-chave: abastecimento de água, padrões de qualidade da água, barreiras múltiplas, melhor tecnologia disponível.

ABSTRACT

Water scarcity in Brazilian metropolitan regions has been aggravated by the characteristics of its own development. The disrupted urban expansion in watersheds, along with the lack of infrastructure for wastewater collection and treatment, has contributed to the degradation of water sources used for public supply. This is the reason why the population is more susceptible to waterborne diseases, and to the detrimental effects of the various types of contaminants present in the water. This condition requires the improvement of water and wastewater treatment systems, by using adequate technologies in order to promote safe drinking water for the population. This study is part of the Project Water Connection from the Public Federal Ministry and aims to observe the supply systems through the concept of multiple barriers, which consists in analyzing it from the water source up to the water distribution system, seeking to ensure its quality by means of the protection of fountainheads, definition of water quality standards and implementation of appropriate treatment systems; compare the process efficiency between the conventional system and the advanced systems, in order to promote the concept of best available technology; and to develop a simplified method for the characterization of water quality using control indicators. In this method, turbidity, pH, chemical toxicity, total organic carbon, electrical conductivity, enzyme inhibition potential and estrogenicity and androgenicity tests are considered, and its efficiency have been analyzed in relation to the standards of former Ministry of Health Ordinance nº. 2914 of 2011, which was repealed and incorporated in annex XX and XXI of Consolidation Ordinance nº 5 of 2017. The results obtained in this study demonstrated that water safety plans (WSP) enable better monitoring and control of treatment systems. In this way, the study and comparison of Brazilian legislation dealing with the quality of the raw water and drinking water was presented. In this analysis it was possible to verify that 40 (forty) indicators were repeated between the legislations, showing that there is no need to monitor them in both stages, in raw water and in the post-treatment. In addition, the WSP study demonstrated that the technologies used nowadays in Brazil are not efficient for removing many pollutants, such as organic and inorganic compounds, that is, there is a need to improve them. Thus, the best technologies currently used for the groups of organic and inorganic compounds, suspended solids and microorganisms were presented. Finally, the

proposed control indicators are satisfactory in systems where advanced technologies are used together, demonstrating security in simplifying water quality standards.

Keywords: water supply, water quality standards, multiple barriers, best available technology.

LISTA DE QUADROS, FLUXOGRAMAS E TABELAS

Quadro 1 - Disruptores endócrinos, aplicações e os riscos associados à saúde.....	20
Quadro 2 - Proposição de indicadores de controle e valores de referência.....	56
Quadro 3 - Melhores tecnologias para tratamento.	59
Fluxograma 1 - Sistema de reúso potável indireto.	19
Fluxograma 2 – Visão geral das etapas do desenvolvimento de um plano de segurança da água.	34
Tabela 1 – Parâmetros indicadores para controle da União Europeia.....	27
Tabela 2 – Indicadores de controle utilizados no setor farmacêutico.	28
Tabela 3 - Concentração de disruptores endócrinos nas águas de abastecimento.....	30
Tabela 4 – Melhores tecnologias disponíveis para compostos orgânicos.	31
Tabela 5 - Melhores tecnologias disponíveis para compostos inorgânicos.	32
Tabela 6 – Exemplo de matriz de pontuação para classificação dos riscos em sistemas de abastecimento de água.....	35
Tabela 7 – Implantação de plano de segurança da água em diversas regiões.	36
Tabela 8 – Comparação dos valores máximos permitidos entre as legislações brasileiras. .	43
Tabela 9 – VMP mais restritivos na Resolução Conama nº 357 em comparação com a Portaria de Consolidação nº 5.....	45
Tabela 10 – Características físico-químicas de compostos orgânicos.	48
Tabela 11 – Características físico-químicas de defensivos agrícolas.....	49
Tabela 12 – Concentrações máximas de compostos orgânicos na água para consumo humano e relação com COT.....	52
Tabela 13 – Concentrações máximas de defensivos agrícolas na água para consumo humano e relação com COT.....	53
Tabela 14 – Resultados ensaio de toxicidade em piloto de reuso potável direto.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAS	Chemical Abstract Service
CE	Comunidade Europeia
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
EDC	Compostos Disruptores Endócrinos
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial da Saúde
PSA	Plano de Segurança da Água
THM	Trihalometanos
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization
WSP	Water Safety Plan

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1	POLUIÇÃO DE MANANCIAIS E A PROMOÇÃO DE SAÚDE ATRAVÉS DO SANEAMENTO	18
3.2	LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À QUALIDADE DA ÁGUA	23
3.3	PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA	34
4	METODOLOGIA	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS	41
5.2	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS	46
5.3	PROPOSTA DE INDICADORES DE CONTROLE	55
5.4	PROPOSTA DE TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO	59
6	CONCLUSÃO	62
7	REFERÊNCIAS	63
	ANEXO A – COMPARAÇÃO ENTRE RESOLUÇÕES CONAMA 357, 396 E PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5	68
	ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DO EFLUENTE DA ETE CAPIVARI II SEGUNDO PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5 DE 2017	76
	ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DO EFLUENTE DA ETE CAPIVARI II SEGUNDO INDICADOR N-NDMA	80

1 INTRODUÇÃO

Há alguns anos, as principais regiões metropolitanas do Brasil vêm sofrendo com a escassez de água, atingindo principalmente a região Sudeste do país. O problema se agrava tanto pelas mudanças climáticas, quanto por questões pontuais de grandes centros urbanos, como o crescimento populacional, ocupação desordenada na área urbana e próximo aos mananciais, mudanças no ambiente hidrológico (diminuição do tempo de concentração) e a falta de planejamento das concessionárias de saneamento (falta de estudos de demanda e oferta de água, falta de infraestrutura e fornecimentos intermitentes) intensificando a situação. (RODRIGUES; VILLELA, 2015; BRITTO *et al.*, 2019).

Apesar da notória disponibilidade de água no país e da melhora nos índices de atendimento com os serviços de saneamento, segundo o último censo do IBGE (2008), o país ainda não chegou na universalização destes serviços, onde 99,4% dos municípios possuem rede de distribuição de água e apenas 55,2% possuem rede coletora de esgotos. Dados mais recentes mostram que apenas 51,92% dos municípios atendidos com água possuem rede coletora de esgotos, e que uma parcela de 74,87% do esgoto coletado segue para tratamento (BRASIL, 2018). Isto posto, pode-se inferir que a maior parte dos esgotos domésticos e industriais gerados chegam aos corpos receptores sem tratamento adequado, e podem levar ao aumento de matéria orgânica, nutrientes e de contaminantes como metais tóxicos, compostos orgânicos persistentes e poluentes emergentes (fármacos, pesticidas, detergentes e hormônios). Com a questão da seca, esta situação se intensifica, já que a vazão natural dos mananciais é reduzida, e com isso, o lançamento contínuo de águas residuais passa a ser a maior contribuição, resultando em deterioração dos mananciais utilizados para abastecimento público, além de propiciar o aumento dos custos com o tratamento de água e o número de casos de doenças de veiculação hídrica (TRAN *et al.*, 2017).

Neste sentido, há a necessidade de utilizar um programa de gestão para garantir uma água segura em todos os processos de abastecimento de água, do manancial ao consumidor final, já que o monitoramento através dos padrões de qualidade de água, determinados pela legislação atual, permite um controle limitado. Sendo assim, a utilização de um Plano de Segurança da Água (PSA), conforme recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017a) e normatizado pelo

anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017), promove essa garantia, reduzindo custos relacionados à saúde humana e com os processos de tratamento e monitoramento dos sistemas de abastecimento.

Segundo a OMS (WHO, 2017a), os planos de segurança da água devem ter como objetivo a prevenção da contaminação de mananciais de abastecimento; o tratamento adequado para eliminar ou reduzir os contaminantes presentes na água de forma a atender os padrões de qualidade estabelecidos; e o de prevenir a contaminação da água após o processo de tratamento durante a sua reservação, distribuição e utilização.

Para atender aos objetivos propostos, o PSA deve ser estruturado com base no conceito de múltiplas barreiras (são medidas de controle adotadas em cada etapa do processo de abastecimento de forma a garantir a qualidade da água), de modo a atender as necessidades do cenário atual dos mananciais e sistemas de abastecimento no Brasil, que são:

- a proteção de mananciais, por meio da coleta e tratamento de esgoto, que proporcionará uma água mais barata e mais segura;
- a definição de padrões de qualidade para água tratada, que atualmente é uma ferramenta métrica para controle atuando de forma limitada, devido à quantidade de contaminantes e poluentes químicos existentes em que estes parâmetros não são capazes de mensurá-los;
- e a implantação de sistemas de tratamento de água por meio da melhor tecnologia disponível, pensando em um custo que trate a água para torná-la potável.

Como barreira inicial, a proteção dos mananciais depende de fatores relacionados às características da bacia hidrográfica em que o mesmo está inserido. Se a bacia for em uma região urbanizada, ocorrerão alterações em suas características hidrológicas, onde o seu tempo de concentração será reduzido, e com isso a água carreará sedimentos para o manancial; como também, a influência de ações antropogênicas, por meio de ocupações irregulares próxima aos mananciais, atividades de agricultura e industriais, favorecem a sua contaminação por meio de lançamentos acidentais ou intencionais de esgoto sanitário, aumentando a carga de matéria orgânica, nutrientes, patógenos e compostos que causam disfunções endócrinas. Outro ponto, é que as vezes o próprio manancial possui atividades biológicas e ecológicas que afetam a qualidade da água. Desta forma, por meio da

gestão da avaliação e do gerenciamento do risco proposto pelo PSA pode-se identificar os fatores que propiciam a poluição do manancial e assim verificar qual a melhor ação para correção do problema (CONANT *et al.*, 2019; ROCCARO, 2018; WHO, 2017a).

Em paralelo, os padrões de qualidade da água são um instrumento importante para garantir uma água segura à população, porém podem não ser suficientes para assegurar a qualidade da água para fins potáveis. Isso se dá pelo fato da grande variedade de compostos químicos existentes, que segundo o Chemical Abstract Service (CAS) chegou a 155 milhões de compostos orgânicos e inorgânicos em 2019, tornando-se muito complexa a avaliação individual de tantas substâncias (USEPA, 2019). Além disto, o monitoramento individualizado não possibilita verificar os resultados relativos ao efeito combinado entre dois ou mais contaminantes. Este problema exige o desenvolvimento de indicadores que possam avaliar tanto o efeito potencial destes contaminantes no ser humano como detectar a presença de substâncias que pelas técnicas analíticas disponíveis não tem sido possível. Sendo assim, a utilização de indicadores de controle pode apontar o efeito combinado potencial de duas ou mais substâncias químicas sobre o ser humano, possibilitando a identificação de tecnologias de tratamento capazes de reduzir os riscos à saúde humana. Além disto, a utilização de indicadores de controle permitirá simplificar o processo de monitoramento e reduzir os custos das análises para monitoramento da qualidade da água tratada.

No Brasil, o sistema convencional é o mais utilizado para o tratamento de água para abastecimento público. Ressalta-se que as tecnologias que integram o sistema convencional de tratamento são específicas para assegurar a qualidade microbiológica da água, uma vez que elas não têm efeito sobre uma ampla variedade de substâncias químicas, principalmente compostos orgânicos, como defensivos agrícolas, fármacos, produtos de higiene pessoal, entre outros. Assim, o sistema convencional de tratamento pode ser considerado apenas como uma opção tecnológica para tratamento de água de mananciais que são comprovadamente protegidos. Contudo, com a expansão da urbanização e problemas relacionados à proteção efetiva das áreas de mananciais, os processos convencionais de tratamento passaram a ser aprimorados para possibilitar a produção de água com qualidade adequada para consumo humano. No entanto, a necessidade do constante aprimoramento das estações convencionais de tratamento de água torna o sistema

cada vez mais complexo e oneroso. Esta condição leva a necessidade de se considerar outras opções tecnológicas, por apresentarem melhor desempenho técnico, econômico e ambiental, além de serem capazes de assegurar a qualidade da água, bem como favorecer o avanço tecnológico do setor de saneamento (SIMÕES, 2016; TRAN *et al.*, 2017; MIERZWA, 2017).

Segundo Mierzwa *et al.* (2008), a utilização de sistemas avançados de tratamento de água não tem sido adotada pelo seu custo elevado. Mas segundo estudo, apesar dos sistemas convencionais possuírem um custo inferior a um processo em que se utiliza membranas de ultrafiltração para tratamento, no caso de mananciais com a qualidade da água comprometida há a necessidade de aprimorar o sistema convencional, como por exemplo, com a utilização de carvão ativado, que neste caso os custos dos processos chegam a se equiparar. Isto porque o país não desenvolve as tecnologias de separação por membranas, pois em países onde isto ocorre, o custo de tratamento por meio desta tecnologia é menor do que aqueles com o emprego do sistema convencional de tratamento.

Esta abordagem vem sendo adotada em outros países, principalmente nos Estados Unidos, que define o conceito de melhor tecnologia disponível na própria legislação. Por este conceito, são estabelecidos para cada tipo de contaminante, a melhor opção tecnológica para o seu tratamento através da legislação vigente, sendo considerado não o menor custo para a implantação da tecnologia, mas o menor custo associado ao tratamento de uma água potável e segura. (USEPA, 2003).

Estas questões poderão trazer novas dimensões ao cenário crítico de abastecimento público no Brasil, tanto em termos de eficiência no tratamento e operação como em termos de preservação da saúde de seus usuários.

2 OBJETIVOS

Realizar estudo sobre o plano de segurança da água, de forma a promover os conceitos de barreiras múltiplas e de melhor tecnologia disponível, como também, propor a utilização de indicadores de controle para caracterização da água tratada, de modo a simplificar o processo atualmente utilizado e normatizado pelo Anexo XX e XXI da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, reduzindo os custos e possibilitando verificar a sinergia entre os contaminantes.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são apresentados e analisados os aspectos relacionados à poluição de mananciais de abastecimento e questões de saúde pública relacionadas a esses fatos, o estudo do escopo de uma legislação de caracterização da qualidade da água relacionando-o com a legislação brasileira e contrapondo com outras legislações de outros países; e o plano de segurança da água recomendado pela Organização Mundial da Saúde, abordando três principais barreiras: proteção dos mananciais, parâmetros indicadores e melhores tecnologias disponíveis.

3.1 POLUIÇÃO DE MANANCIAIS E A PROMOÇÃO DE SAÚDE ATRAVÉS DO SANEAMENTO

Por conta dos desequilíbrios ecológico-ambientais, juntamente com os desarranjos gerados pela urbanização e a falta de saneamento, algumas práticas utilizadas nos sistemas de tratamento de água e esgoto colocam em risco a população, favorecendo o surgimento de doenças. Uma dessas práticas é denominada reúso potável indireto (1), comumente utilizada no país, onde os esgotos que após tratamento ou não são dispostos em mananciais superficiais ou subterrâneos para diluição, e na cidade à jusante, este é captado, tratado e distribuído para os diversos fins.

Nesses sistemas, as estações de tratamento de esgotos (ETE) normalmente operam por processos biológicos de tratamento, que incluem técnicas por processos de lodo ativado (retorno do lodo na estação); estes sistemas são responsáveis pela remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão, nutrientes, contaminantes e poluentes microbianos, mas não são eficientes na remoção de micropoluentes. Em função disto, à presença de contaminantes orgânicos e inorgânicos ficam mais suscetíveis nos mananciais de abastecimento e já são observados em alguns estudos, onde foram detectados um grupo desses tipos de compostos, denominados de disruptores endócrinos (EDC), em afluentes e efluentes de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados na Itália, e em São Paulo há presença de hormônios naturais e sintéticos no reservatório Guarapiranga na tomada de água da estação de tratamento de água (ETA) Alto da Boa Vista (HESPANHOL, 2015b; ROCCARO, 2018; VILELA; BASSIN; PEIXOTO, 2018).

Fluxograma 1 - Sistema de reúso potável indireto.

Fonte: Autor, 2021.

Esse grupo de contaminante é capaz de gerar efeitos crônicos à saúde humana após longo período de exposição a estes compostos, podendo causar disfunções fisiológicas, comportamentais e hormonais, atuando no desenvolvimento sexual, na produção de insulina e sua utilização, comportamento de gênero e no sistema reprodutor, tanto em animais quanto em seres humanos. Muitos destes compostos são fármacos, pesticidas, produtos de higiene pessoal, hormônios e toxinas, e não são biodegradáveis ou não são removidos pelos sistemas de tratamento de água, causando incertezas quanto aos seus efeitos a longo prazo. Por isso, o principal desafio na mitigação dos efeitos dos EDCs é que estes são potencialmente tóxicos mesmo em baixas concentrações, onde uma concentração de 10 ng L^{-1} de estrogênio e estradiol já são suficientes para causar impactos em peixes e plantas (HESPANHOL, 2015a; KABIR, RAHMAN, RAHMAN, 2015; REZENDE, 2010; VILELA, BASSIN, PEIXOTO, 2018).

No Quadro 1, são apresentados alguns compostos disruptores endócrinos, em que área/setor são aplicados e os seus riscos associados à saúde humana.

Quadro 1 - Disruptores endócrinos, aplicações e os riscos associados à saúde.

Contaminante	Aplicações	Riscos à saúde humana
DDT, clorpirifós, atrazina, ácido diclorofenoxiacético (2,4-D), glifosato	Pesticida	Interfere na tireoide, no estrogênio, androgênio, insulina e no sistema neuroendócrino podendo influenciar diretamente no sistema reprodutor, cardiovascular e o metabolismo do corpo humano.
Chumbo, ftalatos, cádmio	Produtos infantis	Pode causar efeitos neurológicos nos humanos, com efeitos mais significativos em crianças quando comparados com adultos.
BPA, ftalatos, fenol	Embalagem de alimentos	Promove puberdade acelerada, aumento de peso corporal, alterações no trato genital feminino, alterações na estrutura e na função da próstata, redução da fertilidade e da fecundidade. Impacta na transcrição dos genes sexuais durante o período neonatal.
PCBs	Eletrônicos e materiais de construção	Provoca alterações na função da tireoide, problemas reprodutivos, de infertilidade e déficits no desenvolvimento cerebral.
Ftalatos	Produtos de higiene pessoal	Provoca retardo mental, deficiência imunológica, câncer no endométrio, subfertilidade e problemas na gravidez.
Perfuroquímicos	Têxteis e vestuário	Pode causar efeitos neurológicos nos humanos.
Parabenos, ftalatos, éteres de glicol, ciclosiloxanos	Cosméticos, produtos de higiene pessoal	Pode causar efeitos neurológicos nos humanos.
Nonilfenol (alquilfenóis)	Surfactantes (detergentes)	Provoca redução do crescimento testicular, anomalias reprodutivas, aumento da incidência de câncer testicular e interrupção da gravidez.
Etinilestradiol (esteróide sintético)	Óleos e seus metabólitos, contraceptivos	Câncer na vagina

Fonte: adaptado Kabir, Rahman, Rahman, 2015; Vilela, Bassin, Peixoto, 2018.

Outra preocupação, detectada na Austrália em rios na região de South East Queensland, é que apesar de alguns antibióticos não causarem um efeito cíclico em humanos, por estarem em baixas concentrações nas águas superficiais, acabaram

tornando determinadas bactérias resistentes a este fármaco, por conta das descargas no ambiente (REZENDE, 2010).

Por outro lado, à carga orgânica em excesso nos mananciais, quer seja por conta de descargas de efluentes ou pela ineficiência nos processos das estações de tratamento de água, também provocam riscos à saúde humana, podendo favorecer a floração de cianobactérias, um tipo de alga que libera toxinas de difícil remoção nos processos convencionais de tratamento. Tendo em vista que muitos desses mananciais são utilizados para consumo humano, as liberações dessas toxinas apresentam riscos à população, uma vez que tais metabólitos possuem efeitos bioacumulativos no organismo.

As intoxicações pela ingestão de água contaminada por cianobactérias já foram descritas em diversos países. No Brasil, em 1996, foi confirmado o primeiro caso de mortes humanas causadas por uma cianotoxina, com o envenenamento de pacientes em hemodiálise numa clínica na cidade de Caruaru, em Pernambuco. Esses pacientes, tratados durante uma semana, sofreram doença hepática severa após a hemodiálise, resultando na morte de 70 (setenta) pessoas. As investigações subsequentes revelaram que houve problemas no tratamento da água tornando o uso da água impróprio para consumo humano, resultando na contaminação dos filtros da clínica com cianotoxinas (CARVALHO, 2013).

Estudo recente mostra que a presença de cianotoxinas poderia ter contribuído para perfis mais graves da síndrome de Zika congênito. Verificou-se a ocorrência de maiores quantidades de cianotoxinas nas águas de abastecimento no nordeste brasileiro em relação ao restante do território nacional, e este fato está correlacionado com o surto de microcefalia nesta região do país. A cianotoxina provoca o dobro de morte celular neural no cérebro humano quando induzida pelo Zika vírus, ou seja, as gestantes que ingeriram água contaminada por cianotoxinas tiveram anormalidades cerebrais mais severas nos fetos infectados pelo vírus do que outras gestantes que não consumiram uma água com a presença da mesma (PEDROSA *et al.*, 2019).

Além disso, a eutrofização favorece a taxa de duplicação de vírus, como o vírus causador da hepatite, como também provoca problemas durante as etapas de tratamento, sendo necessário as vezes uma pré-oxidação e uma otimização na dosagem dos produtos químicos. Outro ponto, é quando a matéria orgânica se associa ao cloro na etapa de desinfecção, esta combinação possibilita a formação de compostos orgânicos clorados, denominados trihalometanos (THM), que são

subprodutos da desinfecção. Estes compostos, são substâncias cancerígenas e também promovem riscos à saúde humana (OTOMO *et al.*, 2015; MIERZWA, 2009).

A pouca infraestrutura de saneamento em regiões, normalmente mais pobres e afastadas, favorece o aparecimento de doenças de veiculação hídrica. Segundo Brasil (2009), o índice de doenças infecciosas e parasitárias foi de 8,98%, enquanto cada região do país possui seu índice apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Índice de doenças infecciosas e parasitárias por região do país.
Fonte: Brasil, 2009.

A grande questão é que a saúde não é mera ausência de doenças, mas sim a sua erradicação quando aplicada sobre a sociedade como um todo, já que nela residem os determinantes das doenças, e não apenas o setor da saúde. Desta forma, o saneamento possui duas perspectivas relacionadas às questões de saúde pública, este pode prevenir doenças ou promover a saúde (SOUZA, 2007).

A prevenção antecede o surgimento ou o agravamento de uma doença, criando uma barreira de contato entre a doença e os indivíduos, de forma a reduzir a sua incidência ou que a sua manifestação seja amena, comprometendo fortemente o ciclo dos agentes biológicos, físicos e químicos. Neste ponto de vista, o saneamento entraria em parceria com o setor de saúde, e as doenças sinalizadoras estariam vinculadas à falta de abastecimento de água de boa qualidade e em quantidade

suficiente, de coleta e tratamento de águas residuais, dentre outros componentes, como manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana e poluição do ar.

Já a promoção busca a erradicação ou eliminação por um tempo prolongado, sendo o seu aparecimento um sinalizador de que algo não está bem, e a partir disto, buscar ações assertivas e necessárias para intermediar a situação. Neste caso, os projetos de saneamento têm como objetivo a implantação de sistemas de engenharia, contudo a preocupação maior seria com o seu funcionamento pleno, duradouro e acessível à toda população, não a implantação propriamente dita (SOUZA, 2007).

Como abordado, a promoção e a proteção à saúde são previstas no Sistema Único de Saúde (SUS) por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). A Anvisa tem poder de intervir, fiscalizar e legislar problemas sanitários decorrentes do meio ambiente. Compete a mesma fomentar e realizar estudos e pesquisas, estabelecer normas e padrões sobre limites de contaminantes, resíduos tóxicos, metais pesados, como também conceder registros de produtos e revisar e atualizar a farmacopéia (BRASIL, 1999).

Por fim, de modo a garantir a saúde humana deve-se realizar uma abordagem interdisciplinar, possibilitando a gestão dos recursos hídricos, a implementação de infraestrutura e tecnologias de saneamento, e a regulamentação da área pela entidade competente, de forma a promover a saúde e erradicar as doenças entregando à população uma água segura para consumo.

3.2 LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo a OMS (WHO, 2017a), o objetivo de uma legislação de qualidade da água é garantir uma água potável segura e suficiente à população. Para isso, durante a sua concepção deve-se pensar em metas para um sistema de abastecimento, como:

- Metas de indicadores de saúde, por exemplo, número de casos de doenças infecciosas e parasitárias;
- Metas de qualidade da água, por exemplo, valores de referência para compostos químicos;
- Metas de desempenho, por exemplo, redução de patógenos;
- Metas tecnológicas, por exemplo, aplicação de processos de tratamentos necessários.

Essas metas sustentam o desenvolvimento de um plano de segurança da água, que utiliza conceitos como o de barreiras múltiplas, avaliação de riscos e implantação de tecnologias conforme a necessidade do sistema; e dão subsídio para o desenvolvimento da legislação conforme três componentes primordiais recomendados pela OMS:

- Avaliação de riscos baseados em indicadores;
- Plano de segurança da água (PSA); e,
- A criação de uma agência reguladora para fiscalização das atividades, garantindo o funcionamento adequado dos sistemas.

Os indicadores estabelecidos nas legislações devem ser baseados na avaliação de risco à saúde, ou seja, levar em conta a gravidade do problema e a probabilidade de ocorrência de determinada substância no manancial de abastecimento ou no pós-tratamento associados à exposição de determinado composto na água; como também os mesmos devem ser realísticos, mensuráveis, baseados em pesquisas científicas e relacionados às características regionais (econômicas, ambientais, sociais e culturais) e às condições financeiras, técnicas e institucionais (WHO, 2017a).

Em paralelo à escolha dos indicadores, deve-se assegurar a proteção dos mananciais em relação ao uso e ocupação do solo, ou desenvolver uma legislação para controlar a contaminação dos recursos hídricos, de forma a incluir outros setores além do de saneamento, como agricultura, tráfego, turismo e desenvolvimento urbano.

No Brasil, existem legislações que tratam da qualidade da água bruta (mananciais) e da água potável (pós-tratamento). A Resolução CONAMA 357 de 2005 (BRASIL, 2005), é responsável por estabelecer os padrões de qualidade da água em função do seu uso preponderante, com a indicação de valores máximos permitidos (VMP) para os mananciais que possuem suas águas classificadas em doces, salinas ou salobras. De forma a complementar esta resolução, em 2008, foi publicada a Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008), que trata dos padrões e seus VMP para as águas subterrâneas. Os parâmetros exigidos possuem seus VMP conforme a classe do manancial, que pode ser especial, classe 1, 2, 3 e 4, sendo cada classe utilizada para uma função, como abastecimento, irrigação, recreação e balneabilidade.

Por outro lado, a legislação responsável pela qualidade da água potável, que segue para distribuição à população é a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, a qual incorporou a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 de

2011 (BRASIL, 2017), e que estabelece os padrões de qualidade para água potável e critérios para o seu monitoramento, além de recomendar a utilização de um plano de segurança da água como ferramenta de gestão. Atualmente o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, que trata especificamente dos padrões e critérios de qualidade de água para abastecimento público, está em revisão, de forma a se adequar ao cenário atual dos mananciais, por conta da grande variabilidade de contaminantes químicos existentes, e a crescente preocupação em como caracterizá-los e tratá-los de forma a garantir uma água segura para a população.

Desta forma, busca-se o aumento de padrões para uma maior abrangência de contaminantes e assim melhorar a caracterização da qualidade da água, porém a OMS recomenda o contrário do que vem sendo praticado na legislação brasileira. Devem-se estabelecer padrões menos restritivos, porém trabalhar na avaliação do risco nos sistemas de forma a promover uma água segura. Como exemplo, pode-se citar a Diretiva 98/83/CE da União Europeia de novembro de 1998 (CE, 1998), que trata da qualidade da água destinada ao consumo humano. Nesta diretriz recomenda-se a utilização de indicadores de controle, conforme apresentado na Tabela 1, de forma abrangente. Em paralelo, os Estados-membros podem fixar valores aplicáveis aos parâmetros de controle recomendados e caso haja qualquer inconformidade nos mesmos durante os processos, os Estados-membros devem investigar imediatamente o ocorrido a fim de identificar a causa. Além disso, a própria diretriz recomenda em seu Anexo I, na parte A e B, parâmetros individuais para análise quando ocorrem inconformidades no sistema.

De acordo com as recomendações da OMS (WHO, 2017a), ainda tomando como exemplo a Diretiva 98/83/CE da União Europeia (CE, 1998), o Conselho orienta que a adoção dos valores paramétricos deve se basear em considerações de saúde pública e no método de avaliação de risco, bem como citam a dificuldade de estabelecer parâmetros para compostos disruptores endócrinos. Apesar disso, mostram preocupação devido ao potencial impacto às pessoas e aos animais pelos efeitos nocivos à saúde por parte destas substâncias, recomendando que medidas como a introdução de técnicas de tratamento adequadas sejam utilizadas, de forma a reduzir ou eliminar os riscos relacionados aos contaminantes químicos.

Contrapondo com a legislação brasileira, os padrões de potabilidade aqui adotados são baseados em testes toxicológicos isolados, o que não demonstra a verdadeira realidade, porque estes testes não consideram a interação ou a sinergia

dos efeitos dos disruptores endócrinos e de outros compostos orgânicos (VILELA; BASSIN; PEIXOTO, 2018).

Tabela 1 – Parâmetros indicadores para controle da União Europeia.

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidades	Observação
Alumínio	200	µg/L	
Amônia	0,50	mg/L	
Cloreto	250	mg/L	
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0	Número/100 mL	Só deverá ser medido se provindo de manancial superficial
Cor	Aceitável para os consumidores e sem alteração anormal		
Condutividade	2 500	µS cm-1 a 20 °C	
Concentração hidrogeniônica	≥ 6,5 e ≤ 9,5	Unidades pH	
Ferro	200	µg/L	
Manganês	50	µg/L	
Odor	Aceitável para os consumidores e sem alteração anormal		
Oxidabilidade	5,0	mg/L O ₂	Não é necessário medir este indicador se for analisado COT
Sulfatos	250	mg/L	
Sódio	200	mg/L	
Sabor	Aceitável para os consumidores e sem alteração anormal		
Número de colônias a 22 °C	Nenhuma alteração anormal		
Coliformes totais	0	Número/100 mL	
Carbono orgânico total (COT)	Sem alteração anormal		
Turbidez	Aceitável para os consumidores e sem alteração anormal		No caso de tratamento de águas superficiais, < 1 UNT
Trítio	100	Becquerel/L	Verificar frequência de controle conforme Anexo II da Diretiva 98/83/CE
Dose indicativa total	0,10	mSv/ano	

Fonte: CE, 1998.

Por outro lado, a Anvisa (BRASIL, 2019) já determina indicadores de controle para o tratamento da água destinada ao setor farmacêutico de acordo com a classe da água e seus fins. Isso demonstra uma abordagem mais moderna para o monitoramento da qualidade da água, que agrega as substâncias e compostos químicos em grupos representativos para a caracterização da água utilizada na produção de medicamentos, como apresentado a Tabela 2.

Tabela 2 – Indicadores de controle utilizados no setor farmacêutico.

Parâmetros	Água potável	Água purificada	Água ultrapurificada	Água para injetáveis
Condutividade		1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C	$\leq 0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C	1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C
COT	Segue a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 Anexo XX	$\leq 0,50 \text{ mg/L}$	$\leq 0,50 \text{ mg/L}$	$\leq 0,50 \text{ mg/L}$
Contagem total de bactérias		$\leq 100 \text{ UFC/mL}$	$\leq 10 \text{ UFC}/100\text{mL}$	$\leq 10 \text{ UFC}/100\text{mL}$
Endotoxinas		$\leq 0,25 \text{ EU/mL}$	$\leq 0,25 \text{ EU/mL}$	$\leq 0,25 \text{ EU/mL}$
<i>Pseudomonas sp</i> e coliformes		Ausência	Ausência	Ausência

COT: Carbono orgânico total.

Fonte: Brasil, 2019.

Na Tabela 2, os parâmetros utilizados agrupam compostos inorgânicos (condutividade), compostos orgânicos (COT) e microrganismos (contagem total de bactérias, endotoxinas, *Pseudomonas sp* e coliformes). Desta forma, conforme a classe de utilização para a produção farmacêutica, os parâmetros podem ser conforme a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017) ou conforme determinado pela Anvisa (BRASIL, 2019). Esta abordagem implica em uma maior restrição em relação aos valores de referência, o que é contornado por meio da utilização de tecnologias de tratamento mais modernas.

Atualmente, estudos na área dos disruptores endócrinos vem sendo realizados no país e a sua presença nos mananciais de abastecimento e nas águas residuais. Segundo Ghiselli (2006), que analisou o sistema de abastecimento de água da cidade de Campinas no Estado de São Paulo, detectou a presença de disruptores endócrinos, fármacos, cosméticos e outros compostos como cafeína, estradiol,

bisfenol A e progesterona. Além disso, foram encontradas concentrações similares de disruptores endócrinos nos mananciais e no esgoto tratado, o que demonstra que o tratamento atualmente utilizado não está sendo eficaz para remoção desses contaminantes.

Já o estudo desenvolvido por Sodré *et al.* (2010), apresenta a existência de mais altas concentrações de determinados disruptores endócrinos, como por exemplo, bisfenol A, estrona e 17 β -estradiol na água de abastecimento da cidade de Campinas do que em outras cidades do mundo, conforme Tabela 3, gerando preocupação por conta dos problemas associados a estes compostos e também porque a maior parte destes contaminantes não são regulamentados ou monitorados.

Ou seja, o plano de amostragem, que são os indicadores recomendados na legislação para caracterização da água para consumo humano trabalham em conjunto com o sistema de avaliação de risco, desta forma, pode-se estipular qual a melhor tecnologia que poderia ser utilizada para a solução de determinada inconformidade.

Como exemplo ao exposto, pode-se citar a legislação americana, onde a United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2019) indica quais são as melhores tecnologias disponíveis para o tratamento de compostos orgânicos e inorgânicos, conforme apresentado na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3 - Concentração de disruptores endócrinos nas águas de abastecimento.

Compostos	EDCs nas águas de abastecimento		
	Amostra	Concentração	Referência
Bisphenol A	Água mineral engarrafada	1,33 ± 0,09 ng.L ⁻¹	Le <i>et al.</i> , 2008
Estrona	Sistema de abastecimento nos EUA	0,0009 ng.L ⁻¹	Caldwell <i>et al.</i> , 2010
Estradiol	Sistema de abastecimento nos EUA	0,01 ng.L ⁻¹	Caldwell <i>et al.</i> , 2010
Estriol	Sistema de abastecimento nos EUA	0,00025 ng.L ⁻¹	Caldwell <i>et al.</i> , 2010
Ethinylestradiol	Sistema de abastecimento nos EUA	0,002 ng.L ⁻¹	Caldwell <i>et al.</i> , 2010
Estrona	Sistema de abastecimento nos EUA	< LOD	Benotti <i>et al.</i> , 2009
Estradiol	Sistema de abastecimento nos EUA	< LOD	Benotti <i>et al.</i> , 2009
Ethinylestradiol	Sistema de abastecimento nos EUA	< LOD	Benotti <i>et al.</i> , 2009
Nonylphenol	Sistema de abastecimento nos EUA	97 (< LOD-110)	Benotti <i>et al.</i> , 2009
Atrazine	Sistema de abastecimento em Portugal	0,046-0,162	Carvalho <i>et al.</i> , 2008
Terbuthylazine	Sistema de abastecimento em Portugal	0,031-0,130	Carvalho <i>et al.</i> , 2008
Estrona	Sistema de abastecimento no Brasil	< 3,3 µg.L ⁻¹	Ghiselli, 2006
Estradiol	Sistema de abastecimento no Brasil	2,6 ± 0,3 µg.L ⁻¹	Ghiselli, 2006

LOD: limite de detecção.

Fonte: adaptado Vilela, Bassin, Peixoto, 2018.

Tabela 4 – Melhores tecnologias disponíveis para compostos orgânicos.

Contaminante	Melhores tecnologias disponíveis		
	Aeração	Carvão ativado granular	Oxidação (cloração e ozonização)
Benzeno	X	X	
Tetracloroeto de carbono	X	X	
1,2-Dicloroetano	X	X	
Tricloroetileno	X	X	
Diclorobenzeno	X	X	
1,1-Dicloroetileno	X	X	
1,1,1-Tricloroetano	X	X	
Cloreto de Vinila	X		
cis-1,2-Dicloroetileno	X	X	
1,2-Dicloropropano	X	X	
Etilbenzeno	X	X	
Monoclorobenzeno	X	X	
o-Diclorobenzeno	X	X	
Estireno	X	X	
Tetracloroetileno	X	X	
Tolueno	X		
trans-1,2-Dicloroetileno	X	X	
Xileno (total)	X	X	
Alacloro		X	
Aldicarbe		X	
Aldicarbe sulfóxido		X	
Aldicarbe sulfona		X	
Atrazine		X	
Carbofurano		X	
Clordano		X	
Dibromocloropropano	X	X	
2,4-D		X	
Etileno dibrometo	X	X	
Heptacloro		X	
Heptacloro epóxido		X	
Lindano		X	
Metoxicloro		X	
PCBs		X	
Pentaclorofenol		X	
Toxafeno		X	

Continua

Continuação

Contaminante	Melhores tecnologias disponíveis		
	Aeração	Carvão ativado granular	Oxidação (cloração e ozonização)
2,4,5-TP		X	
Benzo[a]pireno		X	
Dalapon		X	
Diclorometano	X		
Di(2-etilheyl)adipato	X	X	
Di(2-etilhexil)ftalato		X	
Dinoseb		X	
Diquat		X	
Endothall		X	
Endrin		X	
Glifosato			X
Hexaclorobenzeno		X	
Hexaclorociclopentadieno	X	X	
Oxamil		X	
Picloram		X	
Simazine		X	
1,2,4-Triclorobenzeno	X	X	
1,1,2-Tricloroetano	X	X	
2,3,7,8-TCDD (Dioxin)		X	

Fonte: USEPA, 2003.

Tabela 5 - Melhores tecnologias disponíveis para compostos inorgânicos.

Composto	Melhor tecnologia disponível	
Antimônio	2; 7	
Arsênio	1; 2; 5; 6; 7	1: Alumina ativada
Asbestos	9; 12	2: Coagulação e filtração
Bário	2; 3; 8	3: Filtração direta
Berílio	5; 6; 7; 9	4: Carvão ativado granular
Cádmio	1; 2; 5; 6; 7	5: Troca iônica
Cromo	2; 5; 6; 7	6: Precipitação
Cianeto	5; 7; 10	7: Osmose reversa
Mercúrio	2; 4; 6; 7	8: Controle de corrosão
Níquel	5; 6; 7	9: Eletrodiálise
Nitrito	5; 7; 9	10: Cloração
Nitrato	5; 7	11: Desinfecção por ultravioleta
Selênio	1; 2; 6; 7; 9	12: Oxidação e filtração
Tálio	1; 5	

Fonte: USEPA, 2003.

Por fim, a água distribuída à população brasileira nos grandes centros urbanos é potável em relação às legislações vigentes no país, porém não do ponto de vista epidemiológico, e a estruturação da legislação dos parâmetros de qualidade da água para consumo humano deve estar de acordo com o cenário local, de forma a abranger os contaminantes que são específicos de cada região, havendo a necessidade de contemplar, quando aplicável, um maior grupo de contaminantes, principalmente os poluentes emergentes. Neste caso, torna-se necessária a utilização de outros parâmetros de controle, como utilizado pela União Europeia, que seja de determinação fácil e rápida, para avaliação dos efeitos potenciais destes contaminantes, ao invés de serem estabelecidos limites individuais para cada nova substância química potencialmente presente na água, os quais são estabelecidos considerando-se a sua ação isolada. Em conjunto a essa prática, as recomendações da OMS já contempladas nas legislações de outros países, devem ser inseridas na legislação nacional, abrangendo o sistema de avaliação de risco e a recomendação das melhores tecnologias disponíveis para tratamento.

3.3 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA

O plano de segurança da água (PSA) foi desenvolvido pela Organização Mundial da Saúde (OMS), de forma a garantir a segurança hídrica nos sistemas de abastecimento de água do ponto de captação de água bruta até o consumidor final, utilizando um método de gestão de avaliação e gerenciamento de risco. O seu objetivo é reduzir/eliminar qualquer contaminação biológica, física, química ou radiológica, como também evitar a contaminação da água durante os processos de armazenamento e distribuição (WHO, 2017a; COLLIVIGNARELLI, 2017).

As etapas para o desenvolvimento de um plano de segurança da água são recomendadas pela OMS conforme o *Fluxograma 2*.

Fluxograma 2 – Visão geral das etapas do desenvolvimento de um plano de segurança da água.

Fonte: WHO, 2017a.

A descrição do sistema deve fornecer uma visão geral do sistema de abastecimento de água, caracterizando o manancial e as potenciais fontes poluidoras da bacia que está inserido, como também, prever medidas para proteção dos recursos hídricos, dos processos de tratamento, armazenamento e distribuição. Para isso, é imprescindível que o diagrama do sistema seja preciso, caso contrário serão ignorados perigos potenciais ao sistema.

Para a distinção entre os riscos observados, a OMS recomenda a utilização de um método onde se tabela os possíveis perigos e riscos junto com a estimativa da magnitude do risco, caracterizando-o durante o processo em: insignificante, moderado e catastrófico (Tabela 6). Com isso, forma-se uma matriz com a “pontuação” dos riscos, determinando se é um risco baixo ou alto, priorizando as ações conforme as pontuações observadas (WHO,2017a).

Tabela 6 – Exemplo de matriz de pontuação para classificação dos riscos em sistemas de abastecimento de água.

Probabilidade	Gravidade				
	Insignificante	Menor	Moderado	Maior	Catastrófico
Quase certo	5	10	15	20	25
Provável	4	8	12	16	20
Moderadamente provável	3	6	9	12	15
Improável	2	4	6	8	10
Raro	1	2	3	4	5

Pontuação do risco	< 6	6 - 9	10 – 15	> 15
Avaliação do risco	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Who, 2017a.

Com os riscos e suas fontes identificados, os eventos devem ser comparados de forma a se priorizar o maior risco e assim documentá-lo. Por outro lado, deve-se identificar as medidas de controle existentes para cada perigo significativo. Nesta etapa, adota-se o conceito de barreiras múltiplas, que consiste em medidas que analisam cada parte do processo e que garante o atendimento das metas estipuladas para manter a água potável. Este conceito garante que se houver uma falha em alguma etapa do sistema, esta pode ser compensada nas barreiras seguintes, minimizando o risco de contaminação.

Além de favorecer o conhecimento de todo o processo do sistema de abastecimento de água, o PSA possibilita a descoberta e monitoramento de riscos relacionados a substâncias que não eram controladas durante os monitoramentos de

rotina, como poluentes emergentes. Desta forma, a cada novo risco encontrado no processo deve-se revisar o plano afim de garantir a eficiência do sistema e mitigar o perigo que surgiu (WHO, 2017a).

A seguir serão apresentados estudos da implantação de planos de segurança da água em diversas regiões e suas observações devido a implantação desta prática, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Implantação de plano de segurança da água em diversas regiões.

País	Observações	Solução	Autor
Itália	Adequação limite de parâmetros, exemplo do arsênio, redução de 50 µg.L ⁻¹ para 10 µg.L ⁻¹ .	Revisão do parâmetro de controle.	Sorlini <i>et al.</i> , (2014)
Portugal, Braga	Reduzir e remover contaminantes na etapa de tratamento.	Limites críticos de parâmetros e monitoramento.	Silva <i>et al.</i> , (2016)
Senegal, Burkina	Contaminação por microorganismos nos poços do vilarejo.	Limpeza e proteção dos poços; educação ambiental no vilarejo.	Rondi <i>et al.</i> , (2015)
Itália, Mortara	Ferro residual após tratamento em filtro, possível descascamento da estrutura interna dos filtros.	Manutenção; Aprimorar tecnologia de tratamento.	Sorlini <i>et al.</i> , (2017)
França e Espanha	Relação entre índice de gastroenterites aguda e turbidez.	Aprimorar tecnologia de tratamento.	Setty <i>et al.</i> , (2018)
Bangladesh	Escassez de água na época de seca.	Melhora na infraestrutura por conta da agricultura local.	Shamsuzzoha; Kormoker; Ghosh, (2018)
Bangladesh	Qualidade da água fora dos parâmetros após tempestades.	Aprimorar tecnologia de tratamento.	Shamsuzzoha; Kormoker; Ghosh, (2018)

Continua

Continuação

País	Observações	Solução	Autor
China	Poluentes provindos de indústrias e agricultura; contaminação fecal.	Legislação; Aprimorar tecnologia de tratamento.	LI <i>et al.</i> , (2020)
China	Mal funcionamento do equipamento de desinfecção; Contaminação por subprodutos.	Manutenção; Monitoramento.	LI <i>et al.</i> , (2020)
Inglaterra	Contaminantes químicos nas águas residuais e de abastecimento em piloto de reúso potável indireto.	Monitoramento; Aprimorar tecnologia.	Dominguez-Chicas; Scrimshaw, (2010)

Fonte: Autor, 2020.

De diferentes formas, o PSA tem o intuito de aprimorar o sistema e garantir a segurança hídrica, de um sistema mais simples como o presente em Senegal, até um mais desenvolvido como nos demais casos.

3.3.1 Proteção dos mananciais

Segundo a OMS (WHO, 2017a), a gestão de recursos hídricos é um dos aspectos integrantes da gestão preventiva da qualidade da água para consumo humano. A prevenção da contaminação microbiana e química da água é a primeira barreira contra a contaminação.

A gestão de recursos hídricos e a atividade humana potencialmente poluidora poderá influenciar na qualidade das águas superficiais e nos aquíferos, causando impacto nas etapas de tratamento. Em função disso, abaixo são listadas as principais práticas que podem causar impactos aos mananciais.

- Atividades de extração e modificação do solo;
- Construção/modificação de hidrovias;

- Aplicação de fertilizantes, herbicidas, pesticidas e outros produtos químicos;
- Construção, manutenção e uso de estradas;
- Recreação;
- Desenvolvimento urbano ou rural com atenção especial aos despejos de águas residuais e resíduos sólidos;
- Outras atividades poluidoras como locais de indústrias, mineração e militares.

Isto posto, pode-se analisar que a descarga de águas residuais pode ser a fonte da presença de patógenos na água; que o escoamento urbano e a pecuária contribuem para o aumento da carga microbiana; que mananciais de uso recreacional podem se tornar uma fonte de contaminação fecal; que o escoamento superficial de regiões agrícolas pode carrear esterco e pesticidas causando complicações nas etapas de tratamento. (WHO, 2017a).

Ou seja, algumas práticas passíveis de impactos aos mananciais podem sofrer fácil resolução por conta da análise dos fatores de risco pelo PSA. Pode não ser possível praticar todos os recursos para proteção da fonte inicialmente, mas deve-se dar prioridade à gestão da captação. Essa prática deve incluir autoridades de planejamento, fiscalização, conselhos ambientais e de recursos hídricos, entidades agrícolas, industriais e comerciais cujas atividades tenham impacto na qualidade da água, e que conjuntamente devem desenvolver planos para melhoria das práticas de gestão e minimização dos riscos. Desta forma, com a introdução de boas práticas no uso do solo e na contenção dos perigos é possível reduzir a poluição dos mananciais sem reduzir o desenvolvimento dos setores.

Para garantir uma proteção eficaz dos recursos hídricos, recomenda-se:

- Desenvolver e implementar um plano de gestão da bacia hidrográfica, que inclui medidas de controle para proteger os mananciais superficiais e subterrâneos;
- Garantir que os regulamentos incluam a proteção dos mananciais de atividades potencialmente poluidoras;
- Promover a conscientização da população sobre o impacto das atividades humanas na qualidade da água.

Por outro lado, práticas alternativas são necessárias para reduzir a exposição aos contaminantes químicos, e uma possibilidade é através da regulamentação e proibição por meio de legislações mais rigorosas. Por exemplo, implantação de agricultura responsável, reduzindo o uso de pesticidas e outros compostos químicos, sendo uma opção viável e ecológica. A proibição de compostos químicos como endossulfan, fungicidas, herbicidas, bisfenol-a, ftalatos e atrazina podem também reduzir os níveis de contaminação. Portanto, a regulamentação de determinados grupos de contaminantes químicos, como dos disruptores endócrinos, combinada com o monitoramento e a quantificação dos mesmos deve ser implementada (VILELA; BASSIN; PEIXOTO, 2018).

4 METODOLOGIA

Este trabalho integra o grupo de estudos Conexão Água do Ministério Público Federal, criado para subsidiar a revisão da legislação responsável pela caracterização da qualidade da água potável, que atualmente está presente nos Anexos XX e XXI da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017).

Devido à preocupação com a grande variabilidade de compostos químicos presentes na água, a revisão da portaria se ancorou no desenvolvimento de um plano de amostragem mais complexo de forma a identificar um maior número de contaminantes individualmente. Porém, como exposto anteriormente, a OMS (WHO, 2017a) não recomenda esta prática e sim analisar e caracterizar a qualidade da água por grupo de contaminantes, de forma a verificar a sinergia entre os compostos e simplificar as análises. Esta prática ocorre por meio de indicadores de controle.

Para esta finalidade é feita uma revisão das legislações relacionadas, bem como uma discussão sobre os parâmetros de qualidade utilizados atualmente e a proposição de parâmetros de controle que poderiam ser utilizados para simplificar o processo de monitoramento, ao mesmo tempo em que aumenta a segurança da água, conforme preconizado nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde.

O estudo iniciou-se por meio de uma análise simples, onde comparou-se as resoluções do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e CONAMA 396 (BRASIL, 2008), responsáveis por estabelecer os padrões de qualidade da água bruta; e o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), responsável pela qualidade da água potável. Desta comparação, obteve-se a tabela presente no Anexo A que está composta por todos os parâmetros das três legislações citadas e seus valores máximos permitidos. A comparação realizada elucidou que muitos compostos monitorados na água bruta são também monitorados no pós tratamento.

Em seguida, iniciou-se o levantamento das características físico-químicas dos compostos orgânicos e dos defensivos agrícolas presentes na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). O levantamento ocorreu por meio da base de dados da USEPA (USEPA, [s.d]; USEPAa, 2019; USEPAb, 2019), onde através do número CAS de cada composto foi possível obter as características: solubilidade em água a 20°C, pressão de vapor à 25°C, log do coeficiente de partição octanol/água, log do coeficiente de carbono orgânico/água e

constante de Henry. Esse levantamento resultou nas Tabela 10 e Tabela 11 presente na seção dos resultados e permite analisar a rota de exposição de cada composto.

A análise dos compostos orgânicos continuou através de sua relação com o carbono orgânico total. Nas Tabela 12 e Tabela 13 são informadas as massas molares, números de carbonos e a concentração máxima permitida na legislação para cada composto. Com isso, é possível obter a fração de carbono orgânico total para cada contaminante e a somatória de todos os valores nos permite ter um valor de referência e assim, utilizar o COT como um indicador de controle.

Na seção seguinte, são propostos indicadores de controle que permitem agrupar diversos contaminantes em uma única variável. Foram adotados os indicadores de controle: turbidez, pH, toxicidade química, carbono orgânico total, condutividade elétrica, potencial de inibição enzimática, teste de estrogenicidade e androgenicidade, e presença de microrganismos patogênicos. E para cada indicador foi proposto um valor máximo permitido conforme os estudos desenvolvidos e as referências utilizadas para o desenvolvimento deste estudo.

Por fim, cita-se as melhores tecnologias disponíveis para tratamento dos compostos listados na legislação vigente. Estes foram agrupados em compostos orgânicos, compostos inorgânicos, sólidos suspensos e microrganismos, e as tecnologias apresentadas são opções de estudo, de forma que cada sistema deva testar em escala piloto o melhor arranjo para fornecer uma água segura e potável.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS

No Brasil as legislações que tratam da qualidade da água bruta são regulamentadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente. A Resolução CONAMA 357 de 2005 (BRASIL, 2005), é responsável por estabelecer os padrões de qualidade da água para as águas superficiais e a Resolução CONAMA 396 de 2008 (BRASIL, 2008), é responsável pela qualidade das águas subterrâneas.

Já a legislação responsável pela qualidade da água potável, que segue para distribuição à população é a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

Neste primeiro momento, seguindo a recomendação da OMS (WHO, 2017a) de simplificar o processo de caracterização da qualidade da água, por meio de uma

análise simples, onde comparou-se as duas resoluções do CONAMA e o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, verifica-se a existência de parâmetros de qualidade exigidos para a água bruta, que se repetem para a água tratada. Ou seja, seria possível reduzir uma quantidade significativa de parâmetros no pós-tratamento, e analisar demais parâmetros necessários, simplificando em parte a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017.

No Anexo A, é apresentada uma tabela com a indicação de todos os parâmetros utilizados para caracterização de mananciais superficiais e subterrâneos, de acordo com as classes utilizadas para abastecimento público, e os parâmetros utilizados no pós-tratamento. Observa-se, como mencionado, a existência de 27 (vinte e sete) parâmetros onde os valores se repetem em ambas as legislações, conforme destacado na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação dos valores máximos permitidos entre as legislações brasileiras.

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017
		CL. 1	CL. 2	ÁGUAS SUPERFICIAIS	CL. 3	ÁGUA SUBTERRÂNEA	
Antimônio	mg/L	0,005	idem cl. 1		-	0,005	0,005
Arsênio total	mg/L	0,01	idem cl. 1		0,033	0,01	0,01
Bário total	mg/L	0,7	idem cl. 1		1,0	0,7	0,7
Chumbo total	mg/L	0,01	idem cl. 1		0,033	0,01	0,01
Cloreto total	mg/L	250	idem cl. 1		250	250	250
Cromo total	mg/L	0,05	idem cl. 1		0,05	0,05	0,05
Ferro dissolvido	mg/L	0,3	idem cl. 1		5,0	0,3	0,3
Nitrato	mg/L	10	idem cl. 1		10	10	10
Nitrito	mg/L	1	idem cl. 1		1	1	1
Sódio	mg/L	-	-		-	200	200
Selênio total	mg/L	0,01	idem cl. 1		0,05	0,01	0,01
Sulfato total	mg/L	250	idem cl. 1		250	250	250
Zinco total	mg/L	0,18	idem cl. 1		5	5	5
Acrilamida	µg/L	0,5	idem cl. 1		-	0,5	0,5
Alacloro	µg/L	20	idem cl. 1		-	20	20
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,005	idem cl. 1		0,03	0,03	0,03
Atrazina	µg/L	2	idem cl. 1		2	2	2
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	idem cl. 1		0,01	0,01	0,01
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,003	idem cl. 1		0,22	0,03	0,03

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005		CL. 3	CONAMA 396 DE 2008		Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017
		CL. 1	CL. 2		ÁGUA SUBTERRÂNEA		
ÁGUAS SUPERFICIAIS							
Diclorometano	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	
Estireno	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	
Lindano (gama-HCH)	µg/L	0,02	idem cl. 1	2	2	2	
Metolacoloro	µg/L	10	idem cl. 1	-	10	10	
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	idem cl. 1	0,009	0,009	0,009	
Simazina	µg/L	2	idem cl. 1	-	2	2	
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	
Xileno	µg/L	300	idem cl. 1	-	300	300	

Fonte: Adaptado de Brasil, 2005; Brasil, 2008; Brasil, 2017.

Outro ponto, é que alguns parâmetros possuem seus valores máximos permitidos mais restritivos na água bruta em relação ao valor adotado para o pós-tratamento, como apresentado na Tabela 9. Com isso, seria possível reduzir mais 13 (treze) parâmetros que constam na Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, mantendo padrões mais restritivos ou iguais aos adotados nas Resoluções do Conama (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008; BRASIL, 2017).

Tabela 9 – VMP mais restritivos na Resolução Conama nº 357 em comparação com a Portaria de Consolidação nº 5.

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA		
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO		
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	idem cl. 1	500	1000	1000	
Cadmio total	mg/L	0,001	idem cl. 1	0,01	0,005	0,005	
Cianeto livre	mg/L	0,005	idem cl. 1	0,022	0,07	0,07	
Cobre dissolvido	mg/L	0,09	idem cl. 1	0,013	2	2	
Fluoreto total	mg/L	1,4	idem cl. 1	1,4	1,5	1,5	
Níquel total	mg/L	0,025	idem cl. 1	0,025	0,02	0,07	
Urânio total	mg/L	0,02	idem cl. 1	0,02	0,015	0,03	
Endossulfan (a + b + sulfato)	µg/L	0,056	idem cl. 1	0,22	-	20	
Endrin	µg/L	0,004	idem cl. 1	0,2	0,6	0,6	
Etilbenzeno	µg/L	90	idem cl. 1	-	200	200	
Glifosato	µg/L	65	idem cl. 1	280	500	500	
Tetracloreto de carbono	mg/L	0,002	idem cl. 1	0,003	0,002	0,004	
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,01	-	0,2	

Fonte: Adaptado de Brasil, 2005; Brasil, 2008; Brasil, 2011.

Existem redundâncias nos parâmetros utilizados para a caracterização da água bruta e da água potável, conforme evidenciado. Diante disso, o monitoramento destes 40 (quarenta) parâmetros poderiam ser realizados apenas nos mananciais de abastecimento (água bruta), como já determinado nas resoluções do Conama (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008) e assim evitar a repetição destes parâmetros na caracterização da água no pós-tratamento, já simplificando em parte a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017).

5.2 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE COMPOSTOS ORGÂNICOS

Em relação aos compostos orgânicos persistentes presentes na legislação atual, os fatores que devem ser considerados para caracterizá-los são a gravidade em relação à saúde humana e a frequência de exposição à população. Ou seja, a probabilidade de efeitos na saúde humana depende da toxicidade e da concentração, como também do período de exposição.

Isto posto, buscou-se verificar a rota de exposição dos contaminantes através do estudo de suas propriedades físico-químicas, incluindo a solubilidade em água a 20°C, pressão de vapor a 25°C, log do coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}), log do coeficiente de partição carbono orgânico/água (K_{oc}) e constante de Henry.

As Tabela 10 e Tabela 11 apresentam os valores das propriedades físico-química levantadas e suas características permitem prever o comportamento de cada contaminante no ambiente e a sua relevância para o tratamento e monitoramento da qualidade da água para abastecimento. Abaixo são descritas as propriedades utilizadas para verificar a rota de exposição dos compostos.

- Solubilidade em água: refere-se à máxima concentração de um composto que se dissolve em uma quantidade definida de água pura entre a faixa de 1 a 10^5 mg/L. Quanto maior o valor, mais solúvel este é, e pode sofrer influência de outros fatores como a temperatura e o pH. Os compostos muito solúveis se adsorvem com baixa afinidade ao solo e são carregados do solo aos mananciais. Outro ponto, é que compostos solúveis em água tendem a ser menos voláteis e facilmente biodegradáveis.
- Pressão de vapor: é uma medida de volatilidade de um composto químico, sendo um determinante da velocidade de volatilização. Em geral, compostos com pressão de vapor baixa estarão associados ao material particulado ($<10^{-9}$ kPa), enquanto que aqueles com pressão de vapor $> 10^{-5}$ se encontrarão na fase vapor.
- Coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}): prediz o potencial do agente químico de acumular-se na gordura animal, onde os organismos tendem a acumular os compostos em suas porções lipídicas de seus tecidos. Ou seja, o valor de K_{ow} está relacionado de maneira direta com a bioconcentração na biota e está inversamente relacionado à solubilidade

da água. Desta forma, é possível verificar se o composto possui hidrofobicidade ou hidrofiliicidade, se o valor for alto, o composto é hidrofóbico e tem tendência a permanecer nos sedimentos.

- Coeficiente de partição carbono orgânico/água (K_{oc}): representa a sorção de contaminantes orgânicos no solo ou sedimentos. Os valores deste coeficiente vão de 1 a 10^7 . Quando o K_{oc} é alto indica que o composto orgânico se fixa com firmeza ao solo resultando em uma quantidade muito baixa da sua presença nos mananciais. Os compostos passam a ser adsorvidos ao solo quando o valor do coeficiente for $> 10^3$.
- Constante de Henry: possibilita verificar a solubilidade dos compostos na fase gasosa em um meio líquido. Quando o composto tem alta solubilidade na água com relação a sua pressão de vapor, o composto se dissolverá principalmente na água. Quando a pressão de vapor for alta com relação à sua solubilidade em água, a constante de Henry também será alta e o composto terá maior tendência a se evaporar, sendo o ar a sua maior rota de exposição. Os compostos tem maior volatilidade quando $> 10^{-3} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$. (D'AGOSTINHO; FLUES, 2006).

A partir da análise dos dados que compõe as Tabela 10 e Tabela 11 pode-se observar que o DDT e o pentaclorofenol são compostos solúveis no tecido da biota e se adsorve fortemente ao solo, chegando aos humanos pela cadeia alimentícia. Por outro lado, os compostos com baixa concentração de K_{ow} tendem a se distribuir na água e no ar, podendo ser extremamente voláteis como o tricloroeteno e tetracloroeteno.

Desta forma, compostos que são mais suscetíveis a volatilização ou à sorção ao solo (DDT, pentaclorofenol, tricloroeteno, tetracloroeteno, benzeno, diclorometano, estireno, tetracloreto de carbono) poderiam ser desconsiderados no controle da qualidade da água, e assim dar uma maior atenção aos hidrofílicos e solúveis.

Tabela 10 – Características físico-químicas de compostos orgânicos.

COMPOSTO	Nº CAS	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS					CONSTANTE DE HENRY DE HENRY (PA.M³/MOL)
		SOLUBILIDADE EM ÁGUA A 20°C (G/L)	PRESSÃO DE VAPOR A 25°C (KPA)	LOG DO COEFICIENTE DE PARTIÇÃO OCTANOL/ÁGUA (K _{ow})	LOG DO COEFICIENTE DE PARTIÇÃO CARBONO ORGÂNICO/ÁGUA (K _{oc})		
Acrilamida	79-06-1	200	2,3	(-) 0,67	1,02	3,2 x 10 ⁻³	
Benzeno	71-43-2	1,79 em 25°C	10 em 20°C	2,13	1,77	5,62E+10	
Benzo[<i>a</i>]pireno	50-32-8	1,62E-06	7,14E-08	6,11	6,01	1,14E+01	
Cloreto de Vinila	75-01-4	2,76	3,38E+02	1,5	1,27	2,74E+09	
1,2 Dicloroetano	107-06-2	8,7	10,2	1,47	1,24	9,92E+03	
1,1 Dicloroetano	75-35-4	2,5	66,5	2,13	1,5	2,64E+05	
1,2 Dicloroetano (cis+trans)	156-59-2 (cis)	3,5	2,60E+03	1,86	1,55	4,13E+04	
	156-60-5 (trans)	4,52	4,30E+03	2,07	1,72	9,50E+04	
Diclorometano	75-09-2	0,0132	47,4	1,25	1,07	2,22E+04	
Di(2-etilhexil) ftalato	117-81-7	0,0003	1,85E-08	7,3	7,18	1,03E+00	
Estireno	100-42-5	0,03	8,32E-01	2,94	2,49	2,79E+04	
Pentaclorofenol	87-86-5	0,014	2,60E-07	5,09	3420	2,47E-01	
Tetracloreto de Carbono	56-23-5	0,8	1,50E+01	2,73	2,24	3,08E+05	
Tetracloroetano	127-18-4	0,15	2,405	2,67	2,19	1,86E+05	
Triclorobenzenos	1,2,4-TCB (120-82-1)	0,049	0,04	4,01	3,25	1,44E+04	
	1,3,5-TCB (108-70-3)	0,006	0,024	4,19	3,40	1,92E+04	
	1,2,3- TCB (87-61-6)	0,03	0,017	4,05	3,29	1,27E+04	
Tricloroetano	79-01-6	1	7,8	2,71	2,22	1,04E+05	

Fonte: USEPA, [s.d]; USEPAa, 2019; USEPAb, 2019.

Tabela 11 – Características físico-químicas de defensivos agrícolas.

COMPOSTO	Nº CAS	SOLUBILIDADE EM ÁGUA (G/100 G)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS		
			PRESSÃO DE VAPOR A 25°C (KPA)	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO OCTANOL/ÁGUA (K _{ow})	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO ÁGUA/CARBONO ORGÂNICO (K _{oc})
2,4 D + 2,4,5 T	94-75-7 (2,4 D)	0,054	-	2,81	2,30
	93-76-5 (2,4,5 T)	6,8	-	3,31	2,70
Alaclor	15972-60-8	24	2,86E-04	3,52	2,87
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	116-06-3 (aldicarbe)	0,493	1,00E-05	1,13	0,97
	1646-88-4 (aldicarbesulfona)	4.50e-2 mol/L at 25 deg C	1,17E-03	-0,57	-0,37
	1646-87-3 (aldicarbe sulfóxido)	0.136 mol/L at 25 deg C	1,30E-03	-0,439	-0,27
Aldrin + Dieldrin	309-00-2 (aldrin)	17	1,56E-03	6,5	6,39
	60-57-1 (dieldrin)	0,0195	4,00E-07	5,37	4,33
Atrazina	1912-24-9	3,3	3,76E-06	2,61	2,15
Carbendazim + benomil	10605-21-7 (carbendazim)	0,00038	4,81E-08	1,52	1,28
	17804-35-2 (benomil)	0,00038	4,81E-08	2,12	1,76
Carbofurano	1563-66-2	0,007	7,20E-08	2,32	1,92
Clordano	5103-74-2	1.37e-7 mol/L	1,27E-04	5,92	4,77
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	2921-88-2 (clorpirifós)	0,039	2,63E-04	4,96	4,01
	5598-15-2 (clorpirifós-oxon)	-	-	3,32	2,71
DDT+DDD+DDE	p,p'-DDT (50-29-3)	0,00055	2,08E-06	6,53	6,42
	p,p'-DDD (72-54-8)	0,009	1,76E-05	6,1	6
	p,p'-DDE (72-55-9)	0,004	7,80E-05	6,76	6,65
					Continua

Continuação

COMPOSTO	Nº CAS	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS			
		SOLUBILIDADE EM ÁGUA (G/100 G)	PRESSÃO DE VAPOR A 25°C (KPA)	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO OCTANOL/ ÁGUA (K _{ow})	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO ÁGUA/CARBONO ORGÂNICO (K _{oc})
Diuron	330-54-1	4,2	1,10E-09	2,68	2,20
	115-29-7	0,053	1,20E-03	3,83	3,31
Endossulfan (α β e sais) (3)	959-98-8	-	8,81E-06	3,61	2,94
	33213-65-9	-	8,81E-06	3,61	2,94
	1031-07-8	0,0000117	1,30E-11	3,66	2,98
Endrin	72-20-8	0,025	5,46E-05	5,06	3,33
Glifosato + AMPA	1071-83-6 (glifosato)	0,105	1,31E-08	-3,4	-2,61
	1066-51-9 (AMPA)	-	-	-1,43	-1,05
Lindano (gama HCH)	58-89-9	0,73	5,85E-05	3,73	3,03
Metamidofós	10265-92-6	-	4,70E-06	-0,8	-0,56
Metolaclo-ro	51218-45-2	53	4,20E-06	3,13	2,56
Molinato	2212-67-1	97	7,28E-03	3,21	2,62
Parationa Metílica	298-00-0	3,77	4,55E-06	2,86	2,34
Pendimentalina	40487-42-1	0,033	1,22E-05	5,20	4,20
Permetrina	52645-53-1	6,00X10-3 mg/ml	6,73E-07	6,50	5,23
Profenofós	41198-08-7	2,8	1,17E-05	4,68	3,78
Simazina	122-34-9	0,62	8,10E-09	2,18	1,80
Tebuconazol	107534-96-3	3,6	1,66E-07	3,70	3,01
Terbufós	13071-79-9	0,507	4,00E-05	4,48	3,63
Trifluralina	1582-09-8	1,84	5,95E-04	5,34	4,31

Fonte: USEPA, [s.d]; USEPAa, 2019; USEPAB, 2019.

A Tabela 12 e 13 permitem verificar as propriedades dos compostos orgânicos e defensivos agrícolas que estão comumente presentes na água e que tem relação com o carbono orgânico total (COT). Desta forma, após obtenção da fração de COT para cada composto, é possível fazer a somatória destes valores e ter um valor de referência, e assim, utilizar o COT como um indicador de controle.

Para determinação da fração de COT adotou-se que todo o carbono do composto será detectado, com isso utilizou-se a relação apresentada na Equação 1 para determinação da fração de COT de cada composto.

$$\text{COT} = \frac{\text{Concentração máxima na legislação} \times \text{número de carbonos} \times 12}{\text{Massa molar}} \quad (1)$$

Sendo,

Concentração máxima em µg/L

Massa molar em g/mol

Carbono orgânico total (COT) em µg/L

Isto posto, tem-se a somatória da concentração do COT para compostos orgânicos de 75,8 µg/L e para defensivos agrícolas de 461,1 µg/L. Logo, pode-se propor o VMP para COT no valor de 0,5mg/L e após este valor é necessário monitorar os compostos individualmente, e em paralelo utilizar-se de uma tecnologia capaz de manter a qualidade da água dentro deste padrão. Verifica-se que este valor é o mesmo adotado pela Farmacopéia Brasileira para o controle da qualidade da água para fins farmacêuticos, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 12 – Concentrações máximas de compostos orgânicos na água para consumo humano e relação com COT.

Composto	Número CAS	Massa Molar (g/mol)	Número de carbonos	Concentração máxima (µg/L)	COT (µg/L)
Acrilamida	79-06-1	71,08	3	0,5	0,3
Benzeno	71-43-2	78,11	6	5,0	4,6
Benzo[a]pireno	50-32-8	252,31	20	0,7	0,7
Cloreto de Vinila	75-01-4	62,5	2	2,0	0,8
1,2 Dicloroetano	107-06-2	98,96	2	10,0	2,4
1,1 Dicloroetano	75-35-4	96,94	2	30,0	7,4
1,2 Dicloroetano (cis + trans)	156-59-2 (cis) 156-60-5 (trans)	96,94	2	50,0	12,4
Diclorometano	75-09-2	84,93	1	20,0	2,8
Di(2-etilhexil) ftalato	117-81-7	390,56	24	8,0	5,9
Estireno	100-42-5	104,15	8	20,0	18,4
Pentaclorofenol	87-86-5	266,34	6	9,0	2,4
Tetracloreto de Carbono	56-23-5	153,82	1	4,0	0,3
Tetracloroetano	127-18-4 1,2,4-TCB (120-82-1)	165,83	2	40,0	5,8
Triclorobenzenos	1,3,5-TCB (108-70-3) 1,2,3- TCB (87-61-6)	181,45	6	20,0	7,9
Tricloroetano	79-01-6	131,39	2	20,0	3,7

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 13 – Concentrações máximas de defensivos agrícolas na água para consumo humano e relação com COT.

Composto	Número CAS	Massa Molar (g/mol)	Número de carbonos	Concentração máxima (µg/L)	COT (µg/L)
2,4 D + 2,4,5 T	94-75-7 (2,4 D) 93-76-5 (2,4,5 T)	221,04 255,48	8 8	30,0	12,2
Alaclor	15972-60-8	269,77	14	20,0	12,5
Aldicarbe	116-06-3 (aldicarbe)	190,26	7		
Aldicarbesulfona	+ 1646-88-4 (aldicarbesulfona)	222,26	7	10,0	4,1
Aldicarbesulfóxido	1646-87-3 (aldicarbe sulfóxido)	206,26	7		
Aldrin + Dieldrin	309-00-2 (aldrin) 60-57-1 (dieldrin)	364,91 380,91	12 12	0,03	0,01
Atrazina	1912-24-9	215,68	8	2,0	0,9
Carbendazim + benomil	10605-21-7 (carbendazim) 17804-35-2 (benomil)	191,19 290,32	9 14	120,0	68,6
Carbofurano	1563-66-2	221,25	12	7,0	4,6
Clordano	5103-74-2	409,78	10	0,2	0,06
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	2921-88-2 (clorpirifós) 5598-15-2 (clorpirifós-oxon)	350,59 334,52	9 9	30,0	9,5
DDT+DDD+DDE	p,p'-DDT (50-29-3) p,p'-DDD (72-54-8) p,p'-DDE (72-55-9)	354,49 320,00 318,00	14 14 14	1,0	0,5

Continua

Continuação

Composto	Número CAS	Massa Molar (g/mol)	Número de carbonos	Concentração máxima (µg/L)	COT (µg/L)
Diuron	330-54-1	233,09	9	90,0	41,7
Endossulfan (α β e sais) (3)	115-29-7	406,93	9		
	959-98-8	406,93	9	20,0	10,5
	33213-65-9	406,93	9		
	1031-07-8	422,92	9		
Endrin	72-20-8	380,91	12	0,6	0,2
	1071-83-6 (glifosato)	169,07	3	500,0	80,2
Glifosato + AMPA	1066-51-9 (AMPA)	111,04	1		
Lindano (gama HCH)	58-89-9	290,83	6	2,0	0,5
Mancozebe	008018-01-07	541,01	8	180,0	31,9
Metamidofós	10265-92-6	141,13	2	12,0	2,0
Metolacoloro	51218-45-2	283,79	15	10,0	6,3
Molinato	2212-67-1	187,3	9	6,0	3,5
Parationa Metílica	298-00-0	263,21	8	9,0	3,3
Pendimentalina	40487-42-1	281,31	13	20,0	11,1
Permetrina	52645-53-1	391,29	21	20,0	12,9
Profenofós	41198-08-7	373,63	11	60,0	21,2
Simazina	122-34-9	201,66	7	2,0	0,8
Tebuconazol	107534-96-3	307,82	16	180,0	112,3
Terbufós	13071-79-9	288,43	9	1,2	0,4
Trifluralina	1582-09-8	335,28	13	20,0	9,3

Fonte: Autor, 2020.

5.3 PROPOSTA DE INDICADORES DE CONTROLE

Outro aspecto a ser considerado é o tipo de efeito potencial dos contaminantes, de forma a utilizar um método que permita identificar este tipo de efeito e facilitar o processo de monitoramento da qualidade da água. Como exemplo, os metais apresentam tendência à inibição de atividade enzimática, assim a utilização de um método que avalie o potencial de inibição enzimática de uma amostra de água eliminaria a necessidade do monitoramento de todos os metais potencialmente presentes na água. Isso vale para o caso de substâncias tóxicas, substâncias com potencial estrogênico ou androgênico, ou qualquer outro efeito relevante na saúde humana.

Com isso, propõe-se, a utilização de oito indicadores de controle para realizar a caracterização da qualidade da água para abastecimento público:

- Turbidez;
- pH;
- Toxicidade química;
- Carbono orgânico total;
- Condutividade elétrica
- Potencial de inibição enzimática;
- Teste de estrogenicidade e androgenicidade;
- Presença de microrganismos patogênicos.

Estes indicadores estão sendo propostos pois permitem agrupar diversos contaminantes em uma única variável. No caso da turbidez, esta permite identificar a quantidade de sólidos suspensos presentes na água, quanto menor o seu valor, maior será a eficiência na etapa de desinfecção e na desativação de vírus (SAWYER, 2003 apud RÔLA, 2016). Já o pH permite identificar a ocorrência de lançamento de efluentes industriais no manancial, de acordo com a faixa em que se trabalha podem ocorrer a deposição de sais, como também tornar metais mais ou menos solúveis na água. A toxicidade química indica a presença de contaminantes tóxicos de forma não específica, apresentando resultado sobre a toxicidade do meio, sendo necessária a análise de indicadores específicos posteriormente. O carbono orgânico total (COT) representa um conjunto de substâncias orgânicas presentes na água. A condutividade elétrica representa um conjunto de compostos inorgânicos (sais dissolvidos). O

potencial de inibição enzimática, segundo Bitton, Jung, Koopman, (1993), pode indicar a presença de metais pesados ou outros contaminantes e o teste de estrogenicidade e androgenicidade, permite a indicação da presença de disruptores endócrinos (LESKINEN *et al.*, 2005). Por fim, o monitoramento de organismos indicadores de patógenos busca verificar a qualidade da água com relação ao potencial de transmissão de doenças. A seguir são apresentados no Quadro 2 os indicadores de controle propostos e os contaminantes relacionados a eles, como também, a recomendação de valores de referência para cada um.

Quadro 2 - Proposição de indicadores de controle e valores de referência.

Indicadores de controle	Abrangência	Valor de referência
Turbidez	Contaminantes aderidos às partículas em suspensão	≤ 1 UNT
pH	Monitorar presença de sais e metais pesados	Entre 6 a 9
Toxicidade química	Compostos orgânicos, metais pesados	Não detectável; *FT=1
Carbono orgânico total	Compostos orgânicos	< 0,5mg/L
Condutividade elétrica	Compostos inorgânicos	< 200 μ S/cm a 25°C
Potencial de inibição enzimática	Metais pesados e disruptores endócrinos	Não detectável
Teste de estrogenicidade e androgenicidade	Compostos com atividade mutagênica (disruptores endócrinos)	Não detectável
Presença de microrganismos patogênicos	Vírus, coliformes, E. coli	Ausente

Fonte: Autor, 2020.

*FT= Fator de toxicidade.

Em relação aos indicadores de controle propostos, observa-se a sua abrangência em relação aos grupos de contaminantes inorgânicos, orgânicos e patógenos. Foram incorporados indicadores como toxicidade química, potencial de inibição enzimática e teste de estrogenicidade e androgenicidade, os quais podem apresentar de forma segura a não toxicidade da amostra, garantindo que não haverá riscos à saúde humana em relação aos metais pesados e disruptores endócrinos.

Como também, demonstram que o sistema de tratamento de água está em conformidade.

Esta metodologia de análise tem sido praticada em sistemas de reúso potável de água. Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019) desenvolveram um estudo na ETE Capivari II, no município de Campinas, com uma estação piloto de reúso potável direto. Foram criados quatro arranjos com as tecnologias osmose reversa (OR), desinfecção (D), processos oxidativos avançados (POA), carvão ativado granular (CAG) e carvão ativado biológico (CAB) e se basearam para a caracterização da qualidade da água na legislação nacional de qualidade da água potável (Brasil, Portaria de Consolidação nº 5, 2017) e em outras variáveis não incluídas na legislação como o teste de toxicidade química (*Vibrio Fischeri*), N-Nitrosodimetilamina (N-NDMA), teste de mutagenicidade (método AMES), avaliação de vírus entéricos e na avaliação do potencial de estrogenicidade e androgenicidade (YES/YAS). A abrangência dos indicadores complementares permite identificar possíveis riscos de contaminação tanto na água bruta como no pós tratamento, como no caso do teste de toxicidade química, mas também permite uma análise de compostos que tem potencial para indução de mutações genéticas, por meio da avaliação dos testes AMES, YES e YAS.

O estudo mostra que o efluente final está, em sua grande maioria, de acordo com os parâmetros recomendados na Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017), conforme apresentado no Anexo B. Os parâmetros não conformes foram bactérias de cor e heterotróficas aparentes no arranjo OR + D (UV e Cloração). Os resultados das análises indicaram toxicidade na maioria das amostras nos arranjos com desinfecção (cloração), provavelmente por conta da reação do cloro com os compostos presentes na água gerando subprodutos tóxicos, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados ensaio de toxicidade em piloto de reuso potável direto.

	Aliment.		Antes CI		Depois CI		Aliment.		Antes CI		Depois CI	
	OR + D						OR + POA + D					
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
CE 20	ND	-	ND	ND	15,5	32,9	ND	-	ND	ND	ND	ND
CE 50	ND	-	ND	ND	65,6	64,5	ND	-	ND	ND	ND	ND
UT	ND	-	ND	ND	1,5	1,5	ND	-	ND	ND	ND	ND
FT	1	-	1	1	8	4	1	-	1	1	1	1
	RO + CAG + D						RO + POA + CAG + D					
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
CE 20	-	-	ND	ND	25,1	15,7	ND	ND	ND	34,6	ND	24,3
CE 50	-	-	ND	ND	66,1	ND	ND	ND	ND	98,8	ND	61,8
UT	-	-	ND	ND	1,5	ND	ND	ND	ND	1,01	ND	1,6
FT	-	-	1	1	4	4	1	1	1	4	1	8
	CAB											
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso						
CE 20	-	ND	-	ND	-	ND						
CE 50	-	ND	-	ND	-	ND						
UT	-	ND	-	ND	-	ND						
FT	-	1	-	1	-	1						

CE20 = concentração que causa 20% de inibição de bioluminescência

CE 50 = concentração que causa 50% de inibição de bioluminescência

UT = Unidade de Toxicidade

FT = Fator de Toxicidade

- = Não avaliado no arranjo considerado

Fonte: Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, 2019.

O único arranjo que não resultou em toxicidade química foi o OR + POA e CAB, por conta da oxidação de compostos pela oxidação fotoquímica e ozonização. Os testes de N-NDMA, AMES e YES/YAS não apresentaram atividade nem inibição de hormônios ou quaisquer atividades mutagênicas. No Anexo C é possível verificar os resultados do teste de N-NDMA.

Este estudo, bem como a legislação utilizada pelo setor farmacêutico brasileiro (BRASIL, 2019), demonstra que a aplicação de tecnologias avançadas em conjunto com a utilização de indicadores de controle garante uma água segura à população. Desta forma, pode-se inferir que tecnologias avançadas permitem um maior controle dos contaminantes na água, favorecendo a redução dos parâmetros de controle e utilizando indicadores que verifiquem um grupo de contaminantes, conforme realizado por Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).

Em paralelo, o Ministério da Saúde e a Anvisa, devem assegurar o aprimoramento da legislação conforme o cenário atual brasileiro, atuando tanto na

proposta de indicadores e tecnologias que permitam a produção de uma água segura para o consumo humano, como também, fiscalizar e verificar a liberação de grupos de compostos que são utilizados na indústria e no agronegócio. Desta forma, seria possível verificar a forma como são empregados, aplicação e periodicidade, como no caso de defensivos agrícolas, o que pode comprometer a qualidade da água dos mananciais. Isso permite prever no plano de amostragem e no plano de segurança da água, formas de realizar as amostras conforme a produção e preparo do solo, ao invés de isso ocorrer em períodos de entressafra, não identificando um possível risco ao sistema.

5.4 PROPOSTA DE TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO

A utilização de um plano de segurança da água e um plano de amostragem são ferramentas fundamentais para garantir uma água segura e potável à população. Dentro do plano de segurança da água, utiliza-se o conceito de barreiras múltiplas, e a barreira tecnológica tem fundamental importância no controle da qualidade da água. A seguir, serão propostas tecnologias avançadas para sistemas de tratamento de água, onde os mananciais de abastecimento estejam comprometidos. Desta forma, sistemas em que seus mananciais estejam protegidos contra quaisquer tipos de contaminantes, o sistema convencional de tratamento pode ser satisfatório.

Sendo assim, desenvolveu-se o Quadro 3 de forma a propor as melhores tecnologias de tratamento de acordo com os grupos de compostos: orgânicos, inorgânicos, microrganismos e sólidos em suspensão.

Quadro 3 - Melhores tecnologias para tratamento.

Grupos de contaminantes	Tecnologias de tratamento
Microrganismos	Coagulação/floculação, filtração lenta, desinfecção, microfiltração e ultrafiltração
Sólidos em suspensão	Coagulação/floculação e sedimentação, filtração, carvão ativado, microfiltração e ultrafiltração
Compostos orgânicos	Carvão ativado, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa
Compostos inorgânicos	Troca iônica, nanofiltração, osmose reversa e eletrodialise

Fonte: USEPA, 2003; WHO, 2017a; WHO, 2017b.

O grupo composto por microrganismos abrange as bactérias (coliformes totais, *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas), como também, protozoários (do gênero *Giardia* e *Cryptosporidium*), vírus (gênero *enterovírus*, *rotavírus* e *adenovírus*), algas e cianobactérias.

Os coliformes totais possuem taxa de inativação similar ou superior aos coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (*E.coli*), porém nem sempre sua presença refere-se à contaminação fecal. Já o *E.coli* quando detectado necessita de atenção, contudo, esse microrganismo é sensível à desinfetantes (cloro livre, dióxido de cloro e hipoclorito de sódio) comumente utilizados nas estações de tratamento de água, por isso seu uso é questionado como indicador de poluição. Devido a isso, comenta-se da utilização dos protozoários como indicadores de controle, já que seus cistos e oocistos são altamente resistentes à desinfecção e por passarem pelos filtros da ETA já que possuem tamanho entre 3µm à 15µm. Desta forma, a otimização para remoção destes contaminantes, como também de vírus e algas, seria por meio de processos de separação de membrana (por conta do tamanho de seus poros) ou com a utilização de carvão ativado para redução de sólidos suspensos na água, onde esses microrganismos podem se aderir. Os sólidos suspensos são partículas de areia, argila, matéria orgânica e silte que podem conferir turbidez à água. Conforme o tamanho destas partículas, existem diferentes condições para as etapas de coagulação e filtração, como também um impacto na fase de desinfecção (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Os compostos orgânicos podem ser removidos através da adsorção em partículas de carvão ativado, que depois são descartadas junto com o lodo da ETA (quando em pó) ou removidos na etapa de filtração (quando granular). Outra tecnologia que pode ser empregada, visando disruptores endócrinos, são as membranas de nanofiltração e osmose reversa. Como as partículas dos EDCs possuem um tamanho muito reduzido, estas ficam retidas na barreira física das membranas por conta de seus pequenos poros. Já os compostos inorgânicos podem ser removidos também através de membranas de troca iônica, onde possuem cargas elétricas fixas catiônicas ou aniônicas para separação dos compostos ou por meio do processo de eletrodialise, onde utiliza-se membranas aniônicas e catiônicas dispostas alternadamente entre dois eletrodos, promovendo a separação das espécies iônicas (HESPANHOL, 2015b; MIERZWA, 2017).

Este estudo e os cenários apontados durante as seções do trabalho evidenciam que os parâmetros de referência da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017) garantem uma água segura do ponto de vista legal, porém não do ponto de vista epidemiológico, conforme demonstrado por meio de estudos nacionais e internacionais apresentados.

Desta forma, o aprimoramento da legislação em conjunto com a utilização de indicadores de controle e tecnologias apropriadas podem favorecer a aplicação de sistemas de reúso potável direto em grandes centros urbanos, garantindo eficiência no tratamento de esgotos e resolvendo em parte a alta demanda de grandes centros urbanos e as questões de escassez hídrica, não sendo necessário utilizar água de outras bacias para o abastecimento.

Este estudo buscou demonstrar que a simplificação do processo pode atender à necessidade atual do país e de suas regiões que possuem características e economias distintas. E em continuidade ao estudo, há necessidade de realizar testes com os indicadores de controle propostos em estações pilotos, verificando a sua eficiência e os custos associados à sua aplicação, de forma a comparar com os custos e eficiência dos parâmetros estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 (BRASIL, 2017).

6 CONCLUSÃO

A melhor forma de garantir a qualidade da água para consumo humano se dá pela proteção dos mananciais, mas este não é o cenário nas metrópoles brasileiras. Desta forma, os resultados apresentados demonstram que os padrões individuais de qualidade de água e o sistema convencional utilizado para o tratamento de água potável não são suficientes para assegurar a produção e distribuição de água segura em regiões metropolitanas, e requer o aprimoramento dos instrumentos legais para esta finalidade.

Em relação ao método proposto, este permitirá a simplificação do processo de controle da qualidade da água, redução de custos e tempo nas análises realizadas, além de permitir a análise de diversos contaminantes em conjunto. E quando comparado com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, este irá atender aos padrões da mesma, favorecendo ações assertivas nos processos de gestão, operação e monitoramento, como também, favorecendo a adequação dos sistemas de abastecimento de água, dando base para escolha do melhor processo e tecnologia a ser empregada na produção de água, utilizando como base o custo para o fornecimento de uma água potável e segura, e não o custo da implantação da tecnologia.

Por fim, a adoção de um Plano de Segurança da Água irá favorecer o bom desempenho dos processos, de forma a garantir a segurança da água por meio de múltiplas barreiras prevenindo a população de doenças de veiculação hídrica; como também, será capaz de promover a saúde, através da implantação de sistemas de engenharia, onde serão empregadas as melhores tecnologias com base na água a ser tratada e distribuída. Diante disso, as regiões metropolitanas brasileiras passam a ter uma solução para questões como a escassez hídrica, alta demanda por água e o tratamento de águas residuais, além de poder garantir o fornecimento de uma água potável e segura à população, possibilitando a adoção de sistemas de reúso potável direto.

7 REFERÊNCIAS

BILA, Daniele *et al.* Estrogenic activity removal of 17 β -estradiol by ozonation and identification of by-products. **Chemosphere**, [s.l.], v. 69, n. 5, p.736-746, out. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.016>.

BITTON, G.; JUNG, K.; KOOPMAN, B. Evaluation of a microplate assay specific for heavy metal toxicity. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**. V. 27, p. 25-28, dez. 1993.

BRASIL. Ministério da Saúde. Lei nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999. **Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências**. Brasília, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas**. Brasília, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de informática do Sistema Único de Saúde (Org.). Caderno de informações de saúde. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/tabdata/cadernos/cadernosmap.htm>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do sistema único de saúde**. Brasília, 2017.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.). **Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2016**. Brasília, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Org). **Farmacopeia Brasileira**. 6ª.ed, vol.1. Brasília: Anvisa, 2019.

BRITTO, Ana Lucia; MAIELLO, Antonella; QUINTSLR, Suyá. Water supply system in the Rio de Janeiro Metropolitan Region: Open issues, contradictions, and challenges for water access in an emerging megacity. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 573, p.1007-1020, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.045>.

CARVALHO, Maria do C. **Manual de cianobactérias planctônicas: Legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais**. São Paulo: Cetesb, 2013. 56 p.

COLLIVIGNARELLI, Carlo. Water safety: one of the primary objectives of our time. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.1-1, 1 jan. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1994>.

COMUNIDADE EUROPEIA (CE). Jornal Oficial das Comunidades Europeia. Diretiva 98/83/CE do Conselho, de 3 de novembro de 1998. **Dispõe da qualidade da água destinada ao consumo humano**. L 330, 1998.

CONANT, Brewster *et al.* A framework for conceptualizing groundwater-surface water interactions and identifying potential impacts on water quality, water quantity, and ecosystems. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 574, p.609-627, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.050>.

D'AGOSTINHO, Adriana; FLUES, Marlene. Determinação do coeficiente de distribuição (Kd) de benzo(a)pireno em solo por isotermas de sorção. **Química Nova**, [s.l.], v. 29, n. 4, p.657-661, jul. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422006000400006>.

DI BERNARDO, Luiz; SABOGAL PAZ, Lyda Patricia. Propriedades e características da água. In: DI BERNARDO, Luiz; SABOGAL PAZ, Lyda Patricia. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDIBE Editora, 2008. Cap. 2. p. 17-81.

DOMINGUEZ-CHICAS, Angelina; SCRIMSHAW, Mark D.. Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: An approach for use in developing Water Safety Plans. **Water Research**, [s.l.], v. 44, n. 20, p.6115-6123, dez. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.007>.

GHISELLI, Gislaine. Avaliação da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público na região de Campinas: ocorrência e determinação dos interferentes endócrinos (IE) e produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PFHP). 2006. 211p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/249644>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

HESPANHOL, Ivanildo. Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. **Revista Usp**, [s.l.], n. 106, p.79-94, 2 set. 2015a. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p79-94>.

HESPANHOL, Ivanildo. A inexorabilidade do reúso potável direto. **Revista Dae**, [s.l.], v. 63, n. 198, p.63-82, 2015b. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.141>.

HESPANHOL, Ivanildo; RODRIGUES, Raphael; MIERZWA, José Carlos. Reúso potável direto - estudo de viabilidade técnica em unidade piloto. **Revista Dae**, [s.l.], v. 67, n. 217, p.103-115, 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.026>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Censo Demográfico 2008. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamentobasico.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

KABIR, Eva Rahman; RAHMAN, Monica Sharfin; RAHMAN, Imon. A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health. **Environmental Toxicology And Pharmacology**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.241-258, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2015.06.009>.

LESKINEN, Piia *et al.* Bioluminescent yeast assays for detecting estrogenic and androgenic activity in different matrices. **Chemosphere**, [s.l.], v. 61, n. 2, p.259-266, out. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.080>.

LI, Hongxing *et al.* Implementation of water safety plans in China: 2004–2018. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [s.l.], v. 223, n. 1, p.106-115, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.10.001>.

MIERZWA, José Carlos *et al.* Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.78-87, mar. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522008000100011>.

MIERZWA, José Carlos. **Desafio para o tratamento de água de abastecimento e o potencial de aplicação do processo de ultrafiltração**. 2009. 123 f. Tese de livre-docente, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MIERZWA, José Carlos (comp.). **Processos de separação por membranas para tratamento de água e efluentes**: aula 2 - classificação dos processos de separação por membranas. São Paulo: Vídeo, 2017. 63 slides, color.

OTOMO, Juliana Ikebe *et al.* Avaliação de política públicas em áreas de mananciais. In: SÃO PAULO. Marcelo Pompêo. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (Org.). **Ecologia de Reservatórios e Interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 460. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/reservatorios/PDF/Livro_todo.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2017.

PEDROSA, Carolina da S. G. *et al.* The cyanobacterial saxitoxin exacerbates neural cell death and brain malformations induced by Zika virus. **Biorxiv**, [s.l.], p.1-1, 4 set. 2019. Cold Spring Harbor Laboratory. <http://dx.doi.org/10.1101/755066>.

REZENDE, Carlos Custódio Santos de. **Reúso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos**. 2010. 259 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-06012011-155627/pt-br.php>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

ROCCARO, Paolo. Treatment processes for municipal wastewater reclamation: The challenges of emerging contaminants and direct potable reuse. **Current Opinion In Environmental Science & Health**, [s.l.], v. 2, p.46-54, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.003>.

RODRIGUES, Cleide; VILLELA, Fernando Nadal Junqueira. Disponibilidade e escassez de água na Grande São Paulo. Elementos-chave para se compreender a origem da atual crise de abastecimento. **Geosp: Espaço e Tempo (Online)**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.399-421, 6 dez. 2015. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2015.111496>.

RÔLA, Anoar Kayali Koubeissi *et al.* Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. **Journal Of Chemical Engineering And Chemistry**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.14-33, 1 out. 2016. Universidade Federal de Vicosa. <http://dx.doi.org/10.18540/2446941602032016014>.

RONDI, Luca *et al.* Sustainability of Water Safety Plans Developed in Sub-Saharan Africa. **Sustainability**, [s.l.], v. 7, n. 8, p.11139-11159, 14 ago. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su70811139>.

SETTY, Karen E. *et al.* Time series study of weather, water quality, and acute gastroenteritis at Water Safety Plan implementation sites in France and Spain. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [s.l.], v. 221, n. 4, p.714-726, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.04.001>.

SHAMSUZZOHA, Md.; KORMOKER, Tapos; GHOSH, Rajan Chandra. Implementation of Water Safety Plan Considering Climatic Disaster Risk Reduction in Bangladesh: A Study on Patuakhali Pourashava Water Supply System. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 212, p.583-590, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.075>.

SILVA, Angela *et al.* Implementação de um Plano de Segurança de Água na cidade de Braga, 17.º Encontro Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 569-576, 2016. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/43255>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

SIMÕES, C. P. P. **Avaliação operacional e remoção de bisfenol-a no tratamento de água por diferentes tipos de membranas: avaliação em escala piloto**. 2016. 202 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/20900>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

SODRÉ, F.F., LOCATELLI, M.A.F., Jardim, W.F., 2010. Occurrence of emerging contaminants in Brazilian drinking waters: a sewage-to-tap issue. **Water Air Soil Pollut**, v. 206, p. 57-67, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-00>.

SORLINI, S.; GIALDINI, F.; COLLIVIGNARELLI, M. C. Survey on full-scale drinking water treatment plants for arsenic removal in Italy. **Water Practice and Technology**, v. 9, n. 1, p. 42-51, 2014. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2014.005>.

SORLINI, Sabrina *et al.* Water Safety Plan for drinking water risk management: the case study of Mortara (Pavia, Italy). **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [s.l.], v. 12, n. 4, p.513-526, 28 jun. 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente.2102>.

SOUZA, Cezarina Maria Nobre. Relação saneamento-saúde-ambiente: os discursos preventivista e da promoção da saúde. **Saúde e Sociedade**, [s.l.], v. 16, n. 3, p.125-137, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-12902007000300012>.

TRAN, Quynh K.; JASSBY, David; SCHWABE, Kurt A.. The implications of drought and water conservation on the reuse of municipal wastewater: Recognizing impacts and identifying mitigation possibilities. **Water Research**, [s.l.], v. 124, p.472-481, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.069>.

United States Environmental Protection Agency. Code of Federal Regulation – 40 CFR – Chapter I (7-1-03 Edition). Part 141 – National Primary Drinking Water Regulations. 2003.

United States Environmental Protection Agency (Org.). **Chemistry dashboard**. 2019. Disponível em: <<https://comptox.epa.gov/dashboard>>. Acesso em: 12 ago. 2019a.

United States National Library of Medicine. National Institutes of Health. Pubchem. 2019b. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

United States Environmental Protection Agency (Org.). **Technical background document - Part 5: chemical specific parameters**. [s.d]. Disponível em: <<https://semspub.epa.gov/work/11/175235.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

VILELA, Caren Leite Spindola; BASSIN, João Paulo; PEIXOTO, Raquel Silva. Water contamination by endocrine disruptors: Impacts, microbiological aspects and trends for environmental protection. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 235, p.546-559, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.098>.

World Health Organization (WHO). **Guidelines for drinking water quality – Fourth edition incorporating the first addendum**. Geneva, 2017a.

World Health Organization (WHO). **Potable reuse: guidance for producing safe drinking water**. Geneva, 2017b.

ANEXO A – COMPARAÇÃO ENTRE RESOLUÇÕES CONAMA 357, 396 E PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5

Comparação dos VMP entre as legislações brasileiras.

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008	PORTARIA DE
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSOLIDAÇÃO Nº5
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO	
Coliformes termotolerantes	qtd/100mL	200	1000	recreação: 2500	Ausentes	Ausentes
				dessedentação: 1000		
				demais: 4000		
Carbono orgânico total	mg/L	-	-	-	-	-
DBO 5,20	mg/L O2	3,0	5,0	10,0	-	-
OD	mg/L O2	> 6,0	> 5,0	> 4,0	-	-
Turbidez	UNT	40	100	100	-	5
Cor	mg Pt/L	-	75	75	-	15
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	-	-
Clorofila a	µg/L	10	30	60	-	-
Densidade cianobactérias	cel/mL	20000	50000	100000	-	1 µg/L (microcistina)
	mm³/L	2,0	5	10,0	-	3 µgSTX/L (saxitoxinas)
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	idem cl. 1	500	1000	1000
Ácidos haloacéticos total	mg/L	-	-	-	-	0,08
Alumínio dissolvido	mg/L	0,1	idem cl. 1	0,2	0,2	0,2
Amônia (como NH3)	mg/L	-	-	-	-	1,5
Antimônio	mg/L	0,005	idem cl. 1	-	0,005	0,005
						Continua

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSUMO HUMANO	
		CL. 1	CL. 2	CL. 3			
Arsênio total	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,033		0,01	0,01
Bário total	mg/L	0,7	idem cl. 1	1,0		0,7	0,7
Berílio total	mg/L	0,04	idem cl. 1	0,1		0,004	-
Boro total	mg/L	0,5	idem cl. 1	0,75		0,5	-
Bromato	mg/L	-	-	-		-	0,01
Cadmio total	mg/L	0,001	idem cl. 1	0,01		0,005	0,005
Chumbo total	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,033		0,01	0,01
Cianeto livre	mg/L	0,005	idem cl. 1	0,022		0,07	0,07
Cloreto total	mg/L	250	idem cl. 1	250		250	250
Clorito	mg/L	-	-	-		-	1
Cloro residual livre	mg/L	-	-	-		-	5
Cloro residual total (combinado+livre)	mg/L	0,01	idem cl. 1	-		-	-
Cloraminas total	mg/L	-	-	-		-	4
Cobalto total	mg/L	0,05	idem cl. 1	0,2		-	-
Cobre dissolvido	mg/L	0,09	idem cl. 1	0,013		2	2
Cromo total	mg/L	0,05	idem cl. 1	0,05		0,05	0,05
Ferro dissolvido	mg/L	0,3	idem cl. 1	5,0		0,3	0,3
Fluoreto total	mg/L	1,4	idem cl. 1	1,4		1,5	1,5

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008	PORTARIA DE
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSOLIDAÇÃO
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO	Nº5
Fósforo total (amb. Lentico)	mg/L	0,02	0,03	0,05	-	-
Fósforo total (amb. Interm.)	mg/L	0,025	0,05	0,075	-	-
Fósforo total (amb. Lótico)	mg/L	0,1	idem cl. 1	0,15	-	-
Lítio total	mg/L	2,5	idem cl. 1	2,5	-	-
Manganês total	mg/L	0,1	idem cl. 1	0,5	0,1	0,01
Mercurio total	mg/L	0,0002	idem cl. 1	0,002	0,001	0,001
Molibdênio	mg/L	-	-	-	0,07	-
Níquel total	mg/L	0,025	idem cl. 1	0,025	0,02	0,07
Nitrato	mg/L	10	idem cl. 1	10,0	10	10
Nitrito	mg/L	1,00	idem cl. 1	1,0	1	1
Nitrogênio amoniacal total: pH ≤ 7,5		3,7	idem cl. 1	13,3	-	-
	7,5 ≤ pH ≤ 8,0	2,0	idem cl. 1	5,6	-	-
	8,0 ≤ pH ≤ 8,5	1,0	idem cl. 1	2,2	-	-
	pH > 8,5	0,5	idem cl. 1	1,0	-	-
Polifosfatos (Fosforo ácido hidrolisável total - fosforo reativo total)						
	mg/L	-	-	-	-	-
Prata total	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,05	0,1	-
Sódio	mg/L	-	-	-	200	200
Selênio total	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,05	0,01	0,01

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSUMO HUMANO	
		CL. 1	CL. 2	CL. 3			
Sulfato total	mg/L	250	idem cl. 1	250	250	250	
Sulfeto total (H ₂ S não dissociado)	mg/L	0,02	idem cl. 1	0,3	-	-	
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	-	-	-	-	-	0,1
Tálio total	mg/L	-	-	-	-	-	-
Urânio total	mg/L	0,02	idem cl. 1	0,02	0,015	0,03	
Vanádio total	mg/L	0,1	idem cl. 1	0,1	0,05	-	
Zinco total	mg/L	0,18	idem cl. 1	5,0	5	5	
Acrilamida	µg/L	0,5	idem cl. 1	-	0,5	0,5	
Alacloro	µg/L	20	idem cl. 1	-	20	20	
Aldicarbe + Aldicarbesulfona + Aldicarbesulfóxido	µg/L	-	-	-	10	10	
Aldrin + Dieldrin	µg/L	0,005	idem cl. 1	0,03	0,03	0,03	
Atrazina	µg/L	2,0	idem cl. 1	2,0	2	2	
Benzeno	mg/L	0,005	idem cl. 1	0,005	0,005	0,005	
Bentazona	µg/L	-	-	-	300	-	
Benzidina	µg/L	0,001	idem cl. 1	-	-	-	
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	-	
Benzo(a)pireno	µg/L	0,05	idem cl. 1	0,7	0,05	0,7	
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	-	
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	-	

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008	PORTARIA DE
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSOLIDAÇÃO
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO	Nº5
Carbaril	µg/L	0,02	idem cl. 1	70	-	-
Carbendazim + benomil	µg/L	-	-	-	-	120
Carbofurano	µg/L	-	-	-	7	7
Clordano (cis + trans)	µg/L	0,04	idem cl. 1	0,3	0,2	0,2
Cloreto de vinila	µg/L	-	-	-	5	2
Clorofórmio	µg/L	-	-	-	200	-
Clorpirifós + clorpirifós-oxon	µg/L	-	-	-	30	30
Clorotalonil	µg/L	-	-	-	30	-
2-Clorofenol	µg/L	0,1	idem cl. 1	-	-	-
Criseno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	-
2,4-D	µg/L	4,0	idem cl. 1	30,0	30	-
Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	µg/L	0,1	idem cl. 1	14,0	-	-
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	-
1,2-Diclorobenzeno	mg/L	-	-	-	1	0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg/L	-	-	-	0,3	0,03
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,01	0,01	0,01
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,003	idem cl. 1	0,22	0,03	0,03
1,2-Dicloroetano (cis + trans)	µg/L	-	-	-	-	50
2,4-Diclorofenol	µg/L	0,3	idem cl. 1	-	-	-
						Continua

Continua

Continua

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSUMO HUMANO	
		CL. 1	CL. 2	CL. 3			
Diclorometano	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	0,02
Di(2-etilhexil) ftalato	µg/L	-	-	-	-	-	8
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	µg/L	0,002	idem cl. 1	1,0	2	2	1
Diuron	µg/L	-	-	-	-	-	90
Dodecácloro pentaciclodecano	µg/L	0,001	idem cl. 1	0,001	-	-	-
Endossulfan (a + b + sulfato)	µg/L	0,056	idem cl. 1	0,22	-	-	20
Endrin	µg/L	0,004	idem cl. 1	0,2	0,6	0,6	0,6
Estireno	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	0,02
Etilbenzeno	µg/L	90	idem cl. 1	-	200	200	200
Fenóis totais (substancias que reagem com 4-aminoantipirina)	mg/L C6H5OH	0,003	idem cl. 1	0,01	0,003	0,003	-
Glifosato	µg/L	65	idem cl. 1	280	500	500	500
Gutíon	µg/L	0,005	idem cl. 1	0,005	-	-	-
Heptacloro epóxido + Heptacloro	µg/L	0,01	idem cl. 1	0,03	-	-	-
Hexaclorobenzeno	µg/L	0,0065	idem cl. 1	-	1	1	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	µg/L	0,05	idem cl. 1	-	0,05	0,05	-
Lindano (gama-HCH)	µg/L	0,02	idem cl. 1	2,0	2	2	2
Malation	µg/L	0,1	idem cl. 1	100	190	190	-
Mancozebe	µg/L	-	-	-	-	-	180

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008	PORTARIA DE
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA	CONSOLIDAÇÃO
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO	Nº5
Metamidofós	µg/L	-	-	-	-	12
Metolaclo	µg/L	10,0	idem cl. 1	-	10	10
Metoxicloro	µg/L	0,03	idem cl. 1	20,0	20	-
Molinato	µg/L	-	-	-	6	6
Monoclorobenzeno	mg/L	-	-	-	-	0,12
Paration	µg/L	0,04	idem cl. 1	35,0	-	-
Parationa Metílica	µg/L	-	-	-	-	9
Pendimentalina	µg/L	-	-	-	20	20
Permetrina	µg/L	-	-	-	20	20
Profenofós	µg/L	-	-	-	-	60
Propanil	µg/L	-	-	-	20	-
PCBs - Bifenilas policloradas	µg/L	0,001	idem cl. 1	0,001	0,5	-
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	idem cl. 1	0,009	0,009	0,009
Simazina	µg/L	2,0	idem cl. 1	-	2	2
Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	mg/L LAS	0,5	idem cl. 1	0,5	-	-
Surfactantes (como LAS)	mg/L	-	-	-	-	0,5
2,4,5-T	µg/L	2,0	idem cl. 1	2,0	-	-
Tebuconazol	µg/L	-	-	-	-	180
						Continua

Continua

Continuação

PARÂMETROS	UNID.	CONAMA 357 DE 2005			CONAMA 396 DE 2008		PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5
		ÁGUAS SUPERFICIAIS			ÁGUA SUBTERRÂNEA		
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CONSUMO HUMANO		
Terbufós	µg/L	-	-	-	-	-	1,2
Tetracloreto de carbono	mg/L	0,002	idem cl. 1	0,003	0,002	0,004	0,004
Tetracloroeteno	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,01	0,04	0,04	0,04
Trifluralina	µg/L	-	-	-	20	20	20
Trihalometanos total	mg/L	-	-	-	-	-	0,1
Tolueno	µg/L	2,0	idem cl. 1	-	170	170	170
Toxafeno	µg/L	0,01	idem cl. 1	0,21	-	-	-
2,4 D + 2,4,5 T	µg/L	-	-	-	-	-	30
2,4,5-TP	µg/L	10,0	idem cl. 1	10,0	-	-	-
Tributilestanho	µg/L TBT	0,063	idem cl. 1	2,0	-	-	-
Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	mg/L	0,02	idem cl. 1	-	0,02	0,02	0,02
1,1,2-Tricloroeteno	µg/L	-	-	-	70	-	-
Tricloroeteno	mg/L	0,03	idem cl. 1	0,03	-	-	0,02
2,4,6-Triclorofenol	mg/L	0,01	idem cl. 1	0,01	-	-	0,2
Trifluralina	µg/L	0,2	idem cl. 1	-	-	-	-
Xileno	µg/L	300	idem cl. 1	-	300	300	300

Fonte: Brasil, 2005; Brasil, 2008; Brasil, 2011.

ANEXO B – RESULTADOS DAS ANÁLISES DO EFLUENTE DA ETE CAPIVARI II SEGUNDO PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº5 DE 2017

Resultados para o arranjo: osmose reversa seguido de cloração.

Parâmetros	Unidade	VMP	Osmose + Cloração				
			13/julho		20/julho		
			A1	A3	A5	A3	A5
Ácidos Haloacéticos Totais	mg/L	0,08	< 0,033	< 0,033	< 0,033	0,035	< 0,033
Alumínio	mg/L	0,2	0,0245	0,00329	0,00276	< 0,001	< 0,001
Bário	mg/L	0,7	0,0668	0,00232	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Cloraminas Totais	mg/L	4	< 0,01	< 0,01	0,29	< 0,01	0,14
Cloreto	mg/L	250	83,1	3,53	3,28	0,81	3,29
Cloro Residual Livre	mg/L	5	< 0,01	< 0,01	1,21	< 0,01	1,34
Cobre	mg/L	2	0,00425	< 0,001	0,0144	< 0,001	0,00734
Coliformes Totais	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	96	26	6	4	< 1
Cor Aparente	UC	15	40	< 5	< 5	< 5	< 5
Dureza Total	mg/L	500	72,1	< 5	< 5	< 5	< 5
<i>Escherichia coli</i>	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Ferro	mg/L	0,3	0,052	0,039	0,0159	< 0,001	< 0,001
Fluoreto	mg/L	1,5	0,85	< 0,1	< 0,1	0,27	< 0,1
Manganês	mg/L	0,1	0,0604	0,00211	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	0,07	0,00362	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10	3,63	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,75
pH (a 25°C)		6,0 – 9,5	6,65	6,46	5,82	5,74	5,64
Sódio	mg/L	200	73,9	4,16	3,59	1,21	2,97
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	316	7	18	9	< 5
Sulfato	mg/L	250	52	1,56	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Turbidez	NTU	5	1,37	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zinco	mg/L	5	0,0674	0,0358	0,0385	< 0,001	< 0,001

Fonte: Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).

Resultados para o arranjo: osmose reversa seguido de carvão ativado e cloração.

Parâmetros	Unidade	VMP	Osmose + Carvão + Cloração				
			27/julho		03/agosto		
			A4	A5	A4	A5	
Ácidos Halocéticos Totais	mg/L	0,08	< 0,033	< 0,033	< 0,033	< 0,033	
Alumínio	mg/L	0,2	0,00483	0,0049	0,0108	0,0139	
Bário	mg/L	0,7	< 0,001	< 0,001	0,00141	0,00122	
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Cloraminas Totais	mg/L	4	< 0,01	0,17	< 0,01	0,12	
Cloreto	mg/L	250	0,78	3,04	0,81	3,37	
Cloro Residual Livre	mg/L	5	< 0,01	1,2	< 0,01	1,31	
Cobre	mg/L	2	0,00929	0,0101	0,0104	0,0132	
Coliformes Totais	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	6	3	< 1	< 1	
Cor Aparente	UC	15	< 5	< 5	< 5	< 5	
Dureza Total	mg/L	500	< 5	< 5	< 5	< 5	
<i>Escherichia coli</i>	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Ferro	mg/L	0,3	0,0131	0,0118	< 0,001	0,0151	
Fluoreto	mg/L	1,5	< 0,1	0,19	0,2	0,17	
Manganês	mg/L	0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,00116	
Níquel	mg/L	0,07	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Nitrato (como N)	mg/L	10	1,48	0,53	< 0,5	< 0,5	
pH (a 25°C)		6,0 – 9,5	5,56	5,68	6,03	6,04	
Sódio	mg/L	200	1,61	3,5	1,7	3,81	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	19	31	34	32	
Sulfato	mg/L	250	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
Turbidez	NTU	5	0,12	0,34	0,11	< 0,1	
Zinco	mg/L	5	0,00676	0,00844	0,0396	0,0493	

Fonte: Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).

Resultados para o arranjo: osmose reversa seguido de ultravioleta e cloração.

Parâmetros	Unidade	VMP	Osmose + UV + Cloração				
			10/agosto		24/agosto		
			A1	A4	A5	A4	A5
Ácidos Haloacéticos Totais	mg/L	0,08	< 0,033	< 0,033	< 0,033	< 0,033	< 0,033
Alumínio	mg/L	0,2	0,0122	0,00665	0,00706	< 0,001	< 0,001
Bário	mg/L	0,7	0,0567	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	0,00138	0,00128	0,00117
Cloraminas Totais	mg/L	4	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,09
Cloreto	mg/L	250	100	1,69	5,29	0,6	4,14
Cloro Residual Livre	mg/L	5	< 0,01	< 0,01	1,07	< 0,01	1,14
Cobre	mg/L	2	0,00191	0,0286	0,0283	0,233	0,0202
Coliformes Totais	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	3600	1	1	1	1
Cor Aparente	UC	15	40	< 5	< 5	< 5	< 5
Dureza Total	mg/L	500	76,1	< 5	< 5	< 5	< 5
<i>Escherichia coli</i>	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Ferro	mg/L	0,3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,0115	0,00874
Fluoreto	mg/L	1,5	0,62	0,24	0,11	< 0,1	< 0,1
Manganês	mg/L	0,1	0,0561	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	0,07	0,00159	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10	< 0,5	0,69	0,71	< 0,5	< 0,5
pH (a 25°C)		6,0 – 9,5	6,99	6,36	6,42	5,47	5,61
Sódio	mg/L	200	75,2	2,16	4,81	1,27	3,83
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	366	10	19	13	13
Sulfato	mg/L	250	62,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Turbidez	NTU	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zinco	mg/L	5	0,0214	0,0156	0,0155	< 0,001	< 0,001

Fonte: Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).

Resultados para o arranjo: osmose reversa seguido de ultravioleta, carvão ativado e cloração.

Parâmetros	Unidade	VMP	Osmose + UV + Carvão + Cloração				
			31/agosto		06/setembro		
			A4	A5	A4	A5	
Ácidos Haloacéticos Totais	mg/L	0,08	< 0,033	< 0,033	< 0,033	< 0,033	
Alumínio	mg/L	0,2	0,00879	0,00851	0,00313	0,00198	
Bário	mg/L	0,7	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Chumbo	mg/L	0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Cloraminas Totais	mg/L	4	< 0,01	0,07	< 0,01	0,05	
Cloreto	mg/L	250	0,86	1,6	1,22	2,29	
Cloro Residual Livre	mg/L	5	< 0,01	0,87	< 0,01	1,25	
Cobre	mg/L	2	0,0143	0,0143	0,0108	0,0108	
Coliformes Totais	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Bactérias Heterotróficas	UFC/mL	500	< 1	< 1	32	10	
Cor Aparente	UC	15	< 5	< 5	< 5	< 5	
Dureza Total	mg/L	500	< 5	< 5	< 5	< 5	
<i>Escherichia coli</i>	P/ A 100mL	Ausência	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Ferro	mg/L	0,3	0,0452	0,029	< 0,001	< 0,001	
Fluoreto	mg/L	1,5	0,27	0,24	< 0,1	< 0,1	
Manganês	mg/L	0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Níquel	mg/L	0,07	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Nitrato (como N)	mg/L	10	< 0,05	0,6	0,52	0,56	
pH (a 25°C)		6,0 – 9,5	6,68	6,52	6,04	6,03	
Sódio	mg/L	200	1,7	2,37	0,724	1,62	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1000	24	16	14	13	
Sulfato	mg/L	250	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	
Turbidez	NTU	5	0,41	0,12	< 0,1	0,21	
Zinco	mg/L	5	0,00631	0,00858	0,0379	0,0355	

Fonte: Hespanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).

ANEXO C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DO EFLUENTE DA ETE CAPIVARI II SEGUNDO INDICADOR N-NDMA

Resultado para todos os arranjos segundo o indicador N-NDMA.			
Todos os arranjos			
Parâmetros	Unidade	LQ/Faixa	Todas as amostras
Álcool Benzílico	µg/L	1	< 1
3+4-Metilfenol (m+p-Cresol)	µg/L	2	< 2
2-Naftilamina	µg/L	1	< 1
Pentaclorobenzeno	µg/L	1	< 1
Bromofenoxibenzeno	µg/L	1	< 1
Hexaclorobenzeno	µg/L	1	< 1
Pentaclorofenol	µg/L	0,5	< 0,5
Propizamida	µg/L	1	< 1
Fenantreno	µg/L	0,05	< 0,05
Antraceno	µg/L	0,05	< 0,05
Carbazole	µg/L	1	< 1
Dibutilftalato	µg/L	1	< 1
Pireno	µg/L	0,05	< 0,05
Fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,05
Butil Benzil Ftalato	µg/L	1	< 1
Benzo(a)antraceno	µg/L	0,05	< 0,05
Criseno	µg/L	0,05	< 0,05
Di(2-etilhexil)ftalato	µg/L	1	< 1
Di-n-octilftalato	µg/L	1	< 1
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,05
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	0,05	< 0,05
Benzo(a)pireno	µg/L	0,05	< 0,05
3-Metilcolantreno	µg/L	1	< 1
Dibenzo(a,h)acridina	µg/L	1	< 1
Benzo(g,h,i)perileno	µg/L	0,05	< 0,05
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	0,05	< 0,05
Fenol	µg/L	0,1	< 0,1
Continua			

Continuação	Todos os arranjos		
	Parâmetros	Unidade	Todas as amostras
	1,2-Diclorobenzeno	µg/L	1
	1,3-Diclorobenzeno	µg/L	1
	1,4-Diclorobenzeno	µg/L	1
	Hexacloroetano	µg/L	1
	1-Nitrosopiperidina	µg/L	1
	Bis(2-Cloroetoxi)metano	µg/L	1
	2,4-Diclorofenol	µg/L	1
	1,2,4-Triclorobenzeno	µg/L	1
	Naftaleno	µg/L	0,05
	Hexaclorobutadieno	µg/L	0,5
	4-Cloro-3-Metilfenol	µg/L	1
	2-Metilnaftaleno	µg/L	1
	1,2,4,5- Tetraclorobenzeno	µg/L	1
	2,4,6- Triclorofenol	µg/L	1
	2,4,5-Triclorofenol	µg/L	1
	1-Cloronaftaleno	µg/L	1
	o-Nitroanilina	µg/L	1
	Dimetil Ftalato	µg/L	1
	Acenaftileno	µg/L	0,05
	Acenafteno	µg/L	0,05
	Dibenzofurano	µg/L	1
	2,3,4,6- Tetraclorofenol	µg/L	0,1
	Dietil Ftalato	µg/L	1
	Fluoreno	µg/L	0,05
	1-Cloro-4-fenoxibenzeno	µg/L	1
	2-Metil-4,6-dinitrofenol	µg/L	1
	2,6-Diclorofenol	µg/L	1
	Hexaclorociclopentadieno	µg/L	1
	m-Nitroanilina	µg/L	1
	p-Nitroanilina	µg/L	1
	Continua		

Continuação			Todos os arranjos	
Parâmetros	Unidade	LQ/Faixa	Todas as amostras	
Difenilamina	µg/L	1	< 1	
Fenacetin	µg/L	1	< 1	
Pentacloronitrobenzeno	µg/L	1	< 1	
2-Metilfenol (o-Cresol)	µg/L	1	< 1	
Acetofenona	µg/L	1	< 1	
2,4-Dimetilfenol	µg/L	1	< 1	
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L	0,05	< 0,05	

Fonte: Hspanhol; Rodrigues; Mierzwa, (2019).