



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS NATURAIS E TECNOLOGIAS  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

**JOSÉ FERNANDO FERREIRA VIEIRA**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA REMOÇÃO  
DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL  
EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DE CICLO COMPLETO  
NA UGRHI-10 (BACIA DO RIO SOROCABA E MÉDIO-TIETÊ)**

**RIBEIRÃO PRETO**

**2018**

**JOSÉ FERNANDO FERREIRA VIEIRA**

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA REMOÇÃO  
DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL  
EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DE CICLO COMPLETO  
NA UGRHI-10 (BACIA DO RIO SOROCABA E MÉDIO-TIETÊ)**

Defesa apresentada à Universidade de  
Ribeirão Preto como requisito para a  
obtenção do título de Mestre em Tecnologia  
Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Angela Di Bernardo  
Dantas

**RIBEIRÃO PRETO**

**2018**

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento  
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

Vieira, José Fernando Ferreira, 1959-  
V658a Avaliação comparativa da remoção de carbono orgânico total  
em estações de tratamento de água de ciclo completo na ugrhi-10  
(Bacia do rio Sorocaba e Médio-Tietê) / José Fernando Ferreira  
Vieira. – Ribeirão Preto, 2018.

98 f.: il. color.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Angela Di Bernardo Dantas.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Ribeirão Preto,  
UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2018.

1. Estação de tratamento de água. 2. Qualidade da água.

3. Carbono orgânico total. Título.

CDD 628

JOSÉ FERNANDO FERREIRA VIEIRA  
" AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA REMOÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO  
TOTAL EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CICLO  
COMPLETO NA UGRHI-10(BACIA DO RIO SOROCABA E MÉDIO-TIETÊ)".

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre pelo programa de Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientadora: Profa. Ângela Di Bernardo Dantas

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 04 de maio de 2018

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Ângela Di Bernardo Dantas  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP  
Presidente



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de Oliveira  
Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP



Profa. Dra. Eny Maria Vieira  
Instituto de Química de São Carlos - IQSC

Ribeirão Preto  
2018

## **AGRADECIMENTOS**

Aos pouquíssimos que realmente colaboraram de alguma forma, agradeço de coração, porque recompensa eles já têm, somente por ser quem são e, bem sabem quem são, dispensando, portanto nomeações nem sempre tão justas;

Aos inúmeros inertes, que nem se importaram e nem atrapalharam, agradeço também por serem e naturalmente merecerem o que são;

Agora, aos que eu mais efusivamente agradeço com todas as minhas forças reais e inimagináveis, são os que me criticaram e reiteradamente intentaram me desanimar, porque foram e serão enésimo motivo de minha dedicação e por consequência lógica, permitindo o alcance do sucesso seguro e esperado ao final, para honra e glória de Jesus Cristo.

E o principal e mais verdadeiro motivo, muito antes do enésimo, foi e sempre será nesta ordem de importância:

- DEUS !

## RESUMO

O carbono orgânico total (COT) é considerado o parâmetro mais conveniente para quantificar o carbono orgânico presente nas águas, pois independe do estado de oxidação da matéria orgânica e não mede outros elementos ligados à cadeia dos compostos orgânicos tais como nitrogênio e hidrogênio, além de compostos inorgânicos que contribuem para a medida dos parâmetros DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e oxigênio consumido. Apesar do padrão de potabilidade em vigência no Brasil (Anexo XX da Portaria PCR n. 5 do Ministério da Saúde) não estabelecer um valor máximo permitido para este parâmetro, seu monitoramento nas ETA's pode servir para indicar indiretamente a remoção de possíveis microcontaminantes orgânicos, incluindo os que se encontram em águas residuárias e industriais, tratadas ou "in natura", substâncias húmicas, agrotóxicos, hormônios, fármacos, microalgas e cianobactérias, cianotoxinas, dentre outros. Neste contexto, foram avaliadas quatro ETA's de ciclo completo no estado de São Paulo, no período de um ano, em períodos de chuva e de estiagem, para a análise comparativa das eficiências de remoção de COT e de outros parâmetros de qualidade nas águas brutas e ao longo do tratamento. Os valores de COT da água bruta variaram devido ao tipo de atividade na bacia, uso e ocupação do solo, lançamento de esgotos sanitários, proteção ambiental e regime de chuvas. Os resultados mostraram que o tratamento em ciclo completo, nas condições de operação das ETA's investigadas, foi capaz de reduzir as concentrações de COT em no máximo 50%. A ETA que capta água bruta do manancial com água de pior qualidade teve a menor eficiência de remoção de COT, mesmo com a produção de água filtrada com turbidez e cor aparente em conformidade o padrão de potabilidade. Os resultados servem de alerta para que os responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de serviços de água complementem os tratamentos das ETA's em ciclo completo que tratam água de mananciais contaminados com o uso de carvão ativado, processos oxidativos avançados e/ou membranas, para melhoria da qualidade da água distribuída e redução dos riscos orgânicos à saúde pública.

**Palavras-chave:** Estação de tratamento de água. Tratamento em ciclo completo. Carbono orgânico total. Qualidade da água.

**COMPARATIVE EVALUATION OF REMOVAL OF ORGANIC CARBON TOTAL IN  
WATER TREATMENT STATIONS OF COMPLETE CYCLE IN THE UGRHI-10  
(SOROCABA RIVER AND MEDIUM-TIETÊ HIDROGRAFIC BASIN)**

**ABSTRACT**

Total organic carbon (TOC) is considered the most convenient parameter to quantify the organic carbon present in the waters, since it does not measure the oxidation state of the organic matter and does not measure other elements linked to the organic compounds chain such as nitrogen and hydrogen, besides inorganic compounds that contribute to the measurement of the parameters BOD (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand) and oxygen consumed. In spite of the potability standards in force in Brazil (Annex XX of Ministry of Health Regulation No. 5 of the Ministry of Health) do not establish a maximum value allowed for this parameter, its monitoring in the ETAs can serve to indirectly indicate the removal of possible organic microcontaminants, including those found in wastewater and industrial waters, treated or "in natura", humic substances, agrochemicals, hormones, drugs, microalgae and cyanobacteria, cyanotoxins, among others. In this context, were evaluated in four full-cycle ETAs in the state of São Paulo, in a period of one year, in periods of rain and drought, for the comparative analysis of the removal efficiencies of TOC and other quality parameters in the raw waters and throughout the treatment. TOC values for raw water varied due to the type of activity in the basin, land use and occupation, sanitary sewage disposal, environmental protection and rainfall regime. The results showed that the full cycle treatment, under the operating conditions of the investigated ETAs, was able to reduce the concentrations of TOC by up to 50%. The ETA that captures raw water from the spring with lower quality water had the lowest COT removal efficiency, even with the production of filtered water with turbidity and apparent color in accordance with the potability standard. The results serve as a warning for those responsible for the operation of water supply systems to complement the treatments of the full cycle ETAs that treat water from springs contaminated with the use of activated carbon, advanced oxidative processes and / or membranes for improvement the quality of the water distributed and the reduction of organic risks to public health.

**Keywords:** Water treatment station. Full cycle treatment. Total organic carbon. Water quality

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	2
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivo Geral .....	15
2.2. Objetivos Específicos .....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1. Qualidade das Águas .....	16
3.1.1. Origem do carbono orgânico total nas águas .....	18
3.1.2. Recursos hídricos e poluição.....	22
3.1.3. Qualidade de Água para Consumo Humano .....	25
3.1.4. Poluentes Orgânicos Emergentes e Poluentes Orgânicos Persistentes .....	39
3.1.5. Legislação aplicável .....	41
3.2. Tratamento de Água e remoção de Carbono Orgânico Total.....	44
3.2.1. Tecnologias de tratamento de água .....	44
3.2.2. Remoção de Carbono Orgânico Total no Tratamento de Água .....	49
4. METODOLOGIA .....	53
4.1 Caracterização da área de estudo.....	53
4.1.1 Características gerais da Bacia Hidrográfica UGRHI-10.....	53
4.2. Análise da qualidade da água bruta afluente às ETA's (ICTEM, IQA e IAP).....	61
4.3. Coleta e caracterização das amostras de água bruta e de água filtrada .....	63
4.4. Análise Estatística e qualidade das águas bruta e filtrada das.....	67
5. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	68
5.1. Características da Bacia Hidrográfica e Análise ICTEM, IQA e IPA.....	68
5.2. Dados Técnicos das ETA's .....	71
5.3 Resultados das Análises Laboratoriais das Amostras coletadas.....	74
5.4 Resultado da Análise de Variância (ANOVA).....	79
6. CONCLUSÕES.....	85
7. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	87
REFERÊNCIAS .....	90



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de tratamento de água no Brasil .....	17
Figura 2 - Mapa da Hidrografia - UGRHI 10 .....	26
Figura 3 - Classes de Enquadramento .....	26
Figura 4 - Diagrama Unifilar - Rio Sorocaba e Rio Ipanema - Classe 2 .....	27
Figura 5 - Esquema ilustrativo do tratamento integrado .....	32
Figura 6 - Municípios sem rede coletora de esgoto.....	34
Figura 7- Proporção de distritos com tratamento de esgoto.....	35
Figura 8 - Esgoto coletado e tratado .....	35
Figura 9 - Corpo receptor de esgoto não tratado e uso a jusante .....	36
Figura 10 - Percentual de municípios por fonte de poluição.....	36
Figura 11 - Pontos de ameaças à saúde pública .....	37
Figura 12 - Internações hospitalares por doenças x saneamento .....	37
Figura 13 - Pontos de ameaças aos recursos hídricos.....	38
Figura 14 - Esquema ilustrativo do tratamento integrado.....	45
Figura 15 - Tecnologias de tratamento de água com e sem coagulação química.....	46
Figura 16 - Esquema de ETA de ciclo completo com decantação .....	47
Figura 17 - Fluxograma de Tratamento de ETA Ciclo Completo.....	47
Figura 18 - Regiões Hidrográficas) e UGRHI's de SP.....	53
Figura 19 - Localização das UGRHI's de SP.....	54
Figura 20 - Municípios da UGRHI 10 .....	54
Figura 21 - Sub Bacias da UGRHI 10.....	55
Figura 22 - Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê.....	55
Figura 23 - Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê.....	56
Figura 24 - Uso da terra no Estado de São Paulo.....	58
Figura 25 - Uso do solo no Estado de São Paulo.....	58
Figura 26 - Índice Coleta Tratabilidade de Esgotos nos municípios de SP 2016 .....	59
Figura 27 - Mapa de localização do município .....	60
Figura 28 - Municípios com Estação de Tratamento de Esgoto.....	61
Figura 29 - Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos do Município .....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 30 - Índice de Qualidade da Água - ano 2016.....	62
Figura 31 - Índice de Água bruta para fins de abastecimento público.....	62
Figura 32 - Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público.....	63
Figura 33 - Amostras em garrafas plásticas identificadas .....	64
Figura 34 - Medidor de COT Laboratório UNAERP.....	65
Figura 35 - Medidor de cor do Laboratório UNAERP .....	66
Figura 36 - Medidor de turbidez do Laboratório UNAERP.....	66
Figura 37 - Municípios com Estação de Tratamento de Esgoto.....	69
Figura 38 - Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos do Município .....	69
Figura 39 - Índice de Qualidade da Água - ano 2016.....	70
Figura 40 - Índice de Água bruta para fins de abastecimento público.....	70
Figura 41 - Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público.....	71
Figura 42 - Valores de Absorbância a 254 nm das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	74
Figura 43 - Valores de cor aparente das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	75
Figura 44 - Valores de Turbidez das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	76
Figura 45 - Valores de Ferro das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	76
Figura 46 - Valores de Manganês das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	77
Figura 47 - Valores de pH das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	78
Figura 48 - Valores de Carbono Orgânico Total das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	78
Figura 49 - Percentual de Remoção de COT nas amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018 .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de carbono encontrado em amostras de água .....	20
Tabela 2 - Porcentagem de remoção de COT no tratamento em ciclo completo (Adaptado pelo Autor) .....	30
Tabela 3 - Características da Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê .....	57
Tabela 4 - Equipamentos do laboratório da UNAERPutilizados nos ensaios.....	64
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção.....	65
Tabela 6 - Análise de Variância (ANOVA) da remoção de Carbono Orgânico Total nas ETA's 1,2,3 e 4. ....	80
Tabela 7- Teste de <i>Tukey</i> para identificar grupo com diferença significativa entre as ETA's 1, 2, 3 e 4.....	80
Tabela 8 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 1 .....	81
Tabela 9 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 2. ....	82
Tabela 10 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 3 .....	83
Tabela 11 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 4 .....	83
Tabela 12 - Comparação dos parâmetros de potabilidade analisados das amostras de água .....	84

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANA - Agência Nacional da Água  
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária  
AHA - Ácidos Haloacéticos  
APHA - *American Public Health Association*  
AWWA - *American Water Works Association*  
BAG's - sacolas plásticas para transporte e/ou armazenamento de materiais  
BOD - *Biochemical Oxygen Demand*  
BPF- Boas Práticas de Fabricação  
BRUTA - Água Bruta  
CBH-SMT - Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê  
CEN-EU - European Committee for Standardization  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CO - Carbono Orgânico  
COD - Carbono Orgânico Dissolvido  
COD - *Chemical Oxygen Demand*  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente  
COP - Carbono Orgânico Particulado  
COT - Carbônico Orgânico Total  
CO<sup>2</sup> - Dióxido de Carbono  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DBP - *Disinfection by Products*  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
EPA - *Environmental Protection Agency*  
ETA - Estação de Tratamento de água  
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto  
ETR - Estação de Tratamento de Resíduos  
EU - União Européia  
FDA - Filtração direta ascendente

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FDD - Filtração direta descendente

FILTRADA - Água Filtrada (tratada sem desinfecção)

H<sup>2</sup>O - Água

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICTEM -Índice de coleta e tratabilidade de esgoto urbano do município

IPA - Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de abastecimento público

IQA - Índice de Qualidade das Águas

ISO - *International Standardization Organization*

IWA -*The International Water Association*

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MON - Matéria Orgânica Natural

MS - Ministério da Saúde do Brasil

ng/L- Nanogramas por Litro

NOM-*Natural OrganicMatter*

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

PAC -Hidroxidreto de Alumínio

pH - Potencial Hidrogeno-lônico

PNUMA- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

POA's - Processos Oxidativos Avançados

POE's - Poluentes Orgânicos Emergentes

POL - Polímero de Acrilamida não iônico

POP - Poluentes Orgânicos Persistentes

PRC- Portaria de Consolidação

PSA – Plano de Segurança de Água

PVC - Policloreto de polivinil

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

RE - Resolução da ANVISA

*RUN-OFF* -Escoamento Superficial

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEDEX - Serviço de encomenda expressa de documentos e mercadorias

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas  
SIGH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo  
SISAGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano  
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
SOH - Subproduto Organo Halogenado  
STS - *Sewage Treatment Station*  
THM - Trialometanos  
TTHM - Total de Trialometano  
UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
UE - União Européia (EU)  
UNAERP - Universidade de Ribeirão Preto  
UNEP - *United Nations Environment Programme*  
UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância  
*UN Water - United Nations Water*  
USA - United States of America  
USEPA - *United States Environmental Protection Agency*  
VMP - Valor Máximo Permitido  
WHO - *World Health Organization*  
WTS - Water Treatment Station  
WWQA - *The World Water Quality Assessment*  
µg/L - Microgramas por Litro  
ng/L - Nanogramas por Litro

## 1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico (CO) em água é composto por uma variedade de compostos orgânicos em vários estados de oxidação, sendo que alguns deles podem ser ainda oxidados por processos biológicos ou químicos. O carbono orgânico total (COT) é considerado o parâmetro mais conveniente para quantificar o CO presente nas águas, pois independe do estado de oxidação da matéria orgânica e não mede outros elementos ligados à cadeia dos compostos orgânicos tais como nitrogênio e hidrogênio, além de compostos inorgânicos que contribuem para a medida pela DBO e DQO e oxigênio dissolvido (DI BERNARDO et al. 2017).

A presença de contaminantes orgânicos na água pode servir como nutrientes para o crescimento indesejável de microrganismos, contribuir para a formação de compostos orgânicos halogenados ou até mesmo inviabilizar o processo de tratamento. Muitos mananciais no Brasil apresentam considerável concentração de COT e de outros contaminantes inorgânicos e microbiológicos em suas águas. A possibilidade da existência de uma matriz de microcontaminantes orgânicos e de seus metabólitos na água distribuída à população é enorme e preocupante, uma vez que as ETAs com a tecnologia de ciclo completo dificilmente garantem a remoção eficiente destes compostos.

A análise de COT é um requisito técnico vigente em águas de abastecimento público em países europeus, de acordo com diretiva nº. 1787 da União Européia, de 06 de Outubro de 2015, que estabelece limite de  $3,0 \text{ mgL}^{-1}$  para água após o tratamento. Na Columbia Britânica (Canadá), a normativa sobre a qualidade da água potável estabelece como limite máximo aceitável a concentração de  $4 \text{ mgL}^{-1}$  após o tratamento (BRITISH COLUMBIA, 2016). Nos Estados Unidos, *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental) recomenda o valor máximo de  $2,0 \text{ mgL}^{-1}$  quando do uso do cloro na desinfecção para evitar a formação de subprodutos orgânicos halogenados (trialometanos e ácidos haloacéticos), USEPA (1999a). Nestas normativas, os valores máximos permitidos de COT normalmente se referem a matéria orgânica natural, situação diferente do tratamento de águas provenientes de mananciais contaminados, que caracterizam a condição de reuso indireto não programado em muitas ETAs do Brasil.

O entendimento da eficiência de remoção de COT nas ETA's no contexto brasileiro poderá servir de referência para a recomendação de valores máximos da concentração de COT na água filtrada, e também servir de alerta para que os responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de serviços de água complementem os tratamentos das ETA's em ciclo completo com o uso de carvão ativado, processos oxidativos e/ou membranas, para melhoria da qualidade da água distribuída (DI BERNARDO et al. 2017).



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de remoção de carbono orgânico total em 4 (quatro) ETA's de tecnologia de tratamento em ciclo completo na UGRHI – 10 (Rio Sorocaba e Médio Tietê), que tratam águas brutas com diferentes características e sob condições hidráulicas e químicas distintas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a bacia em estudo, com informações sobre os mananciais em uso e respectivas sub-bacias;
- Analisar a qualidade da água bruta afluente às ETA's selecionadas através do ICTEM /IQA/ IPAna bacia, sub-bacia e no período de estudo;
- Caracterizar as amostras de águas bruta e filtradas das ETA's no período de estudo;
- Analisar estatisticamente os resultados e a correlação das características das ETA's com a qualidade da água bruta e eficiência de remoção de COT obtida.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS

A disponibilidade hídrica, considerando a variável *runoff* (escoamento superficial) e ainda o tão mencionado e atual *stress* (cansaço) hídrico, determinam a qualidade das águas que são fundamentais ao desenvolvimento socioeconômico e à saúde pública. A conservação e recuperação dos recursos hídricos necessitam estar no centro das discussões do planejamento urbano. A UGRHI 10 deve priorizar a questão da água nos próximos anos, tendo em vista o crescimento econômico da região, afirmado pela implantação da Região Metropolitana de Sorocaba, no ano de 2014.

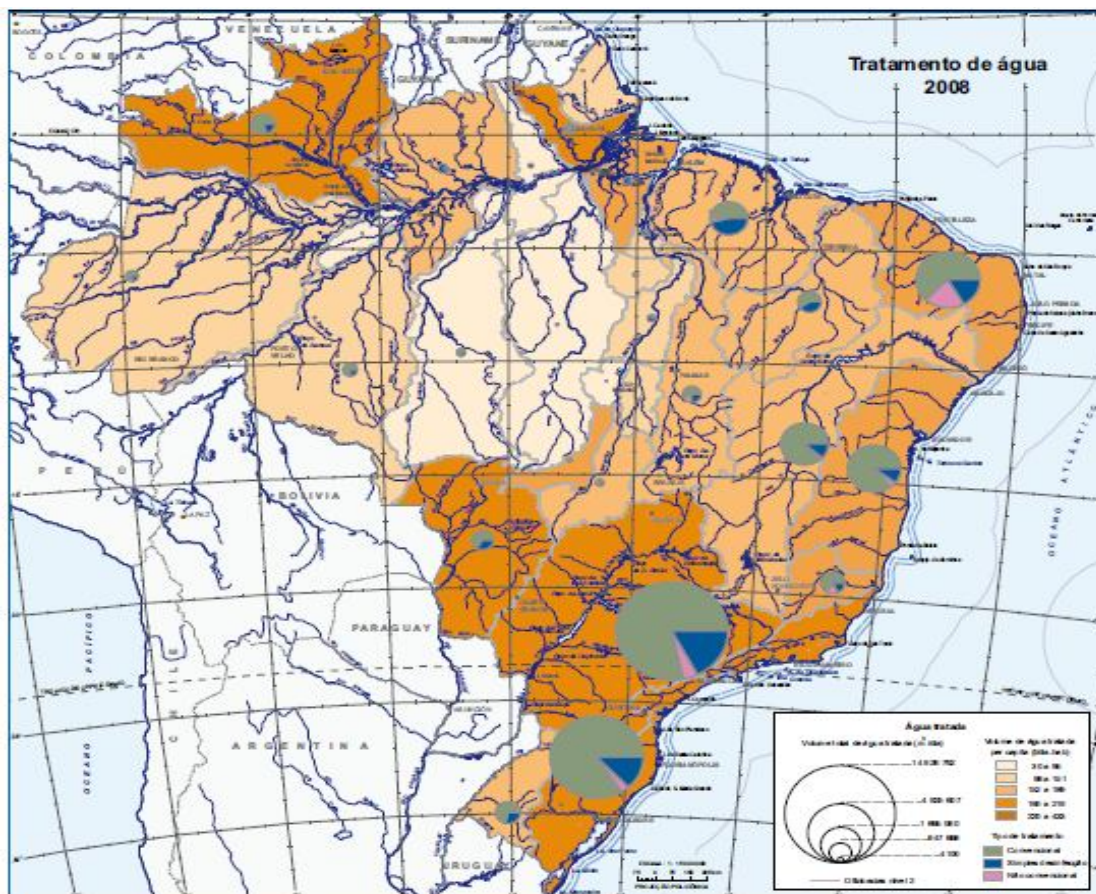
De acordo com Bastos *et al.* (2007) apud Bernardo e Paz (2010), os mecanismos de monitoramento da água por controle laboratorial não são suficientes para garantir a qualidade da água e a saúde humana, já que:

- i) a amostragem se baseia em princípios estatísticos;
- ii) a água passa por variações que podem não ser identificadas em tempo hábil, além das técnicas laboratoriais existentes requererem tempo para respostas;
- iii) os organismos indicadores utilizados não indicam a presença ou ausência de ampla variedade de patógenos na água;
- iv) os valores máximos permitidos para substâncias químicas partem de estudos com grau de incertezas, além da atualização da legislação ser lenta.

A formulação e execução de um Plano de Segurança da Água se tornam essenciais nos sistemas de abastecimento, visto que o PSA é um instrumento que identifica os riscos no sistema de abastecimento de água, buscando estabelecer medidas para eliminar ou reduzir esses riscos. Basicamente, é um plano preventivo de múltiplas barreiras, no qual a primeira barreira busca a proteção do manancial. A segunda barreira procura diminuir os riscos, através da otimização do processo de tratamento. Por fim é importante também a proteção do sistema de abastecimento contra recontaminação, que funciona como a terceira barreira de proteção contra a contaminação da população. Caso haja uma falha, o PSA fornece também planos de

contingência (BERNARDO e PAZ, 2010). Conforme ilustração da Figura 1 é constatada a prevalência de estações de tratamento de ciclo completo no Brasil.

Figura 1 - Tipos de tratamento de água no Brasil



Fonte IBGE, 2011

O objetivo do tratamento da água para consumo humano consiste na produção de água potável, que preencha os requisitos fundamentais a nível da segurança microbiológica e química, eliminando possível contaminação e disseminação de doenças. Contaminação essa que pode estar na razão da própria origem da água, de um tratamento inadequado ou ineficaz, ou que até pode ocorrer no sistema de distribuição após o tratamento. São inúmeras as técnicas disponíveis na remoção de sólidos finos, microrganismos e alguns materiais orgânicos e inorgânicos dissolvidos. Porém, a escolha do método irá depender da qualidade da água a ser tratada, custo do processo de tratamento e padrões de qualidade

esperados para a água a ser processada. A variedade de processos de tratamento é vasta. A seleção do tratamento depende das características da água, do tipo de problemas de qualidade que possam estar presentes, custos dos vários tipos de tratamento, entre outros. Embora cada um dos processos de tratamento seja capaz de reduzir o número de microrganismos, nenhum pode assegurar a sua remoção completa. As empresas de fornecimento de água destinada ao consumo humano fazem inúmeros esforços no sentido de conseguirem uma água com boa qualidade a partir de diversas fontes contendo uma variedade de contaminantes químicos e biológicos. São aplicados múltiplos tratamentos, incluindo processos químicos, físicos e biológicos, bem como combinações destes, de modo a reduzir as concentrações dos contaminantes abaixo da concentração mínima aceitável (MAC) definida na legislação nacional e/ou em Padrões Internacionais de primeiro mundo, segundo (PIRES, 2012).

A variabilidade de qualidade de água bruta, devido a inúmeros fatores coadjuvantes, quer seja, despejo de esgoto não tratado, atividades (agrícola e/ou industrial) preponderantes de cada região, período do ano (chuvas ou estiagem), tipo de solo, características das bacias e sub-bacias, etc, que juntos interferem consideravelmente, devendo haver um controle maior do COT, tanto da água bruta, quanto da água filtrada, para a devida proteção da população, que é provida de água proveniente de tratamento convencional.

### 3.1.1. Origem do carbono orgânico total nas águas

Segundo Pádua *et al.* (2009), da segunda metade do século XIX à primeira metade do século XX, o tratamento da água teve como objetivo central a clarificação e a remoção de organismos patogênicos, em torno do que foram se desenvolvendo as técnicas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção. Porém, principalmente a partir dos anos 1970, o desenvolvimento agrícola e industrial impôs intensa produção e uso de novas substâncias químicas, dentre as quais os agrotóxicos, fármacos e hormônios sintéticos, implicando a necessidade de desenvolvimento e emprego de técnicas de tratamento mais específicas e/ou complexas.

A presença de matéria orgânica na água é usualmente determinada de maneira indireta, através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). A DBO é mensurada através da quantificação da diferença de Oxigênio Dissolvido (OD) em uma amostra de água, durante 5 dias a 20°C. Já a DQO é obtida através da titulação da amostra de água com Dicromato de Potássio ( $K_2Cr_2O_2$ ) e é uma medida de toda a matéria orgânica presente na amostra, uma vez que a DBO apenas analisa a matéria orgânica presente em organismos vivos (MATOS *et al.*, 2017).

Existem dois tipos de carbono orgânico no ecossistema aquático: carbono orgânico particulado - COP e carbono orgânico dissolvido - COD. Um parâmetro muito utilizado para a determinação da qualidade da água é o carbono orgânico total (COT), que tem sensibilidade capaz de detectar a presença de compostos orgânicos. A técnica tem sido utilizada para determinação da presença de moléculas orgânicas em água, com aplicações no monitoramento ambiental e também utilizado em indústrias, pela necessidade de água com alto grau de pureza para processos químicos, por exemplo, (CLEMENTINO *et al.*, 2008).

O carbono orgânico total é a concentração de carbono orgânico oxidado a  $CO_2$  em um forno a alta temperatura, e quantificado por meio de analisador infravermelho. Existem dois tipos de carbono orgânico: carbono orgânico particulado - COP e carbono orgânico dissolvido - COD. A análise do COT tem aplicações em diferentes áreas podendo ser utilizado para determinar em uma amostra de água a presença de contaminação por compostos sintéticos, o fluxo de carbono no sistema, a presença de contaminantes biológicos pela formação de biofilmes, o mau estado de conservação, ineficiência de um sistema de purificação, e outros (ASSMANN *et al.*, 2017).

A análise de COT considera as parcelas biodegradáveis e não biodegradáveis da matéria orgânica, não sofrendo interferência de outros átomos que estejam ligados à estrutura orgânica, quantificando apenas o carbono presente na amostra. O carbono orgânico em água doce origina-se da matéria viva e também como componente de vários efluentes e resíduos. Sua importância ambiental deve-se ao fato de servir como fonte de energia para bactérias e algas, além de complexar metais. A parcela formada pelos excretos de algas cianofíceas pode, em concentrações elevadas, tornar-se tóxica, além de causar problemas estéticos. O

carbono orgânico total na água também é um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico (CETESB, 2016).

A técnica de determinação de COT é realizada analisando duas formas de apresentação de carbono: o carbono inorgânico (CI), que no ambiente aquático é relativo à presença de sais de carbonatos e bicarbonatos; bem como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido em água; já o carbono orgânico (CO) refere-se à quantidade de carbono presente em moléculas orgânicas presentes na amostra. Também é encontrado na natureza o carbono elementar, porém sua quantidade na água é desprezível, não sendo utilizado nos cálculos de COT (Tabela 1).

Tabela 1 - Tipos de carbono encontrado em amostras de água

<b>Carbono</b>	<b>Sigla</b>	<b>Definição</b>
Total	COT	Toda forma de carbono de fonte orgânica ligado covalentemente.
Dissolvido	COD	Toda espécie de carbono solúvel, não filtrável por membrana de 0,45 $\mu\text{m}$ .
Particulado	COPt	Possui partículas suspensas retidas por membranas da ordem de 0,2-10 $\mu\text{m}$ .
Volátil	COV	Compostos de baixo peso molecular e pontos de fusão abaixo de 100 $^{\circ}\text{C}$ .
Purgável	COPu	Matéria orgânica decomposta por pulverização.
Não Purgável	CONP	Matéria orgânica não decomposta por pulverização.
Ácido-reagente	COAR	Matéria orgânica decomposta por tratamento com ácido.
Biológico	COB	Composto de origem biológica.

Fonte: Adaptado de STELLA BENEDETI, IPEN/USP, 2012

A presença de carbono orgânico em fontes naturais é variável, no entanto, geralmente atinge valores de 1  $\text{mgL}^{-1}$  para água subterrâneas, 2 a 10  $\text{mgL}^{-1}$  para águas de rios, e chega a 10  $\text{mgL}^{-1}$  para águas de pântanos; entretanto, águas que apresentam quantidade grande de matéria orgânica e compostos poluentes apresentam COT chegando a 10.000  $\text{mgL}^{-1}$  (MATILAINEN *et al.*, 2011).

A análise de COT é uma técnica importante para avaliar a qualidade da água em estações de tratamento de água durante as etapas de tratamento, podendo medir de forma segura a eficiência da remoção de MON e outros contaminantes orgânicos em etapas iniciais, reduzindo riscos como, por exemplo, a formação de subprodutos de desinfecção. Embora não seja preconizada na legislação brasileira

vigente, o estabelecimento deste parâmetro de qualidade nas ETA's tende a trazer importante contribuição para a segurança da qualidade da água de abastecimento da população. A análise de COT constitui-se em uma ferramenta de análise inespecífica, representando todos os compostos orgânicos em uma amostra, em poucos minutos, uma característica vantajosa quando comparamos esta com algumas técnicas analíticas (BENEDETI, 2012).

Segundo APHA (2012), as ligações de carbono nos compostos orgânicos necessitam ser quebradas e os compostos convertidos em forma molecular simples que podem ser quantificadas. Os métodos de medição de COT utilizam altas temperaturas, catalisadores e oxigênio ou baixas temperaturas ( $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) com irradiação de radiação UV, oxidantes químicos ou combinação deles para converter o CO em dióxido de carbono. O  $\text{CO}_2$  pode ser purgado da amostra, secado e transferido (com gás de arraste) ao analisador não dispersivo de raio infravermelho ou titulador colorimétrico. Alternativamente o  $\text{CO}_2$  pode ser separado da fase líquida por meio de membrana seletiva, na qual o aumento da condutividade corresponda à quantidade de  $\text{CO}_2$  que passa pela membrana. Os métodos e instrumentos usualmente empregados fornecem as seguintes frações de CO:

- i) carbono inorgânico – CI (carbonatos, bicarbonatos e  $\text{CO}_2$  dissolvido);
- ii) carbono orgânico total – COT (todos os átomos de carbono com ligação covalente nas moléculas orgânicas);
- iii) carbono orgânico dissolvido – COD (fração de COT que passa na membrana de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$ );
- iv) carbono orgânico particulado – COP (fração do COT retida na membrana de  $0,45\text{ }\mu\text{m}$ );
- v) carbono orgânico purgável – COP (também referido como carbono orgânico volátil, que é a fração do COT removida da solução aquosa por *stripping* com gás sob determinadas condições; vi) carbono orgânico não purgável – CONP (fração do COT não removida por *stripping*).

Na maioria das amostras de água, a fração inorgânica – Carbono Inorgânico(CI) é muitas vezes maior que a de COT, de sorte que sua eliminação ou compensação de interferência requer a determinação de ambos, Carbono Total e Carbono Inorgânico, para a determinação de COT. A eliminação da interferência do

Cl pode ser conseguida pela acidificação da amostra em pH inferior a 2 para sua conversão a  $\text{CO}_2$  e sua purga mediante o uso de gás puro ou remoção do  $\text{CO}_2$  a vácuo. A purga da amostra também remove o COP, de forma que a medição de CO feita após eliminação da interferência de Cl fornece o CONP. Na maioria das águas superficiais, a fração de COP é muito pequena em relação ao COT, o que faz com que o valor de CONP obtido seja praticamente igual ao COT. Alternativamente, a interferência do Cl pode ser compensada pela medição separada do CT e Cl, sendo o COT igual à diferença entre ambos (APHA, 2012).

### 3.1.2. Recursos hídricos e poluição

Em 8 de janeiro de 1997, foi criada a Lei nº 9.433, mais conhecida como Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh).

Segundo a ONG Eco, 2014, até então, a proteção legal das águas brasileiras seguiu um caminho semelhante ao da proteção ao meio ambiente e se dava de forma indireta. A água era acessória a outros interesses, assim seu uso era determinado por normas de caráter econômico e sanitário ou relativas ao direito de propriedade. Numa fase posterior, a água ainda tratada com um bem foi alvo de legislação própria, o Código das Águas de 1934.

A partir da Constituição de 1988 e, mais tarde com a lei de 1997, houve o reconhecimento da necessidade de proteger as águas dentro da estrutura global ambiental, a partir da gestão que se preocupasse em integrar os recursos hídricos ao meio ambiente, para garantir o desenvolvimento sustentável e a manutenção do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

A lei, no artigo 1º, elenca os principais fundamentos da Política Nacional. Há a compreensão de que a água é um bem público (não pode ser controlada por particulares) e recurso natural limitado, dotado de valor econômico, mas que deve priorizar o consumo humano e de animais, em especial em situações de escassez. A água deve ser gerida de forma a proporcionar usos múltiplos (abastecimento, energia, irrigação, indústria) e sustentáveis, e esta gestão deve se dar de forma descentralizada, com participação de usuários, da sociedade civil e do governo.



O artigo seguinte explicita seus objetivos: assegurar a disponibilidade de água de qualidade às gerações presentes e futuras, promover uma utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos (chuvas, secas e enchentes), sejam eles naturais ou decorrentes do mau uso dos recursos naturais.

De acordo com a lei, o estado compartilha com os diversos segmentos da sociedade uma participação ativa nas decisões. Cabe à União e aos estados, cada um em suas respectivas esferas, implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), legislar sobre as águas e organizar, a partir das bacias hidrográficas, um sistema de administração de recursos hídricos que atenda às necessidades regionais.

Dentro do Singreh, o Poder Público, a sociedade civil organizada e os usuários da água integram os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) e atuam, em conjunto, na definição e aprovação das políticas acerca dos recursos hídricos de cada bacia hidrográfica. Também fazem parte do Sistema, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas (ANA), os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal; os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos e as Agências de Água, órgãos assessores dos CBH.

A Lei das Águas (Lei nº 9.433) surgiu em um contexto em que a água se torna cada vez mais escassa e com a preocupação de que a sua distribuição seja equitativa.

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do planeta.

Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas, como as bacias do São Francisco, do Paraná e a Amazônica (a mais extensa do mundo e 60% localizada no Brasil). É um enorme potencial hídrico, capaz de prover um volume de água por pessoa, 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m<sup>3</sup>/s por habitante por ano.

Apesar desta abundância, os recursos hídricos brasileiros não são inesgotáveis nem bem distribuídos. A água não chega para todos na mesma quantidade e regularidade: as diferenças geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios causadas pelas variações climáticas ao longo do ano afetam a

distribuição. Outro ponto é o uso indiscriminado tanto dos mananciais superficiais quanto dos subterrâneos.

Talvez o principal problema seja o processo de urbanização acelerado que não apenas gerou um aumento da demanda em áreas mais populosas, como também gerou a contaminação dos corpos hídricos por esgotos sanitários e industriais. O crescimento da população concentrada em grandes centros urbanos, principalmente no litoral do continente, gerou problemas de escassez localizada de água, agravados por sistemas de saneamento básico deficientes, falta de sistemas de coleta, tratamento e drenagem. Isso torna boa parte das águas impróprias para o uso humano.

A ação antrópica sobre o meio ambiente é um problema contemporâneo de grande impacto para a qualidade de vida da população a curto e longo prazos. Entre os recursos naturais, a água é um elemento indispensável para vida humana e para manutenção do equilíbrio ambiental, sendo considerada a cada dia um bem de alto valor por sua importância estratégica para atividades agrícolas e industriais (BARROS; AMIN, 2008; FRANCISCO *et al.*, 2017).

A depredação dos recursos hídricos decorre principalmente de fatores como o desperdício, a expansão da agroindústria, o aumento da densidade populacional, a ampliação de centros industriais e a falta de tratamento adequado de efluentes rurais, industriais e domésticos (FRANCISCO *et al.*, 2017).

Estudos apontam que em poucas décadas os reservatórios de água potável do planeta não serão suficientes para que a demanda populacional seja adequadamente atendida, caso não sejam implementadas medidas de controle da exploração, bem como medidas de tratamento de água e conservação da qualidade da mesma no meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2015).

Muitos autores acreditam que a escassez deste recurso essencial à vida, nos próximos 50 anos, acarretará em conflitos políticos semelhantes ao que ocorrem no mundo hoje pelo domínio do petróleo (DE LIMA *et al.*, 2018).

A gestão de recursos hídricos é uma área política de extrema importância econômica para os países, pois o crescimento de atividades estruturais como a agricultura e a indústria, que impulsionam o crescimento, são os setores aos quais se destina 90% do uso da água. A população também possui um papel fundamental na conservação da qualidade da água, pois a responsabilidade ambiental sobre esta

questão não pode se restringir a esfera política e legal (CARVALHO *et al.*, 2015), a minimização da poluição e do desperdício só será alcançada a partir de esforços coletivos.

A gestão do uso água ainda está em evolução e a regulação dos parâmetros aceitáveis, bem como os protocolos e tecnologias de tratamento são constantemente revisados, readequados para que possa promover seu uso sustentável (AITH; ROTHBARTH, 2015).

Normalmente, no maior período do ano, muitos mananciais superficiais podem apresentar qualidade caracterizada como utilizável para o abastecimento humano, de acordo com a atual PRC nº 5 Anexo XX. Não obstante, em alguns períodos, com as possíveis alterações nas bacias hidrográficas constituintes em cada caso e de acordo com a mesma legislação, a qualidade da água pode ser então considerada imprópria ao seu uso pré-determinado.

Durante o processo de infiltração das águas no solo, a sua composição química está sempre sendo modificada pelas interações com os elementos minerais das rochas e do solo (SILVA FILHO, 1993).

O conhecimento da qualidade da água bruta é de grande importância para a pré-seleção das tecnologias de tratamento de água, e que, certamente cada tipo de água e tecnologia empregada irá gerar um tipo de lodo, em quantidade e qualidade distintas (DI BERNARDO, DANTAS e VOLTAN, 2011).

Instituições internacionais como a Organização Mundial da Saúde, *United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), União Européia, bem como instituições nacionais como o Ministério da Saúde do Brasil e o Conselho Nacional do Meio Ambiente, que está ligado ao Ministério do Meio Ambiente, regulamentam sobre o uso adequado e sustentável da água.

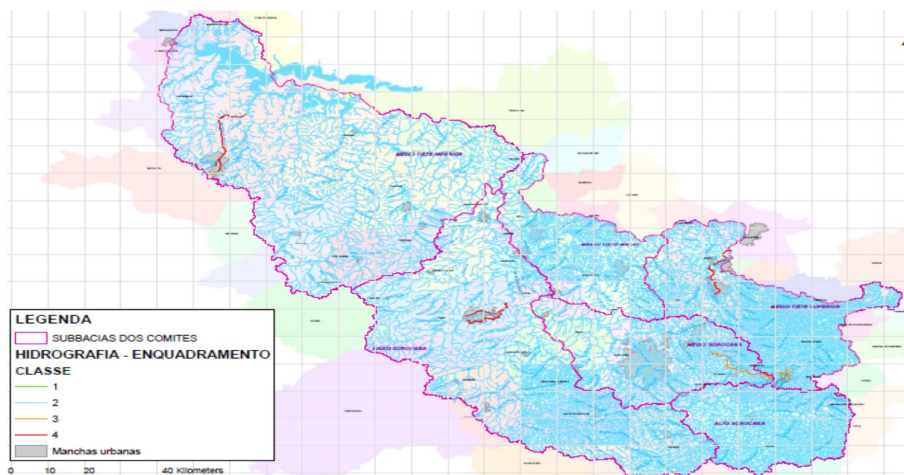
### 3.1.3. Qualidade de Água para Consumo Humano

As águas superficiais segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Esta

resolução considera que o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade.

Os corpos hídricos são classificados como de Classe 2, conforme Figura 2.

Figura 2 - Mapa da Hidrografia - UGRHI 10



Fonte: CETESB, 2009

Praticamente toda a bacia em estudo está enquadrada na classe 2, que exige um tratamento convencional para destinar a água tratada ao abastecimento humano.

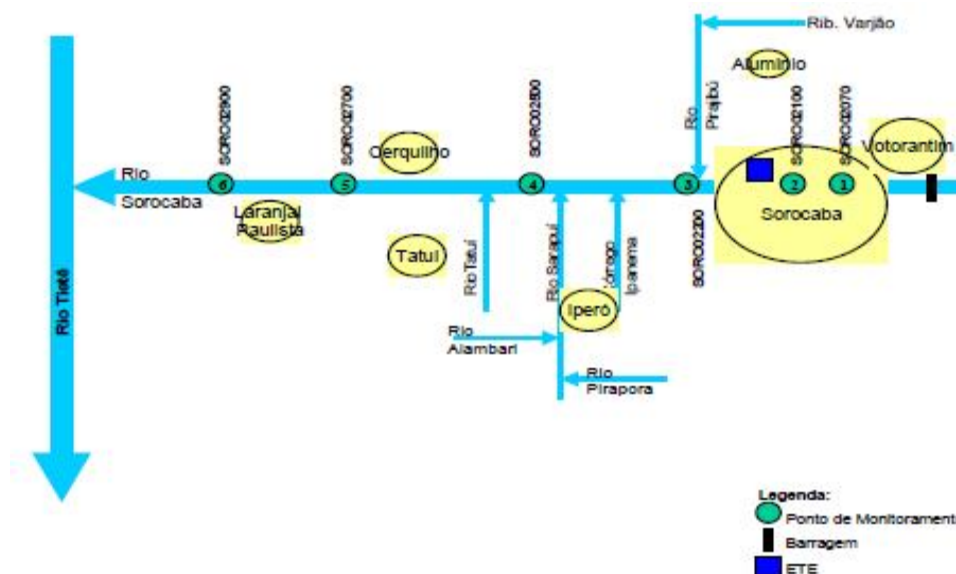
As classes de enquadramento dos corpos hídricos são detalhadas, conforme Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Classes de Enquadramento

Uso das águas doces	CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Mandatório em UC de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Mandatório em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário					
Aqüicultura					
Abastecimento para consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento conv. ou avançado	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortalças consumidas cruas e frutas ingeridas com película	Hortalças, frutíferas, piquetes, jardins, campos de esporte	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Fonte: CONAMA, 357 (2005)

Figura 4 - Diagrama Unifilar- Rio Sorocaba e Rio Ipanema - Classe 2



Fonte: CETESB, 2009

As Estações de Tratamento de Água (ETA's) recebem água superficial ou subterrânea como matéria prima à qual serão aplicados processos físico-químicos para que esta se torne utilizável para consumo humano. Para tanto, é necessária a realização da monitorização da qualidade da água, que permite a escolha e utilização adequada dos tratamentos disponíveis através de diferentes técnicas analíticas durante as etapas do processo, desde sua captação, fase na qual é chamada de água bruta, até sua destinação final quando recebe o nome de água filtrada, uma vez que ao final do processo está em condições de utilização para consumo humano sem que venha a causar danos à saúde (GIRI; SINGH, 2015; BIRKHEUER *et al.*, 2017).

A qualidade da água bruta é determinada através de parâmetros qualitativos e quantitativos quanto à presença de substâncias orgânicas e inorgânicas; a análise da biota aquática que corresponde ao conjunto dos organismos vivos presentes no corpo hídrico, assim como da presença de contaminantes microbianos (ARAÚJO *et al.*, 2011; CARVALHO, 2015).

De uma forma geral a qualidade da água bruta é variável, principalmente em se tratando de mananciais superficiais, uma vez que apresentam grande

variabilidade de características físico-químicas e biológicas dependendo da dinâmica entre os processos naturais como condições climáticas, hidrológicas e também os impactos das ações antrópicas sobre a bacia hidrográfica em questão (KHAN *et al.* 2015).

A presença de material orgânico em ecossistemas aquáticos acelera o processo de eutrofização, que é caracterizado pelo o enriquecimento de um corpo de água com nutrientes, induzindo o crescimento de plantas e algas, o que resulta em depleção de oxigênio do corpo de água. O aumento das concentrações de elementos como nitratos e fosfatos resulta num incremento dos processos naturais da produção biológica em rios, lagos e reservatórios. As principais origens são descargas de esgotos domésticos, industriais e também de regiões agricultáveis (LE *et al.*, 2010; GIRI; SINGH, 2015; KEHOE *et al.*, 2015).

O aumento da população de algas pode ser proveniente de uma ou algumas poucas espécies, sendo estas principalmente cianobactérias (*Cyanophyceae*), geralmente dispostas superficialmente formando uma camada, e o processo está diretamente ligado a elevação de custos no tratamento da água além de prejuízos à saúde, sendo necessário, nestas regiões o aumento da frequência de monitoramento da água, e também que este monitoramento seja realizado em mais pontos do sistema (OTTEN; PAERL, 2015).

Os principais gêneros de cianobactérias produtoras de cianotoxinas (*Anabaena*, *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Synechocystis*, *Aphanizomenum*, *Lingbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium* e *Schizothrix*), representam um problema de saúde aos consumidores de água contaminada. As cianotoxinas estão relacionadas a danos hepáticos, nervosos, dermatológicos além de serem caracterizadas como substâncias carcinogênicas. O não tratamento ou mesmo o tratamento de forma inadequada da água que contém cianobactérias pode levar a lise celular e a liberação de forma integral do conteúdo de toxinas na água (FARRER *et al.*, 2015; PANTELIC *et al.*, 2015).

Além da presença de microorganismos, a presença de Matéria Orgânica Natural (MON) é um problema preocupante durante o tratamento nas ETA's pois conferem cor característica indesejável além de ser um precursor de subprodutos de degradação, que são gerados após o tratamento com agentes desinfetantes

utilizados rotineiramente em estações de tratamento como o cloro e que são potencialmente perigosos para população (SHUTOVA *et al.*, 2014).

A formação dos subprodutos é influenciada pelo tipo e concentração da matéria orgânica presente na água, pela dose de desinfetante utilizada, pelo tempo de contato do desinfetante com a água, pelo pH da água (a formação é favorecida entre 10 a 20% em pH alcalino), pela temperatura da água (correlação positiva) e pela concentração de carbono orgânico total (COT) na água, concentrações inferiores a  $4\text{mgL}^{-1}\text{COT}$  não favorecem o aparecimento de THM's superiores a 100 micro  $\mu\text{g/l}$  (WHO, 2004).

Segundo (MS, 2017), a lei que regulamenta a utilização de águas para abastecimento humano é a Portaria da Consolidação PRC nº5 de 28/09/2017, publicada no DOU em 03/10/2017, do Ministério da Saúde, em seu Anexo XX, “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade”. Esta PRC, portanto, se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água. A PRC normatiza, segundo o artigo 24, que toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deverá passar por processo de desinfecção ou cloração. E também que as águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração obrigatoriamente. Um dos principais parâmetros para avaliar a potabilidade é o padrão microbiológico estabelecido por este Anexo XX. Deve-se ater a detecção da presença de coliformes totais, sendo necessária a adoção de ações corretivas e coleta de novas amostras até que revelem resultados satisfatórios. A investigação por bactérias heterotróficas também é estipulada como um dos parâmetros de avaliação do sistema de distribuição, compreendendo o reservatório e a rede. Alterações na população de bactérias heterotróficas são indicativos de irregularidades, sendo necessária a adoção de providências para normalização da integridade do sistema de distribuição. Também é recomendado o monitoramento de vírus entéricos nos locais de captação de águas superficiais para avaliação de risco microbiológico. Outro indicativo da qualidade microbiológica avaliada é o padrão de turbidez, sendo o limite máximo permitido após desinfecção de 0,5 uT em toda a extensão do sistema de distribuição.

A presença da bactéria enteropatogênica *Escherichia coli* também deverá ser monitorada nos sítios de captação de água. O Anexo XX estipula a amostragem e

acompanhamento da qualidade da água bruta, seja esta proveniente de manancial superficial ou subterrâneo, com a finalidade de avaliação de risco à saúde humana. Normatiza o monitoramento de cianobactérias, a identificação dos diferentes gêneros, no ponto de captação do manancial superficial. Como indicador indireto da multiplicação das mesmas estipula-se a análise semanal da *clorofila-a* no manancial. A PRC proíbe o uso de algicidas uma vez que a lise destes organismos aumenta ainda mais a liberação de toxinas ao meio ambiente. A resolução também recomenda o monitoramento da presença de agrotóxicos, devendo ser levada em consideração à utilização dos mesmos na bacia hidrográfica e também as épocas do ano em que são mais utilizados. Segundo o Anexo XX, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, define-se como água potável aquela que atende aos padrões organolépticos, físico-químicos e microbiológicos por ela estabelecida. Entende-se por padrão de potabilidade os valores estabelecidos como parâmetros para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano.

O Anexo XX não regulamenta concentrações de COT na água potável, entretanto a USEPA (1995) cita o COT como precursor na formação de subprodutos da desinfecção e apresenta estudos onde a remoção do mesmo seria a primeira etapa para a diminuição desses subprodutos. A Tabela 2 mostra a porcentagem de remoção de COT recomendada pela USEPA (1995).

Tabela 2 - Porcentagem de remoção de COT no tratamento em ciclo completo (Adaptado pelo Autor)

COT na água bruta (mgL <sup>-1</sup> )	Alcalinidade total da água bruta (mg CaCO <sub>3</sub> /L)		
	0 à 60	60 à 120	> 120
2,0 a 4,0	35%	25%	15%
4,0 a 8,0	45%	35%	25%
> 8,0	50%	40%	30%

Fonte (USEPA, 2001)

São utilizadas diferentes técnicas de monitorização e tratamento da qualidade da água, bem como suas condições para o consumo e correção de desvios. A análise da qualidade da água, enquanto ambiente aquático é determinada através de parâmetros qualitativos e quantitativos quanto à presença de substâncias, sendo



estas orgânicas ou inorgânicas e também a análise da biota aquática, ou seja, do conjunto de todos os seres vivos presentes no corpo hídrico, bem como da presença de contaminantes microbianos (ARAÚJO *et al.*, 2011; CARVALHO, 2003).

Os tratamentos aos quais a água será submetida são variáveis em função da qualidade da fonte. Os processos básicos de tratamento de água são coagulação e floculação (mistura rápida), sedimentação, decantação, filtração e desinfecção. Estes processos têm por finalidade corrigir a qualidade da água, retirando sólidos em suspensão, precipitar contaminantes e tratar a carga microbiológica para tornar a água própria para consumo. Por isso, é fundamental que a tecnologia e os produtos utilizados no tratamento da água estejam diretamente associados à qualidade da água bruta em qualquer época do ano. Muitas vezes, a escolha da tecnologia e dos produtos a serem utilizados depende de ensaios realizados em laboratório ou em estação piloto (ARAÚJO *et al.*, 2011; CARVALHO, 2003).

A escolha destes dois parâmetros deve levar em consideração o menor custo de operação, porém, considerando também a segurança na produção de água potável, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Portaria PRC nº 5, Anexo XX do MS.

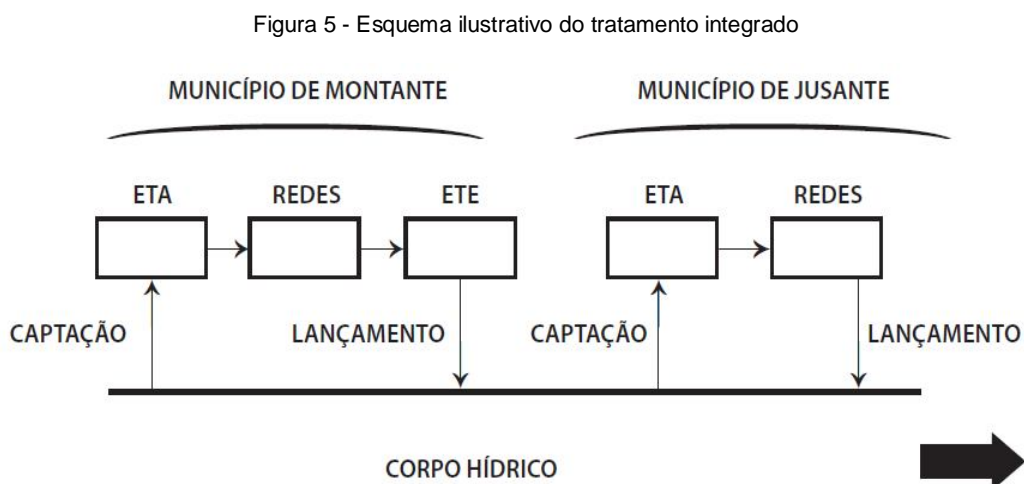
O conhecimento da qualidade da água bruta é de grande importância para a pré-seleção das tecnologias de tratamento de água, e que, certamente cada tipo de água e tecnologia empregada irá gerar um tipo de lodo, em quantidade e qualidade distintas (DI BERNARDO, DANTAS e VOLTAN, 2011).

A Portaria de Consolidação PRC nº 5 do MS, Capítulo 5, Anexo 1 do Anexo XX, de setembro de 2017 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O documento apresenta em seu anexo VII uma tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, e em seu anexo XII há uma tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial. As informações contidas no documento são omissas a valores máximos permitidos de fármacos em geral, o que indica que estes parâmetros não são tratados e avaliados na água filtrada para consumo humano. Mais de 3.000 substâncias químicas são utilizadas na medicina humana e veterinária, incluindo

anti-inflamatórios, contraceptivos, beta-bloqueadores, reguladores lipídicos, tranquilizantes, antiepilépticos e antibióticos (SATINDER, 2009).

Sem uma legislação que faça as empresas de distribuição retirar essas substâncias tanto do esgoto a ser jogado nos rios como da água deles captada, tem sido cada vez mais comum encontrar interferentes hormonais na água filtrada e distribuída à população. "Os métodos utilizados pelas estações de tratamento de água brasileiras são em geral seculares e não incorporaram novas tecnologias, como a oxidação avançada, a osmose inversa e a ultrafiltração", sendo que tais métodos só serão incorporados pelas empresas por meio de uma legislação específica, uma vez que eles encareceriam o tratamento. Assim, a gravidade da questão da água pode afetar de inúmeras maneiras a saúde da população e o meio ambiente. "Isso já deve estar ocorrendo de forma silenciosa e não está recebendo a devida atenção" (JARDIM, 2011). Segundo o pesquisador, esses contaminantes, chamados emergentes, podem estar por trás de vários outros efeitos relacionados tanto à saúde humana como aos ecossistemas aquáticos. "Como não são aplicados métodos de tratamento que retirem esses contaminantes, as cidades que ficam à jusante de um rio bebem o esgoto das que ficam à montante".

A situação em várias ETA's no Brasil se caracteriza numa situação de reuso indireto não programado conforme figura 5.



Fonte (HESPANOL, 2014)

## Estatísticas do Instituto Trata Brasil 2018

### Água- Atendimento

- 83,3% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água filtrada.
- São mais de 35 milhões de brasileiros sem o acesso a este serviço básico.

### Esgoto - Coleta

- 51,92% da população têm acesso à coleta de esgoto.
- Mais de 100 Milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço.
- Mais de 3,5 milhões de brasileiros, nas 100 maiores cidades do país, despejam esgoto irregularmente, mesmo tendo redes coletoras disponíveis.

### Tratamento

- 44,92% dos esgotos do país são tratados. Portanto, apenas 25% Esgoto é tratado no Brasil.
- A média das 100 maiores cidades brasileiras em tratamento dos esgotos foi de 50,26%.
- Apenas 10 delas tratam acima de 80% de seus esgotos.

Há inúmeros municípios sem rede coletora de esgoto, conforme Figura 6 e a situação geral do país pode ser vista, conforme Figura 7.



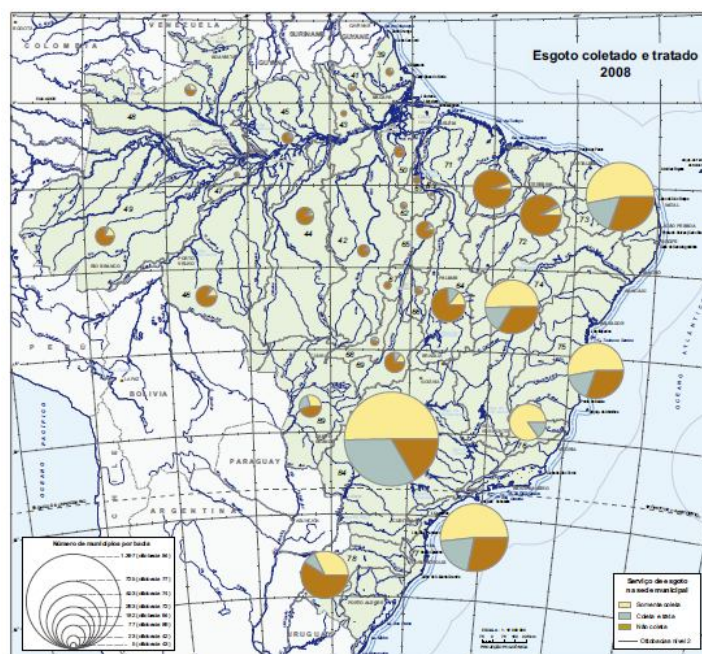
Figura 7- Proporção de distritos com tratamento de esgoto



Fonte IBGE 2011

A proporção de esgoto coletado e tratado é vista, conforme Figura 8 e a situação de reuso indireto no país pode ser vista, conforme Figura 9.

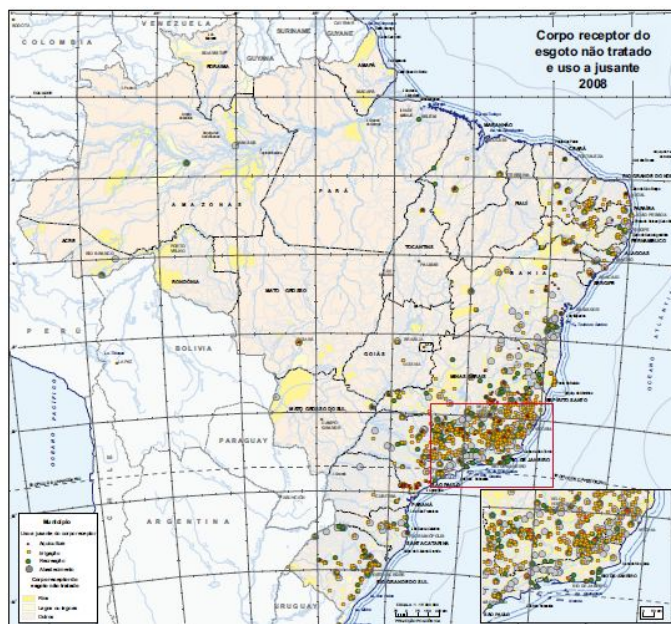
Figura 8- Esgoto coletado e tratado



Fonte IBGE 2011



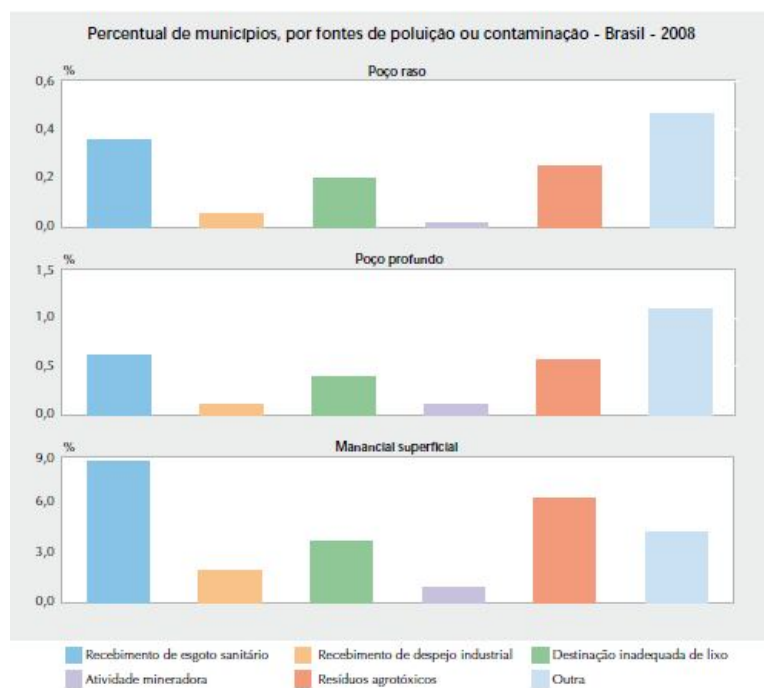
Figura 9- Corpo receptor de esgoto não tratado e uso a jusante



Fonte IBGE 2011

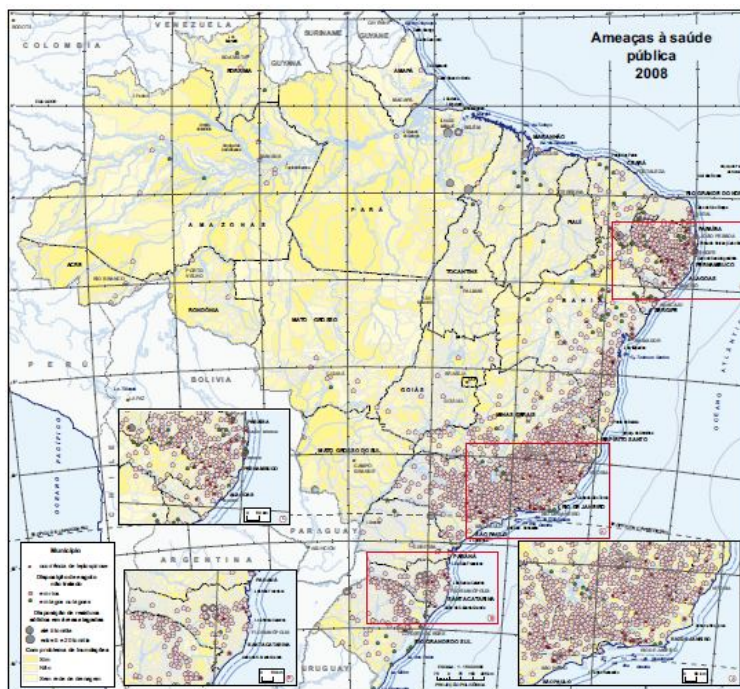
A proporção de esgoto coletado e tratado é vista, conforme Figura 10 e a situação de reuso indireto no país pode ser vista, conforme Figura 11.

Figura 10-Percentual de municípios por fonte de poluição



Fonte IBGE 2011

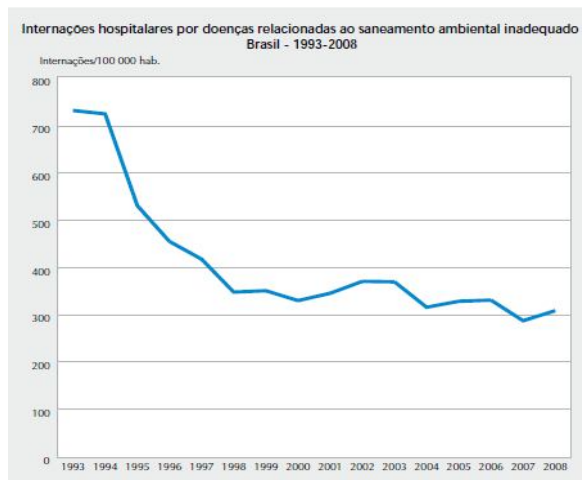
Figura 11-Pontos de ameaças à saúde pública



Fonte IBGE 2011

Doenças relacionadas com o saneamento ambiental inadequado (DRSAI): Diarreias, Febres Entéricas, Hepatite A, Dengue, Febre Amarela, Leishmanioses, Malária, Doença de Chagas, Esquistossomose, Leptospirose, Conjuntivite, Micoses Superficiais, Helmintíases e Teníases conforme figura 12.

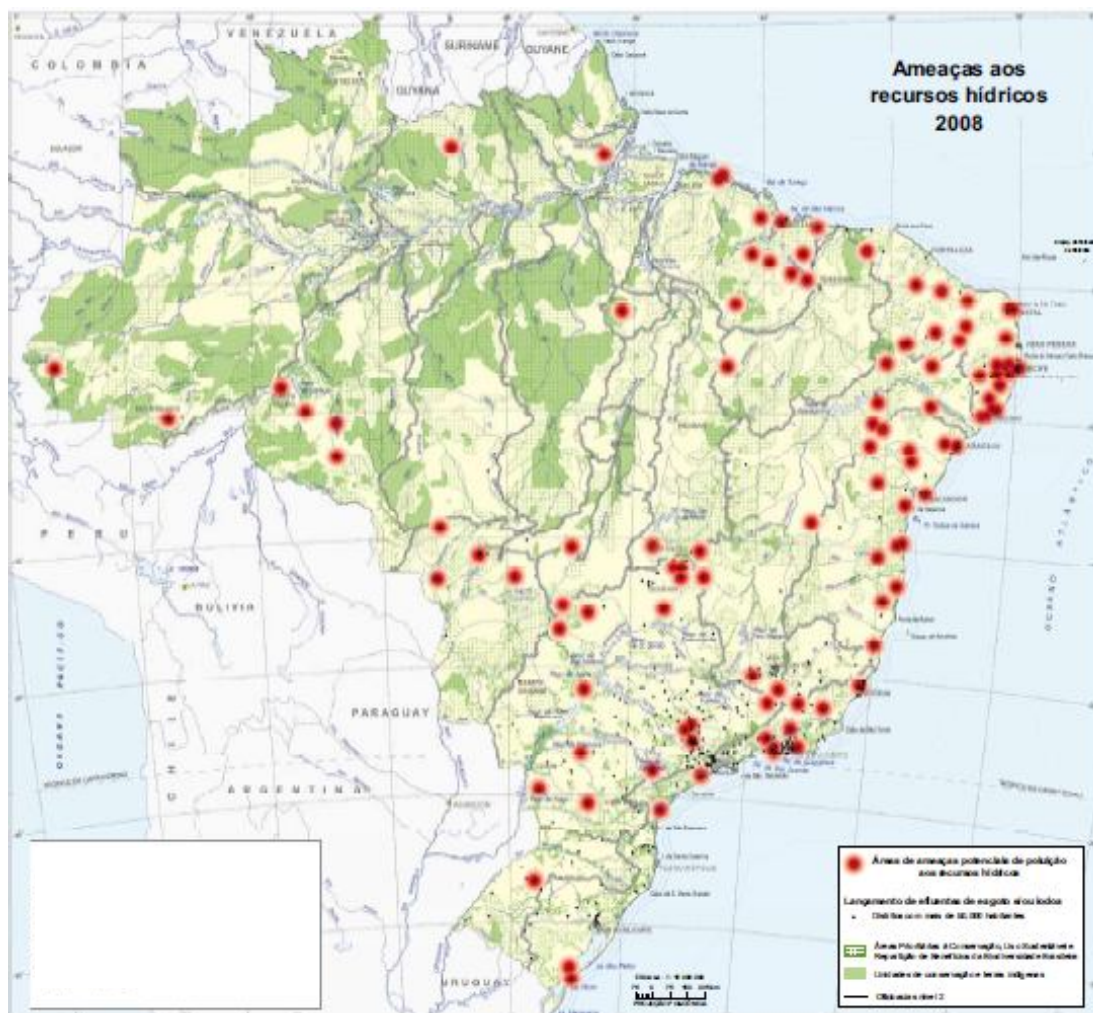
Figura 12-Internações hospitalares por doenças x saneamento



Fonte IBGE 2011

Na figura 13 observam-se inúmeros pontos de ameaças aos recursos hídricos no país.

Figura 13-Pontos de ameaças aos recursos hídricos



Fonte IBGE 2011

Em suma, a água é de vital importância à vida de qualquer organismo vivo, no entanto, com o descontrolado aumento populacional e desenfreada industrialização, a redução do nível de mananciais subterrâneos e superficiais resta indubitavelmente constatada, exigindo que novos processos e/ou tecnologias sejam essenciais para haver água de qualidade e em quantidade suficiente para o consumo humano.



Por conseguinte, o diagnóstico do uso e da ocupação do solo na bacia e o histórico da qualidade da água do manancial são, em si, importantes ferramentas de orientação de planos de amostragem de controle da qualidade da água.

#### 3.1.4. Poluentes Orgânicos Emergentes e Poluentes Orgânicos Persistentes

Denominam-se de micropoluentes emergentes (POE'S) os contaminantes que só puderam ser detectados e quantificados recentemente por meio do desenvolvimento de novas técnicas analíticas sensíveis e mais complexas. Isto se deve ao fato destes micropoluentes disponibilizarem-se em concentrações muito baixas na água, com sua toxicidade aquática a organismos terrestres ainda relativamente desconhecida (SATINDER, 2009; BILA; DEZOTTI, 2007).

Com estas características, classificam-se como micropoluentes emergentes os fármacos e os agrotóxicos, amplamente utilizados nas lavouras brasileiras, os aceleradores de vulcanização, os repelentes, hormônios naturais e sintéticos, os compostos químicos presentes em produtos de higiene pessoal, de limpeza, e outros diversos produtos químicos amplamente utilizados hoje em dia pela sociedade, aumentando cada vez mais a sua quantidade no ecossistema aquático (REIS *et al.*, 2007; SOARES; LEÃO, 2015).

A partir das informações citadas, é provávelmente que a água que é considerada potável esteja contaminada por substâncias que ainda não são registradas pela legislação, podendo ser muito nocivas aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana (SOARES; LEÃO, 2015).

Como a legislação brasileira vigente se refere apenas a contaminantes detectados e identificados há vários anos, esta não determina limites que sejam seguros para contaminantes emergentes, já que estes foram identificados no ambiente recentemente (BOLONG *et al.*, 2009). Existem estudos voltados à identificação e quantificação destas classes denominadas micropoluentes, mas, ainda são escassas políticas de tratamento adequado para removê-los e que, possam futuramente possibilitar a atualização das normas ambientais atualmente disponíveis (BOLONG *et al.*, 2009; MELLO *et al.*, 2009).

Apesar da alta eficiência na remoção de compostos presentes na água destinada ao consumo humano pelos métodos atualmente utilizados, ainda existe uma crescente preocupação com a presença de poluentes antes não comuns em fontes hídricas. As divergências quanto ao monitoramento da qualidade deste da água começou por volta dos anos 70 do século passado, quando pesquisadores europeus e americanos foram os pioneiros em discordar que o uso de metodologias tradicionais de análise da qualidade da água fosse apenas alicerçadas na avaliação de características físico-químicas e bacteriológicas (ALVES *et al.*, 2014).

A não identificação de compostos orgânicos de baixa massa molecular por limitações analíticas, como por exemplo, herbicidas, fertilizantes, fármacos e produtos de higiene pessoal, ainda é um problema emergente no que se refere ao tratamento de água e uma importante preocupação atual (AMÉRICO-PINHEIRO *et al.*, 2017).

O uso de produtos agroquímicos, em especial fertilizantes e pesticidas, se intensificou nas últimas décadas devido a mudanças na agricultura que visam ser mais produtivos juntamente para expansão agrícola, bem como para atender o crescimento populacional; entretanto muitos destes têm sido detectados em águas brutas de lençóis freáticos. Herbicidas tiazínicos e terbutilazínicos têm sido encontrados em águas subterrâneas na concentração de  $\text{ngL}^{-1}$  (MECHEN *et al.*, 2017).

Os efeitos de acumulação destes compostos no homem e no meio ambiente são preocupantes, uma vez que muitos possuem comprovada atividade no sistema nervoso central e têm sido detectado em águas de consumo, leite de vaca utilizado na alimentação e, até mesmo em leite materno, em regiões de grande atividade agrícola (PULKRABOVA *et al.*, 2016; SAXTON *et al.*, 2015).

Fármacos de diversas classes como anti-inflamatórios, antibióticos  $\beta$ -lactâmicos, bloqueadores  $\beta$ -2 adrenérgicos, hormônios esteróides, entre outros, foram encontrados em efluentes tratados o que constituem um problema alarmante uma vez que são despejados no meio ambiente, podendo ser recaptados nas estações de tratamento de água e até mesmo permanecer no ambiente aquático causando danos a este (NAVALON *et al.*, 2008; BOLLMANN, 2016).

Entre as classes mais encontradas temos os anti-inflamatórios não esteróides como, por exemplo, diclofenaco, aspirina, acetaminofeno, ibuprofeno e

naproxenoque têm sido detectados na faixa de  $\mu\text{gL}^{-1}$  e  $\text{ngL}^{-1}$  na água utilizada consumo (HYANG *et al.*, 2011; RODIL *et al.*, 2012).

Estas classes de substâncias orgânicas citadas anteriormente, além da MON também reagem com agentes oxidantes como cloro, ozônio e peróxido utilizados no tratamento de água, formando subprodutos de desinfecção como, por exemplo, os compostos orgânicos halogenados, trihalometanos, halocetonas e halofenóis que têm alta toxicidade crônica comprovada, uma vez que são passíveis de bio-acumulação por sua lipofilicidade em tecidos animais, vegetais e microbianos (PASCHOALATO *et al.*, 2008).

### 3.1.5. Legislação aplicável

A legislação nacional através da portaria de Consolidação PRC Nº 5 DE 03/10/2017 – Capítulo II – Secretaria da Saúde – MS

ANEXO XX - Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade.

Art. 5º Para os fins deste Anexo são adotadas as seguintes definições:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde;

III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido neste Anexo;

IV - padrão organoléptico: conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde;

V - água filtrada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade;

Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5):

Tabela de padrão organoléptico de potabilidade

- Cor Aparente 15 uH - Ferro  $0,3 \text{ mgL}^{-1}$
- Manganês  $0,1 \text{ mgL}^{-1}$

- Turbidez < 0,5 uT em 95% e < 1,0 uT em 100%
- pH entre 6 e 9,5 na distribuição
- COT sem parâmetros definidos (sem VMP)

A Portaria de Consolidação PRC nº 5 do MS, Capítulo 5, Anexo 1 do Anexo XX, de setembro de 2017 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O documento apresenta em seu anexo VII uma tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, e em seu anexo XII há uma tabela de número mínimo de amostras e frequência para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial. As informações contidas no documento são omissas a valores máximos permitidos de fármacos em geral, o que indica que estes parâmetros não são tratados e avaliados periodicamente na água filtrada para consumo humano. Mais de 3.000 substâncias químicas são utilizadas na medicina humana e veterinária, incluindo anti-inflamatórios, contraceptivos, beta-bloqueadores, reguladores lipídicos, tranquilizantes, antiepilépticos e antibióticos (SATINDER, 2009).

Sem uma legislação que faça as empresas de distribuição retirar essas substâncias tanto do esgoto a ser jogado nos rios como da água deles captada, tem sido cada vez mais comum encontrar interferentes hormonais na água filtrada e distribuída à população. "Os métodos utilizados pelas estações de tratamento de água brasileiras são em geral seculares e não incorporaram novas tecnologias, como a oxidação avançada, a osmose inversa e a ultrafiltração", sendo que tais métodos só serão incorporados pelas empresas por meio de uma legislação específica, uma vez que eles encareceriam o tratamento. Assim, a gravidade da questão da água pode afetar de inúmeras maneiras a saúde da população e o meio ambiente. "Isso já deve estar ocorrendo de forma silenciosa e não está recebendo a devida atenção" (JARDIM, 2011). Segundo o pesquisador, esses contaminantes, chamados emergentes, podem estar por trás de vários outros efeitos relacionados tanto à saúde humana como aos ecossistemas aquáticos. "Como não são aplicados métodos de tratamento que retirem esses contaminantes, as cidades que ficam à jusante de um rio bebem o esgoto das que ficam à montante.

A análise de COT em água é um requisito técnico vigente e realizado em águas de abastecimento público em países europeus, como Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça e Reino Unido, de acordo com diretiva n°. 1787 da União Européia, de 06 de Outubro de 2015, que estabelece limite de  $3,0 \text{ mgL}^{-1}$  para água após tratamento. A União Européia também estabeleceu a norma EN n°1484 (CEN EN 1484, 1997), que estabelece o método oficial para determinação do COT e COD.

Nos EUA, a agência regulatória EPA (*Environmental Protection Agency*), determinou que o limite máximo aceitável para água de consumo é  $2,0 \text{ mgL}^{-1}$  (EPA, 2001).

Na Columbia Britânica (Canadá) a qualidade de água potável estabelece como limite máximo aceitável a concentração de  $4 \text{ mgL}^{-1}$  após o tratamento com cloro (BRITISH COLUMBIA, 2016), para garantir a baixa presença de subprodutos de desinfecção.

Embora não seja preconizada na legislação brasileira vigente, o estabelecimento deste parâmetro de qualidade nas ETA's tende a trazer importante contribuição para a segurança da qualidade da água de abastecimento da população.

A Portaria atual PRC n° 5, Anexo XX, vigente à partir de 03/10/2017, também não faz qualquer menção ao COT. Os requisitos de potabilidade de água podem ser encontrados no Capítulo V, Seção 2, artigo 129, Anexo XX, nas páginas 377 a 399.

O Controle de Qualidade da Água nas 4 ETA's em estudo é realizado mediante os seguintes padrões:

- Mensal: Microcistinas, Densidade de cianobactérias e *Clorofila a*.
- Trimestral: Ácidos haloacéticos, Bromato, Clorito, Cloro residual livre, Cloraminas total, 2,4,6 Triclorofenol e Trihalometanos total,
- Semestral: Saída do sistema: Portaria 2914/2011 completa e Anexo XX da PRC n° 5 do MS.

Captação: Resolução Conama n° 357, de 17 de março de 2005.

Segundo o Guia para água de reuso (*Guidelines for Water Reuse – State Regulatory Programs for Water Reuse – Indirect Potable Reuse*, 2012) e para efeito de comparação, discussão e conclusão, será utilizado o VMP definido pela

EPA (USA), para água de reuso indireto com fins potáveis (com tratamento de esgotos e diluição controlada nos corpos hídricos), quer seja, COT menor ou igual a  $2 \text{ mgL}^{-1}$ .

A metodologia para a determinação de COT deve, como todo método analítico, ser validada segundo as diretrizes preconizadas pela resolução RE 899 de 2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A validação de uma metodologia é um item das Boas Práticas de Fabricação e constitui-se na avaliação de parâmetros do método de análise empregado para que se comprove a sua segurança, aplicabilidade, precisão e a confiabilidade estatística. A determinação de COT é realizada em diferentes áreas de pesquisa, tanto ambiental como industriais, com diferentes objetivos.

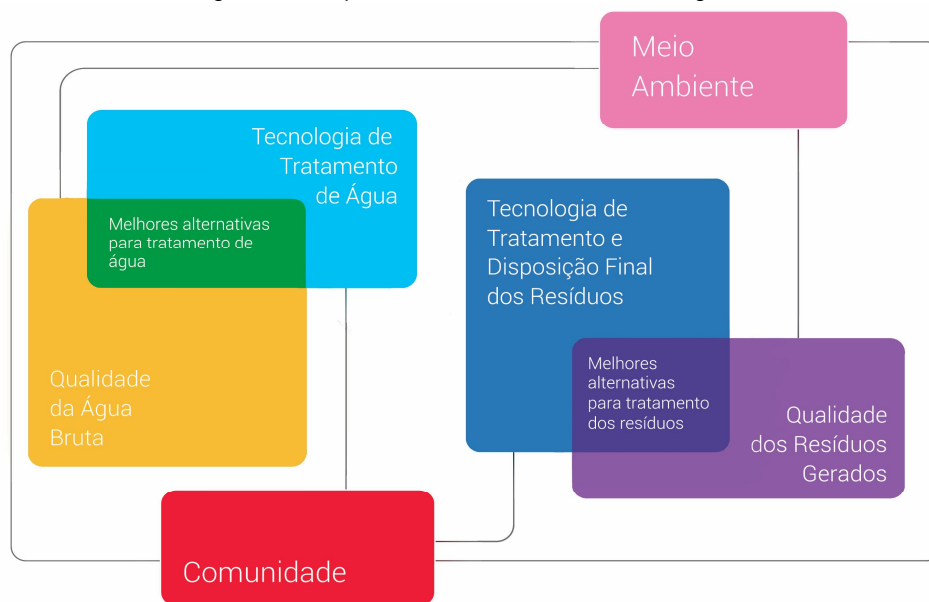
A USEPA (1999a) utiliza o valor limite de  $2 \text{ mgL}^{-1}$  para COT na água filtrada, sendo baixo o potencial de formação de DBP's na cloração, se os valores forem inferiores.

### 3.2. Tratamento de Água e remoção de Carbono Orgânico Total

#### 3.2.1. Tecnologias de tratamento de água

Uma ETA compreende um conjunto de instalações destinado à obtenção de água para consumo humano de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pelos órgãos responsáveis. O processo que a água é submetida desde sua captação até distribuição é planejado visando a eliminação de sólidos em suspensão, substâncias nocivas, matéria orgânica e patógenos da água bruta, entretanto o projeto de uma ETA não é sempre o mesmo, sendo estabelecido de acordo com as características e necessidades de tratamento (Figura 14, adaptada de Di Bernardo e Sabogal Paz, 2009). A escolha da metodologia mais adequada é importante e deve levar em consideração a qualidade da água, mas também a geração de resíduos do processo, como por exemplo, o uso de iodo ou permanganato de potássio (DI BERNARDO, DANTAS e VOLTAN, 2011).

Figura 14 - Esquema ilustrativo do tratamento integrado

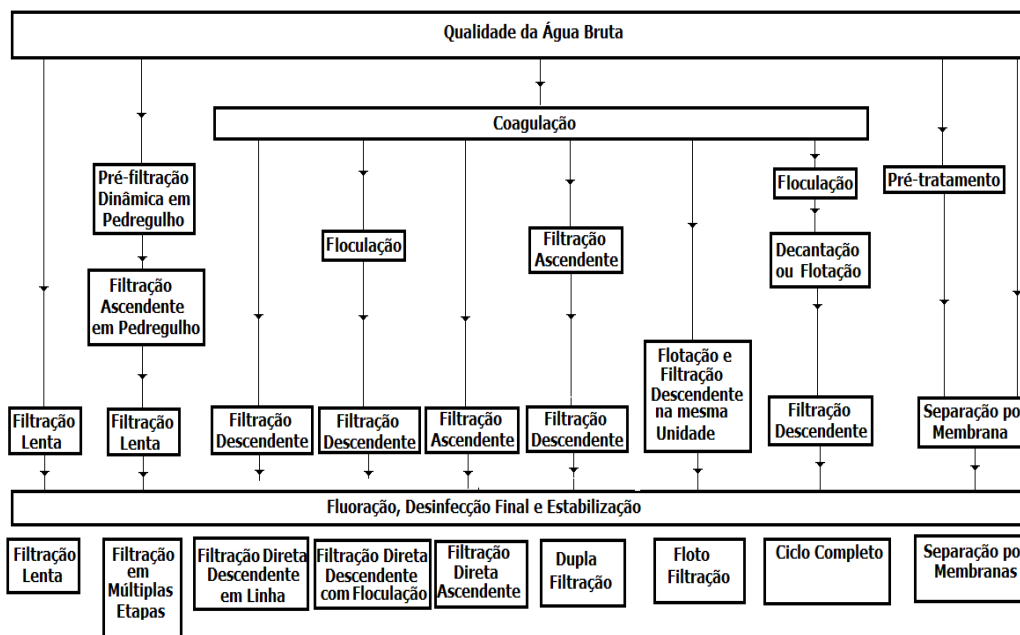


Fonte Di Bernardo e Dantas (2005)

Di Bernardo e Dantas (2005) apresentam a Figura 15, que relaciona as tecnologias de tratamento de água com a qualidade da água bruta. Di Bernardo e Sabogal Paz (2009) introduziram o conceito do tratamento integrado, que inclui a estação de tratamento de resíduos (ETR) para a escolha da tecnologia apropriada para tratamento de água.

Apesar de não constar a pré-oxidação nas estações de tratamento de água (ETA's) na Figura 15(adaptada de Di Bernardo e Dantas, 2005), este processo é comumente utilizado para a oxidação de compostos orgânicos e inativação de organismos.

Figura 15 - Tecnologias de tratamento de água com e sem coagulação química



Fonte Di Bernardo e Dantas (2005)

Devido ao regime sazonal de chuvas no Brasil, em que os mananciais apresentam turbidez relativamente alta em determinada época do ano e baixa em outros, a tecnologia de ciclo completo com decantação tem predominado no tratamento de água superficial, cujo esquema é apresentado na Figura 16.

Em qualquer situação, independentemente da qualidade da água bruta, a qualidade da água filtrada deve necessariamente ser condizente com os parâmetros preconizados na vigente Portaria PRC nº 5 em seu Anexo XX.

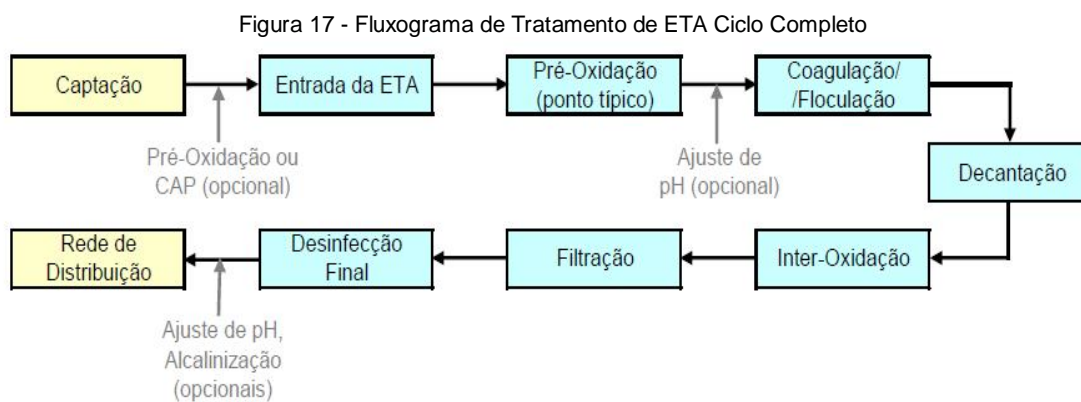


Figura 16 - Esquema de ETA de ciclo completo com decantação



Fonte Di Bernardo e Dantas (2005)

Basicamente, um Fluxograma de Tratamento de uma ETA Ciclo Completo deve ser como mostrado na Figura 17 (SABESP, 2009).



Fonte SABESP (2009)

Os valores de Fe e Mn elevados são normalmente minimizados por meio do uso de permanganato de potássio, que é um oxidante forte, atuando como um pré-oxidante, além de conferir cor, gosto e odor. Portanto, permite a retirada da cloração como pré-oxidação, desse modo reduz o potencial de formação de subprodutos clorados, sem efeitos negativos nos processos à jusante, se não há a manutenção de residual.

Que seja considerada a necessidade premente de uma reservação de água filtrada em cada ETA, no mínimo proporcional ao volume diário produzido de água filtrada, de modo a poder interferir de forma preventiva e estratégica, por ocasião de desvios considerados graves, ou que ofereçam sérios riscos à população.

Que a descarga de lodo, repleto de sujidades, sólidos dissolvidos e em suspensão, produtos químicos oriundos do tratamento convencional (coagulantes, alcalinizantes, adsorventes), sais dissolvidos, matéria orgânica e inorgânica, além de algas, organismos patogênicos(protozoários, bactérias, vírus), micro-contaminantes de toda sorte, etc, tenha uma destinação adequada e receba o devido tratamento, ou seja, encaminhado diretamente a alguma ETE, atuando como uma ação mitigatória e eficaz da retro-contaminação semanal do meio ambiente normalmente realizada "*in natura*" em cada ETA, causando assoreamento dos corpos hídricos, alteração da qualidade da água, aumento da concentração de metais e de sólidos, que comprovadamente são extremamente prejudiciais e acarretam graves riscos à saúde humana, o que caracteriza sobremaneira um crime ambiental assumido, porém de forma habitual e reiterada negligenciado, de forma indiscutível, "*in verbis*".O lançamento inadequado desses efluentes em corpos d'água ainda é uma prática comum realizada pela maioria das ETA's no Brasil, apesar da Legislação Ambiental vigente no Brasil serrígida quanto a tal comportamento. Normalmente os custos envolvidos no processo de implantação de sistemas de tratamento desses resíduos é o fator mais importante, que leva as ETA's a desrespeitarem a legislação.

Não obstante a razão entre a vazão de água bruta retirada dos mananciais na captação em relação à vazão média dos corpos hídricos serem sempre uma fração praticamente desprezível deve-se levar em conta sempre, o *stress* hídrico, a disponibilidade hídrica, principalmente em períodos de estiagem severa, além do inegável e notório comprometimento das bacias hidrográficas e suas sub-

baciasconstituintes, com a diminuição aparentemente irreversível da qualidade das águas superficiais, de forma generalizada e alarmante.

### 3.2.2. Remoção de Carbono Orgânico Total no Tratamento de Água

Metodologias específicas para remoção de COT podem ser empregadas dentro de ETA's, embora cada caso deva ser analisado especificamente (BERNARDO e DANTAS, 2015). Entre estas temos:

- Adsorção em carvão ativado, cujas principais características do carvão ativado – CA, dependem da origem do material empregado (vegetal, animal ou mineral) e do tipo de ativação (física, química ou plasma). A eficiência de adsorção é atribuída a diversos fatores como: superfície específica, tamanho e estrutura dos poros, reatividade dos diferentes componentes do material, teor de cinzas, características do adsorvato (tamanho, massa molar e grupos funcionais das moléculas), características da água (condutividade, pH, temperatura) e interferentes (carbono orgânico dissolvido, turbidez, metais dissolvidos, etc.). Em função das condições pode ser usado o carvão ativado pulverizado – CAP ou o carvão ativado granular – CAG (DI BERNARDO, 2011).

Trabalhos de mestrado e doutorado, onde restou comprovada a remoção de contaminantes por meio de filtração com carvão ativado:

- Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto, PESCARA(2014).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência dos tratamentos empregados em duas estações de tratamento de água (ETA), na remoção de hormônios endógenos, de hormônios sintéticos, de produtos de uso industrial, do fármaco cafeína e do pesticida atrazina. Foram observadas remoções de até 80% de cafeína pelos tratamentos empregados e a coagulação a responsável pela maior remoção na água bruta. A etapa de filtração em carvão ativado apresentou eficiências de remoção menores que 10%, enquanto a desinfecção demonstrou baixa eficiência na remoção de cafeína.

- Desintoxicação de resíduos de pesticidas via processo de adsorção de carvão ativado, FOO e HAMEED (2010).

Removem apenas parcialmente os compostos avaliados.

- Membranas filtrantes (Nanofiltração e Osmose Inversa), que pode ser definida como uma barreira seletiva que separa duas fases e que, total ou parcialmente, restringe o transporte de uma ou diversas espécies químicas presentes quando se aplica uma força externa. Esse transporte pode ocorrer por difusão ou por convecção e ser induzido por um gradiente de potencial químico (pressão, concentração ou temperatura) ou elétrico (DI BERNARDO, 2011).

Trabalhos de mestrado e doutorado, onde restou comprovada a remoção de contaminantes por meio de Nanofiltração:

- Remoção dos contaminantes orgânicos B-estradiol e saxitoxinas (STX, Neo-STX e dc-STX) por meio de nanofiltração: avaliação em escala de bancada (AMORIM, 2007).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a remoção dos contaminantes orgânicos  $\beta$ -estradiol e das saxitoxinas (STX, dc-STX e Neo-STX) por nanofiltração. A escolha dos contaminantes foi motivada pela crescente presença desses compostos em mananciais de abastecimento e o potencial de causar danos à saúde humana mesmo em baixas concentrações. Pesquisas demonstram que a eficiência de remoção pelo tratamento convencional não é suficiente para evitar os possíveis efeitos adversos e por isso um tratamento avançado precisa ser considerado para remoção desses contaminantes.

Os resultados dos ensaios demonstraram que o mecanismo de adsorção contribuiu para remoção tanto do  $\beta$ -estradiol, quanto das saxitoxinas. As remoções de  $\beta$ -estradiol foram maiores para a membrana composta do que para a membrana de acetato de celulose, no entanto a porcentagem de remoção real não pode ser avaliada, pois não se alcançou o equilíbrio na remoção. Para as saxitoxinas as remoções foram maiores para a membrana de acetato de celulose do que para a membrana composta. A elevação do valor de pH promoveu a redução do fenômeno da adsorção na membrana para os contaminantes estudados e influenciou positivamente o processo, elevando bastante as eficiências de remoção de  $\beta$ -estradiol e saxitoxinas.

- Remoção de pesticidas por nanofiltração: efeito da matriz da água, ZHANG, Y.; VAN DER BRUGGEN, B.; CHEN, G.; BRAEKEN, L.; VANDECASTEELE, C. (2004).

O efeito de pesticidas no meio ambiente é muito complexo, pois as transferências indesejáveis ocorrem continuamente entre diferentes seções ambientais. Isso eventualmente leva à contaminação da fonte de água potável, especialmente para rios e lagos localizados perto de práticas agrícolas ativas. A aplicação de membranas de nanofiltração na remoção de atrazina em solução aquosa, devido ao uso extensivo de atrazina para controlar ervas daninhas e o efeito ambiental adverso associado a ele, foi selecionado como o assunto do estudo. Quatro membranas de nanofiltração NF90, NTR7250 e NF270 foram testadas para seus respectivos desempenhos para separar a atrazina, sendo que das quatro membranas, o NF90 apresentou melhor desempenho na retenção de atrazina em água enquanto o NTR7250 apresentou o menor desempenho.

- Viabilidade de nanofiltração e membranas de osmose reversa de ultra baixa pressão para uso multi-benéfico de água produzida com metano, XU, P. & DREWES, J.E. (2006).

O advento das membranas de osmose reversa por ultra baixa pressão e membranas de nanofiltração pode oferecer uma opção viável para o tratamento de água produzida, porque essas membranas podem ser tão eficazes quanto a osmose reversa na remoção de determinados solutos. Os objetivos desta pesquisa foram investigar a viabilidade das membranas como potenciais técnicas para o tratamento da água produzida, atendendo aos padrões de qualidade da água.

Remoção entre de 70 e 80 %.

- Oxidantes alternativos: POA's
  - Cloraminas (cloro combinado);
  - Dióxido de cloro;
  - Ozonização;
  - Permanganato de potássio;
  - Radiação Ultravioleta.

Trabalhos de mestrado e doutorado, onde restou comprovada a remoção de contaminantes por meio de Oxidação avançada na coagulação:

- Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto, PESCARA(2014).

- Desintoxicação de resíduos de pesticidas via processo de adsorção de carvão ativado, FOO, K.Y. & HAMEED (2010).

Estes POA's podem levar a formação de outros subprodutos, conforme o teor de matéria orgânica presente na água, sendo que seus efeitos sobre a saúde humana ainda não foram completamente avaliados.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

Foram objeto de estudo (4) quatro ETA's de ciclo completo pertencentes à UGRHI-10, na região da cidade de Votorantim/SP, área com uso preponderantemente industrial, além de agricultura e pecuária.

#### 4.1.1 Características gerais da Bacia Hidrográfica UGRHI-10

Conforme Figura 18, observam-se as UGRHI's de SP e na Figura 19, a localização da UGRHI 10, onde se encontra o município de Votorantim, de acordo com o Relatório "Situação dos Recursos Hídricos" no Estado de SP – Minuta CRH 11/12/2017, da CETESB.

Figura 18 - Regiões Hidrográficas e UGRHI's de SP



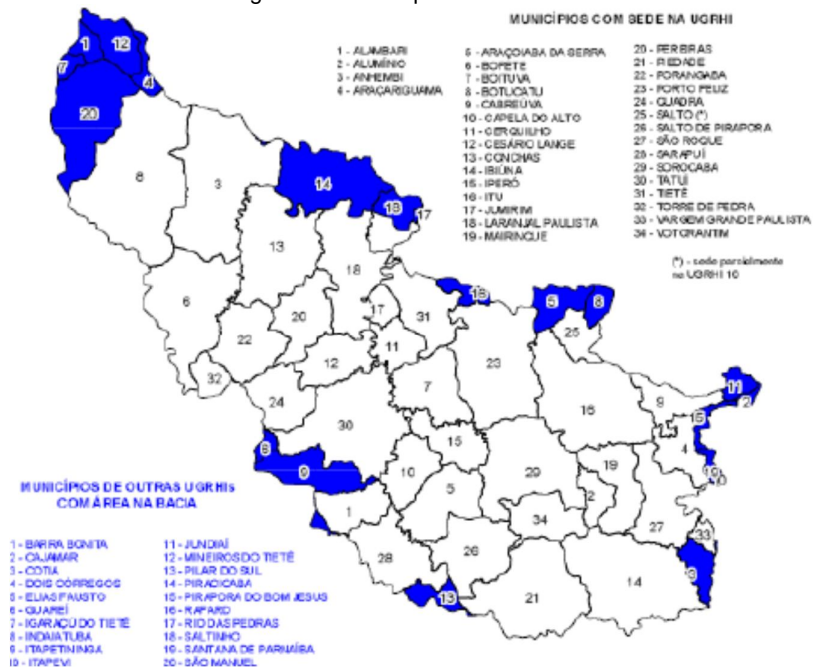
Figura 19 - Localização das UGRH's de SP



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê (<http://www.sigrh.sp.gov.br>)

A Figura 20 apresenta os municípios da UGRHI-10 e na Figura 21 observam-se as sub-bacias constituintes da UGRHI 10.

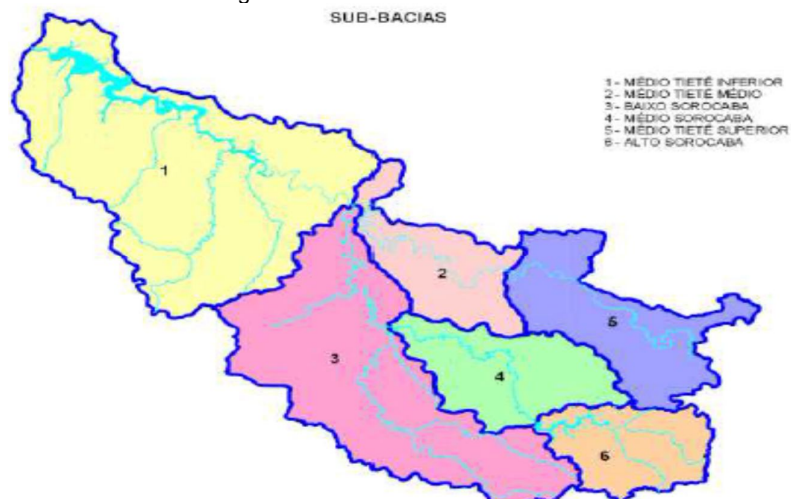
Figura 20 - Municípios da UGRHI 10



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê



Figura 21 - Sub Bacias da UGRHI 10



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A hidrografia é formada pelo Rio Sorocaba (antigo Rio Grande), cujos principais afluentes são os rios Cubatão e Ipaneminha. Esses rios e outros ribeirões e córregos fazem parte da bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba, que integra a Bacia do Tietê. O Rio Sorocaba é um afluente do Tietê e pertence à 10ª Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - Sorocaba/Médio Tietê (UGRHI).

A Figura 22 apresenta a UGRHI 10 e os limites com as bacias ou UGRHI's.

Figura 22 - Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Figura 23 apresenta as cidades que constituem a UGRHI 10 e a Bacia Hidrográfica do rio Sorocaba e Médio Tietê.

Figura 23 - Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

Oficialmente, o Rio Sorocaba não tem nascente, tem confluência, que é quando dois rios (no caso o Sorocamirim e o Sorocabuçu) se encontram e formam um novo rio. Banha as cidades de Ibiúna, Piedade, Votorantim, Sorocaba, Iperó, Boituva, Tatuí, Cesário Lange, Cerquilha, Jumirim e Laranjal Paulista. Sua extensão é de quase 250 km contados a partir da confluência em Ibiúna até a foz, em Laranjal Paulista. Faz parte da bacia do Sorocaba e Médio Tietê. Tem cachoeiras no trecho da Serra de São Francisco, em Votorantim, e corredeiras nas cidades de Cerquilha e Jumirim.

Segundo SigRH SP(2017), a região possui grande concentração de indústrias, e também tem como atividades econômicas a agroindústria de *citrus*, cana-de-açúcar e pecuária, sendo com isso necessário empregar métodos que possam avaliar a qualidade da água utilizada nas ETA's regionais, tendo em vista o potencial poluente dos resíduos destas atividades e as consequências destes para a população. As características gerais da Bacia estão descritas na Tabela 3.

O Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) foi formado com grande apoio da sociedade civil e dos prefeitos, em 02 de agosto de

1995, numa reunião histórica, no município de Itu. As principais preocupações compartilhadas entre os três segmentos que nortearam a formação do Comitê de Bacias do Sorocaba e Médio Tietê foram a poluição das águas do Tietê e o reservatório de Itupararanga, principal manancial da bacia do Sorocaba.

A análise do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica à montante é muito importante e determinante da qualidade da água à jusante.

Na Tabela 3 são descritas características com predominância de atividades industriais e agropecuária, com ênfase para as culturas da cana de açúcar e *citrus* na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê.

Tabela 3 - Características da Bacia Hidrográfica do Sorocaba e Médio Tietê

<b>Área de drenagem</b>	11.829 km <sup>2</sup>
<b>População</b>	1.811.904 habitantes
<b>Principais rios</b>	Sorocaba, Tietê, Sorocabuçu, Sorocamirim, Pirajibu, Jundiuvira, Murundu, Sarapuí, Tatuí, Guarapó, Macacos, Ribeirão do Peixe, Alambari, Capivara e Araqua.
<b>Reservatórios</b>	Represa Itupararanga e Represa Barra Bonita.
<b>Principais atividades econômicas</b>	Predominam as atividades industriais na região da metrópole, o cultivo da cana-de-açúcar e do <i>citrus</i> , além da pecuária.
<b>Vegetação remanescente</b>	Apresenta 2.104 km <sup>2</sup> de cobertura vegetal nativa que ocupa, aproximadamente, 17,5% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência são a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional Semidecidual.

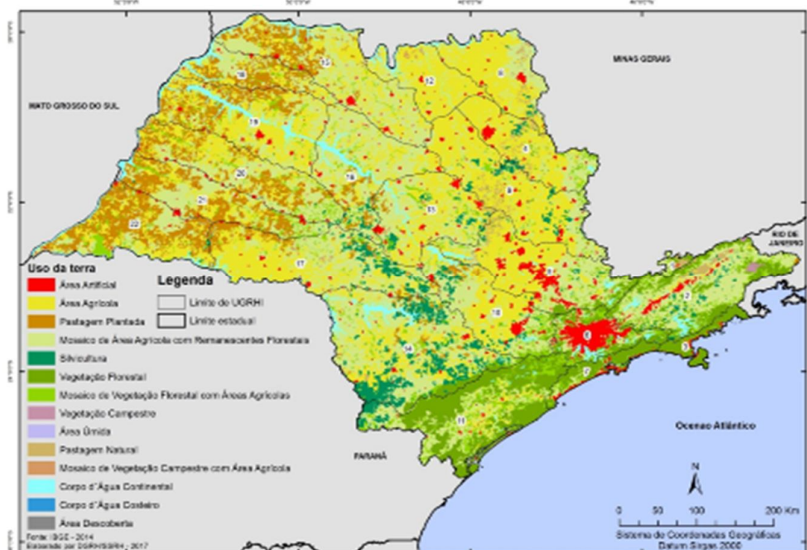
Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Bacia em questão é gerenciada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) que foi criado em 1995, para fiscalizar a utilização da água e minimizar a poluição das águas do Tietê e o reservatório de Itupararanga. Este comitê é constituído por representantes dos 34 municípios, outros componentes da sociedade civil organizada e membros de órgãos do estado.

O CBH-SMT também conta com a Fundação Agência de Bacias dos rios Sorocaba e Médio Tietê, responsável por fornecer apoio técnico-administrativo e também financeiro ao Comitê.

As bacias hidrográficas são locais de recepção de resíduos provenientes de fenômenos naturais, e também daqueles resultantes de atividades antrópicas, como as industriais e agrícolas, sendo estas últimas as principais responsáveis pela qualidade da água, conforme Figura 24.

Figura 24 - Uso da terra no Estado de São Paulo



Fonte: CETESB, 2017

Na Figura 25 pode-se visualizar que a área em estudo, ou seja, a UGRHI-10 possui atividade essencialmente industrial.

Figura 25 - Uso do solo no Estado de São Paulo



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê (<http://www.sigrh.sp.gov.br>)

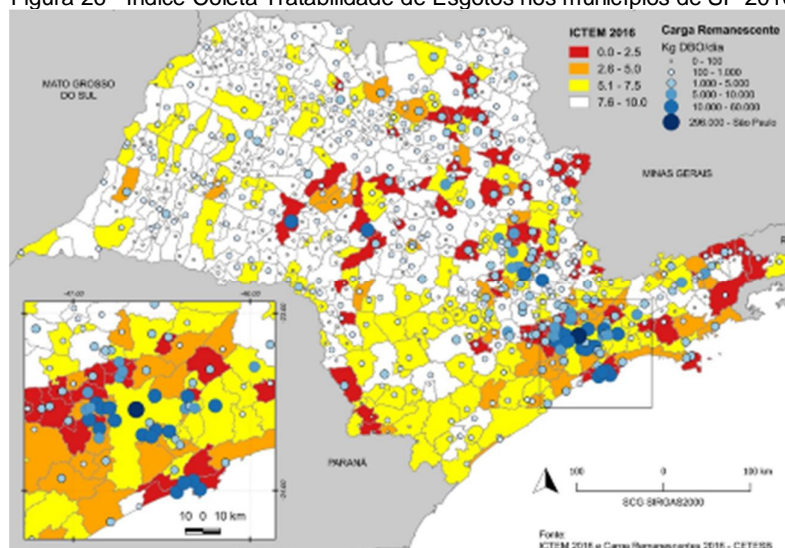
Segundo OLIVEIRA (2001), além de fatores antrópicos, como ocupação do território e atividades exploratórias mencionadas anteriormente, fatores naturais que influenciam a qualidade das águas podem ser: a radiação solar, a temperatura da água, a evaporação, a precipitação pluvial, o *run-off*, a topografia, a geologia, o solo

e a cobertura vegetal. Entre as causas mais prováveis dos eventos de alteração da qualidade da água resultante de ações antrópicas:

- Depleção de oxigênio dissolvido (OD): descargas municipais e industriais;
- Crescimento excessivo de algas: nutrientes em efluentes municipais, industriais e rurais;
- Toxicidade: em efluentes municipais, agrícola e drenagem de pântanos;
- Salinidade: carga salina em efluentes municipais, industriais e agrícolas;
- Poluição microbiológica: esgotos brutos, descarga de currais, águas pluviais e escoamento superficial (*runoff*) urbano;
- Sedimentação e turbidez: erosões devidas ao uso do solo.

Na Figura 26 pode-se visualizar um tratamento de esgoto quase majoritário.

Figura 26 - Índice Coleta Tratabilidade de Esgotos nos municípios de SP 2016



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê (<http://www.sigrh.sp.gov.br>)

O Município de Votorantim está localizado a sudoeste do Estado de São Paulo, distante a 100 km da Capital, ocupa uma área de 184 km<sup>2</sup>, faz divisa com os Municípios de: Sorocaba, Piedade, Ibiúna, Salto de Pirapora e Alumínio, com importantes vias de acesso como Rodovias Castelo Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270), João Lemes dos Santos (SP-264) e SP-79.

Votorantim prefixo 4E-021 Área km<sup>2</sup> 1.032,00 Sorocaba, Rio

- Coordenadas: UGRHI Tietê/Sorocaba
- Latitude do distrito sede do município: -23° 32' 29"

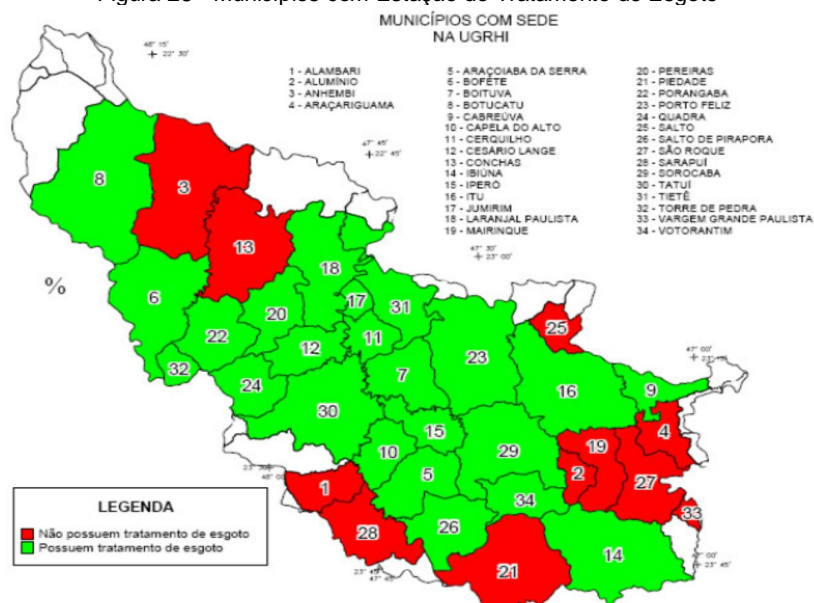




#### 4.2. Qualidade da água bruta afluente às ETA's (ICTEM, IQAe IAP)

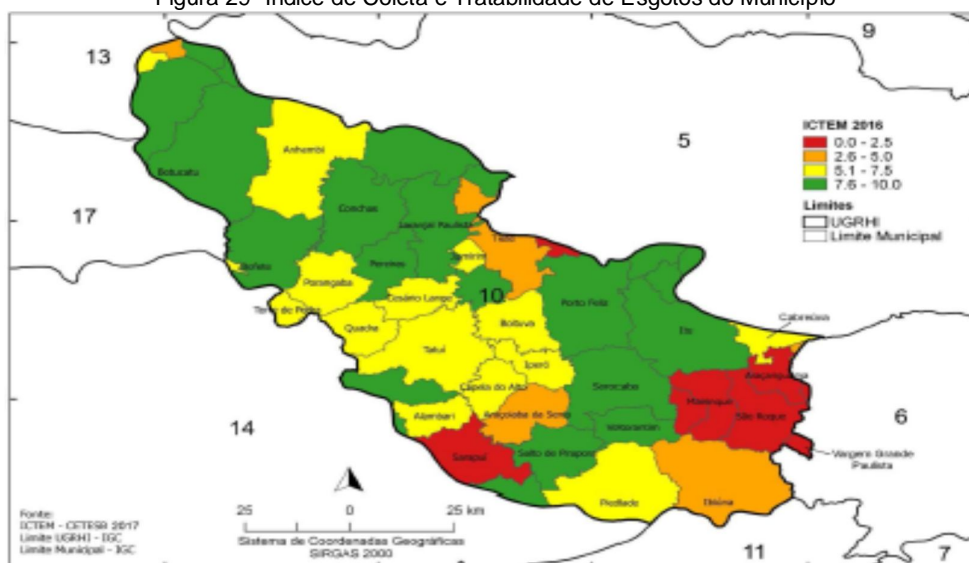
As Figuras 28 e 29 apresentam os municípios com ETE's e com ICTEM satisfatório na UGRHI 10 (cidade de Votorantim de número 34 e ICTEM de 7,5 à 10, ótimo).

Figura 28 - Municípios com Estação de Tratamento de Esgoto



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

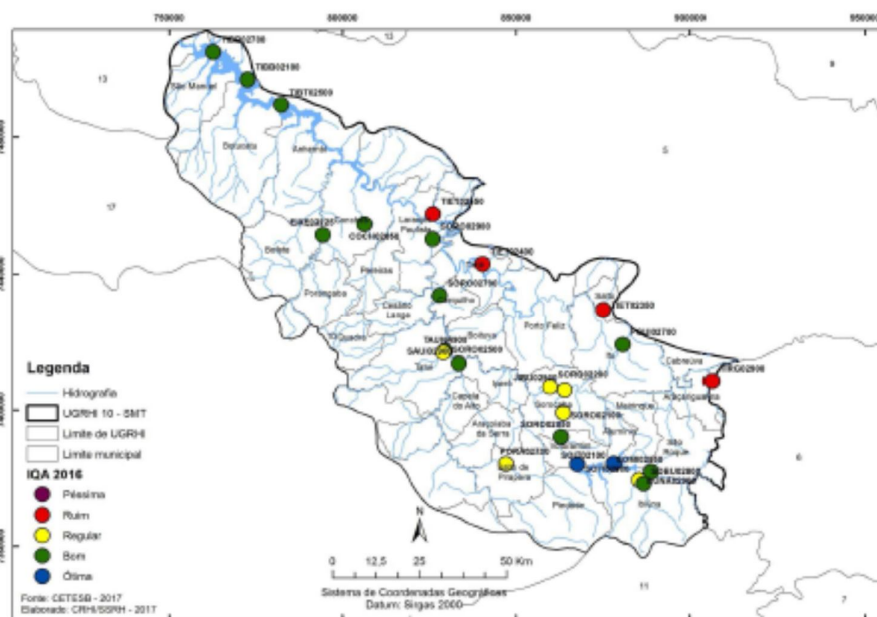
Figura 29- Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos do Município



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Figura 30 apresenta o IQA na UGRHI 10, sendo a área em estudo entre ótimo, bom e regular.

Figura 30 - Índice de Qualidade da Água - ano 2016



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Figura 31 apresenta o IAP na UGRHI 10, entre bom e regular.

Figura 31 - Índice de Água bruta para fins de abastecimento público

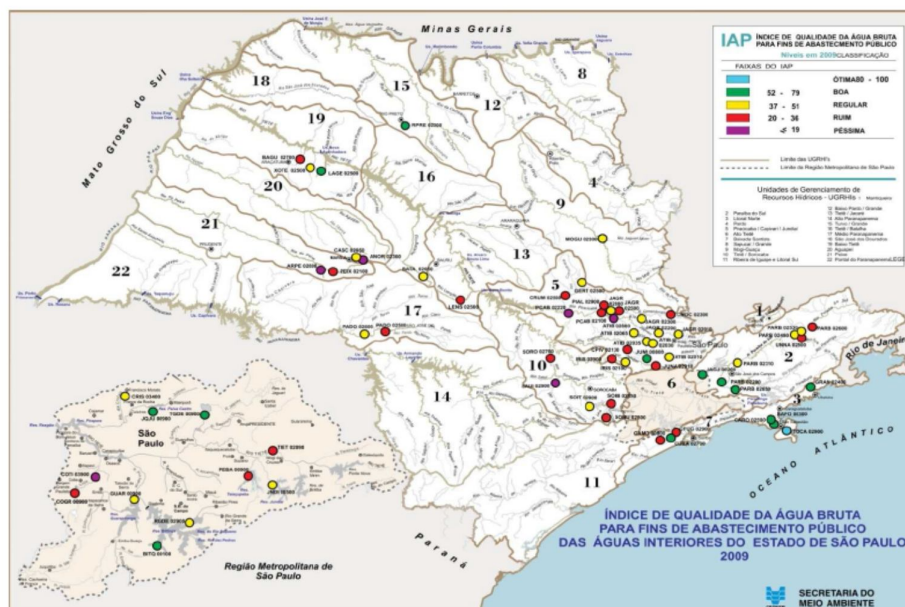


Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê



A Figura 32 apresenta o mapa do IAP do estado de São Paulo, com índice regular de água bruta para consumo humano.

Figura 32- Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

#### 4.3. Coleta e caracterização das amostras de água bruta e de água filtrada

Foram coletadas em garrafas de plástico transparente, com volume de 1 (um) litro conforme Figura 33, amostras de águas brutas e filtrada, nos pontos de captação de cada uma das 4 (quatro) ETA's, no intervalo de cada 15 (quinze) dias, durante 12 meses, de Março de 2017 à Março de 2018, com interrupção de 15/12/2017 à 15/01/2018, devido ao período de férias.

As amostras foram coletadas pelos próprios funcionários da empresa em estudo e responsável pelas ETA's, sendo devidamente lacradas de modo que as garrafas permanecessem hermeticamente fechadas e colocadas em caixas de isopor para permanecerem intactas durante o transporte, identificadas com data e ponto de captação de cada ETA, sendo enviadas ao Laboratório da UNAERP para caracterização Físico-Química, sempre em duplicatas, onde foram analisados, para água bruta e para água filtrada, os parâmetros:

- turbidez, cor aparente, pH, metais (Fe, Mn), absorvância a 254 nm e COT.

Figura 33 - Amostras em garrafas plásticas identificadas



Fonte: Autor, 2017.

Os equipamentos, função, parâmetros físico-químicos, unidades, métodos analíticos de medição e limites de detecção estão descritos nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Equipamentos do laboratório da UNAERP utilizados nos ensaios

Equipamentos	Função
Analisador de Carbono Orgânico Total TOC-L – marca SHIMADZU	Análise de Carbono Orgânico Total
Espectrofotômetro de leitura direta, modelos DR/2000, DR/2500 - marca Hach	Leitura de Cor Aparente e Cor Verdadeira Leitura de Cloro Total e de Cloro Livre
Espectrofotômetro de absorção atômica, modelo AA – Analyst 700 - marca PerkinElmer	Análises de Metais
Espectrofotômetro Cary 1E UV - marca Varian	Leitura de Absorbância a 254 nm
Bureta (Titrimétrico)	Alcalinidade Total
pHmetro (potenciômetro), modelo 230 - marca Orion	Leitura de pH
Turbidímetro nefelométrico, modelo 2100P - marca Hach	Leitura da Turbidez

Fonte: Autor, 2017

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos, unidades, métodos de medição e limites de detecção

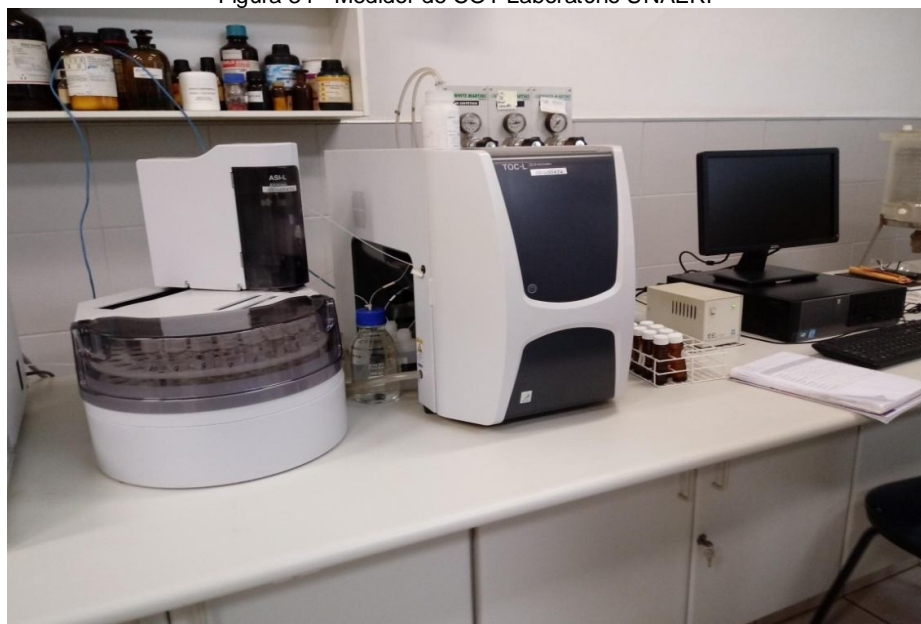
Parâmetro	Unidade	Metodologia	Limite de detecção (LDM)
Absorbância UV 254 nm	Adimensional	Espectrofotométrico-UV (*)	0,001
Cor Aparente	uH	Espectrofotométrico(*)	1
Turbidez	uT	Nefelométrico (*)	0,1
Ferro	mgL <sup>-1</sup> Fe	EAA-Chama (*)	0,01
Manganês	mgL <sup>-1</sup> Mn	EAA-Chama (*)	0,01
pH	Adimensional	Potenciométrico (*)	0 - 14
Carbono Orgânico Total (COT)	mgL <sup>-1</sup>	Combustão infravermelha (*)	0,001

\* Segundo APHA 2005 Standard Methods

Fonte: Autor, 2017

A Figura 34 mostra o equipamento para a medição de COT, do laboratório da UNAERP.

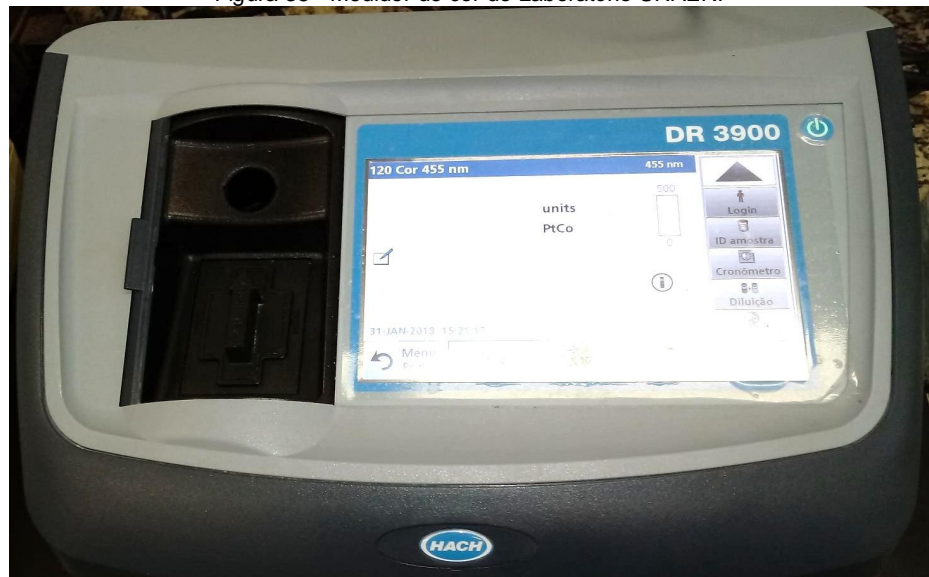
Figura 34 - Medidor de COT Laboratório UNAERP



Fonte: Autor, 2017.

A Figura 35 mostra o medidor de Cor do laboratório da UNAERP, do laboratório da UNAERP.

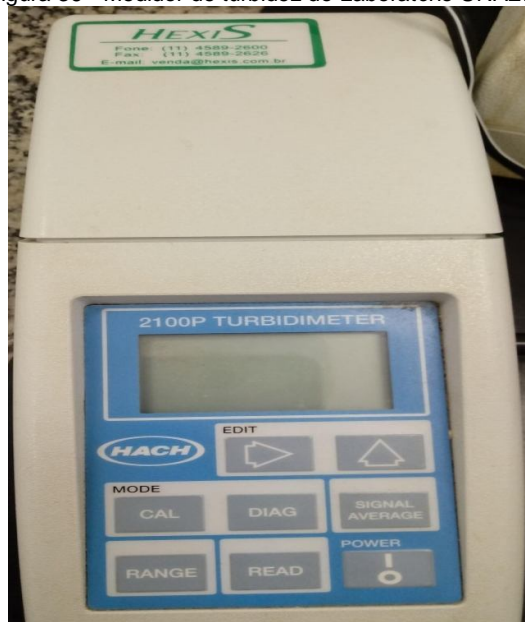
Figura 35 - Medidor de cor do Laboratório UNAERP



Fonte: Autor, 2017.

A Figura 36 mostra o medidor de Turbidez do laboratório da UNAERP.

Figura 36 - Medidor de turbidez do Laboratório UNAERP



Fonte: Autor, 2017.

#### 4.4. Análise Estatística e qualidade das águas bruta e filtrada das ETA's

Com os resultados do monitoramento das águas bruta e filtrada geral das ETA's avaliadas, foram elaborados gráficos tipo *Box plot*, além da elaboração de tabelas com considerações sobre o Resultado dos Testes Estatísticos, Análise de Variância (ANOVA) e de *Tukey*, como também da análise do Coeficiente de *Pearson* de Correlação Linear "r", para assegurar confiabilidade aos resultados.

O teste estatístico Análise de Variância (ANOVA) foi realizado entre os valores dos parâmetros em estudo para as quatro ETA's. O resultado da análise de variância, mostra se houve diferença estatística entre os grupos (ETA's) ao nível de significância desejado (95%).

Contudo o resultado da ANOVA evidencia que a distribuição de pelo menos um dos grupos se difere das demais, mas não indica entre quais grupos a diferença é significativa. Para obter esta informação, foi realizado um outro teste estatístico, o teste de *Tukey*.

O Coeficiente de *Pearson* de Correlação Linear "r" é adimensional e demonstra que varia de -1 à +1. Quando  $r = -1$  ocorre a correlação linear negativa perfeita e para  $r = +1$ , a correlação linear positiva é perfeita. Para  $r = 0$  não existe correlação linear entre as variáveis, podendo existir relação de outro tipo.

Quanto mais o valor de r se aproxima de -1 ou de +1, melhor é o grau de correlação entre as variáveis. A interpretação do valor de r depende dos objetivos de sua utilização e as razões para os quais este valor é calculado.

O valor de r (em módulo) pode ser qualitativamente avaliado da seguinte forma:

- se  $0,0 < r < 0,3$  – existe fraca correlação linear
- se  $0,3 < r < 0,6$  – existe moderada correlação linear
- se  $0,6 < r < 0,9$  – existe forte correlação linear
- se  $0,9 < r < 1,0$  – existe correlação linear muito forte

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Características da Bacia Hidrográfica e Análise ICTEM, IQA e IPA

Os resultados da caracterização da bacia hidrográfica em estudo, a UGRHI-10, demonstraram ser uma região com potencial poluente devido aos resíduos das atividades desenvolvidas na região e as possíveis consequências destes para a população destinatária da água distribuída.

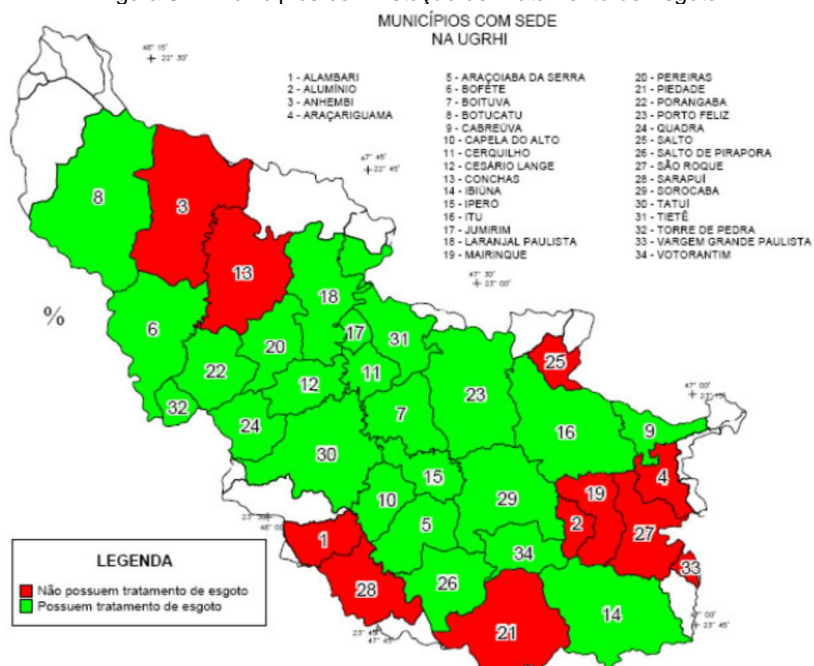
Invariavelmente a análise do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica à montante é muito importante e determinante da qualidade da água à jusante.

Com inúmeras atividades industriais e agropecuária, com ênfase para as culturas da cana de açúcar e *citrus* na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê, cuidados especiais são tomados previamente à captação de água bruta com fins de abastecimento público, no tocante às análises laboratoriais, tanto biológicas quanto físico-químicas desta água, o que se faz prioritário na adoção dos tratamentos a serem realizados, para a adequação da mesma aos padrões de potabilidade vigentes.

Através de consulta ao site do Comitê de Bacias, site da SABESP e trabalhos acadêmicos especializados na área, restou demonstrado que as ETA's 1,2 e 4 captam água bruta da Represa 4 originada pelo rio Sorocaba, de acordo com as suas classes de enquadramento, quer seja, a classe 2, e também para a ETA 3, mesmo recebendo despejo irregular de esgotos sanitários sem tratamento em 4 (quatro) cidades à montante da captação.

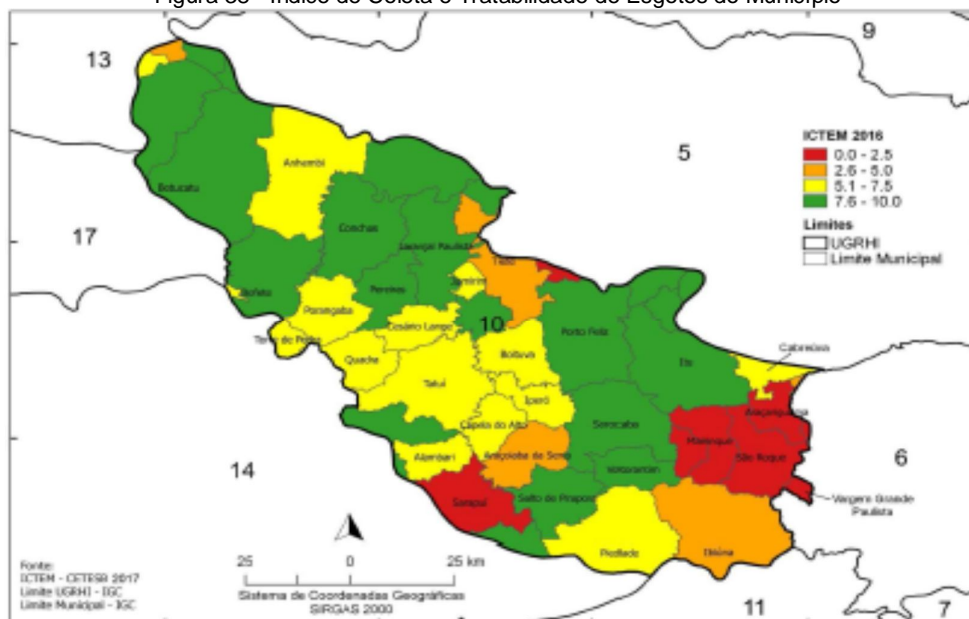
As Figuras 37 e 38 apresentam os municípios com ETE's e com ICTEM satisfatório na UGRHI 10 (cidade de Votorantim de número 34 e ICTEM de 7,5 à 10, ótimo).

Figura 37 - Municípios com Estação de Tratamento de Esgoto



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

Figura 38 - Índice de Coleta e Tratabilidade de Esgotos do Município

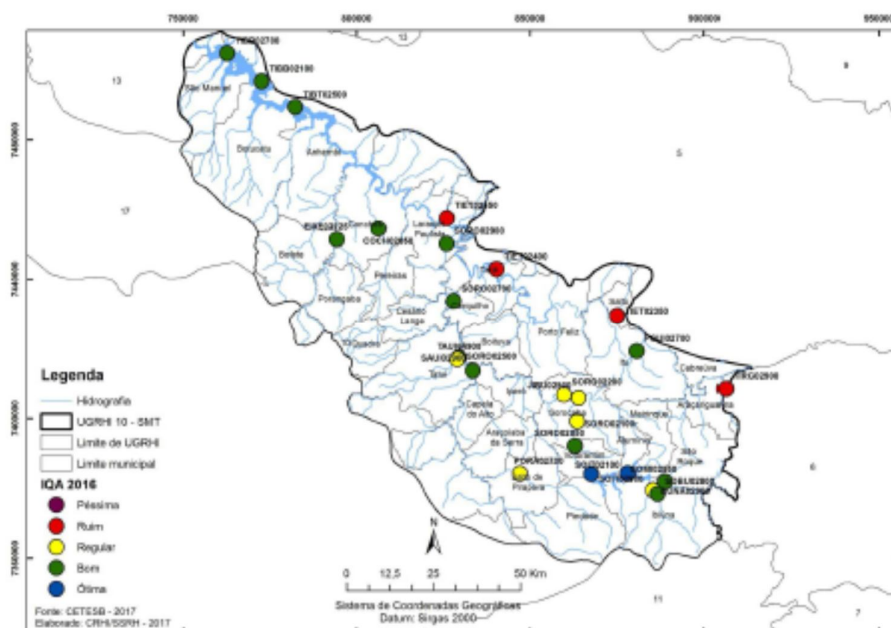


Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Figura 39 apresenta o IQA na UGRHI 10, sendo a área em estudo entre ótimo, bom e regular.



Figura 39 - Índice de Qualidade da Água - ano 2016



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

A Figura 40 apresenta o IAP na UGRH 10, entre bom e regular.

Figura 40-Índice de Água bruta para fins de abastecimento público

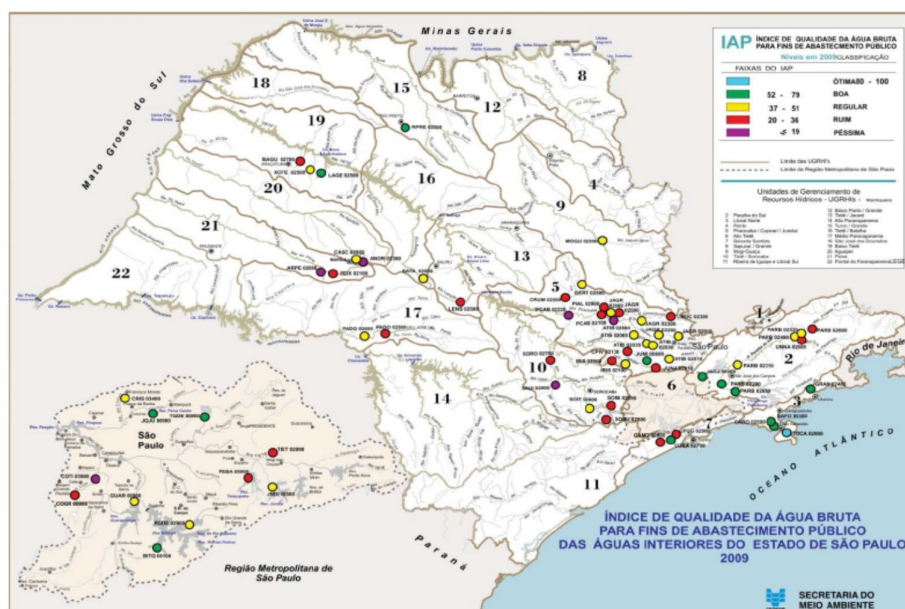


Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê



A Figura 41 apresenta o mapa do IAP do estado de São Paulo, com índice regular de água bruta para consumo humano.

Figura 41- Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê

Através de consulta ao site do Comitê de Bacias, site da SABESP e trabalhos acadêmicos especializados na área, restou demonstrado que as ETA's 1,2 e 4 têm qualidade de água bruta de acordo com as suas classes de enquadramento, quer seja, a classe 2, e também para a ETA 3, mesmo recebendo despejo irregular de esgotos sanitários sem tratamento em 4 (quatro) cidades à montante da captação.

## 5.2. Dados Técnicos das ETA's

As ETA's da cidade de Votorantim/SP são de ciclo completo com decantação e somente uma das ETA's trata água bruta em bacia sujeita ao lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais sem tratamento adequado, que no caso em estudo é a ETA 3. Os resultados em termos de qualidade de água bruta obtidos convergiram, uma vez que 3 (três) das ETA's em estudo, embora com pontos de captação distintos, captam água bruta da mesma represa 4, o que acarretou uma

convergência não desejada nos resultados mensurados, mesmo assim, permitindo a avaliação da eficiência de remoção de COT, porque são plantas com particularidades distintas, como: tratamento químico, detalhes de projeto e especificações hidráulicas, etc.

As 4(quatro) ETA's foram caracterizadas pelo tipo de tratamento completo, pela proximidade física entre elas, por serem administradas pelo mesmo grupo empresarial, o que facilitou as visitas técnicas.

#### ETA 1

A ETA 1 trata a vazão de 250 Ls<sup>-1</sup> e atende 70% da população de Votorantim (aproximadamente 80.000 moradores).

Na captação da água bruta afluyente à ETA 1 são aplicados o permanganato de potássio e o cloro na pré-oxidação. A coagulação é feita com o coagulante PAC, e é usado polímero sintético como auxiliar de floculação. A filtração ocorre nos filtros com meio filtrante de antracito e areia, e no final a água filtrada geral recebe cloro, flúor e alcalinizante.

#### ETA 2

A ETA 2 é de ciclo completo com decantação e trata a vazão de 80 Ls<sup>-1</sup>. Na ocasião da visita, a unidade de floculação em chicanas estava em reforma.

Na captação da água bruta afluyente à ETA 2 também são aplicados o permanganato de potássio e o cloro na pré-oxidação. A coagulação é feita com o coagulante PAC, e é usado polímero sintético como auxiliar de floculação. A filtração ocorre nos filtros com meio filtrante de antracito e areia, e no final a água filtrada geral recebe cloro, flúor e alcalinizante.

A remoção média de COT resultou em torno de 34,6%.

#### ETA 3

Na captação de água bruta é aplicado cloro (NaClO), Flúor e Cloro antes do filtro, Carvão antracitoso (antracito) no filtro, tendo esta ETA a capacidade de tratamento de água bruta de 30 Ls<sup>-1</sup>, atendendo 10% da população, ou 12.000 moradores.

A ETA 3 realiza a pré-cloração ou a oxidação só com hipoclorito de sódio logo após a captação, sem a adição de permanganato de potássio e adiciona flúor e cloro antes dos filtros. Não houve melhora considerável na remoção de COT, sendo a remoção média de COT de apenas 15%. Considerando a qualidade da água bruta como sendo a pior das quatro ETA's estudadas.

#### ETA 4

A ETA 4 é de ciclo completo com decantação e trata a vazão de de água bruta de 70 Ls<sup>-1</sup>. Na captação é aplicado permanganato de potássio e cloro, além de POL e PAC, Flúor antes do decantador, Carvão antracitoso (antracito) no filtro, atendendo 17% da população, ou 20.000 moradores.

Na ETA 4 a remoção média COT em torno de 37,8%, com apenas alguns pontos fora da média, considerando a qualidade da água bruta, o tratamento convencional utilizado e os parâmetros internacionais, este foi o melhor resultado obtido na remoção de COT.

A captação das ETA's (1,2 e 4) estudadas, são feitas na represa 4, que é originada pelo represamento da água do rio Sorocaba. Existem ETE's somente à jusante dos pontos de captação, sendo que próximos à represa existem apenas alguns pequenos vilarejos. Tanto a turbidez quanto a cor aparente aumentam de forma considerável nos períodos de chuva e diminuem nos períodos de estiagem.

A captação da ETA 3 é no rio Ipanema das Pedras, ou Rio Ipaneminha, cuja qualidade da água é bem inferior às captações para as demais ETA's, além do tratamento nesta ETA não conseguir diminuir os valores de COT à patamares aceitáveis, comparados à padrões de primeiro mundo (Ver Gráfico ETA 3). A razão apontada é o fato de existirem 4 (quatro) cidades à montante da captação da ETA 3 sem esgoto tratado, com conseqüente descarga de esgotos sanitários, sendo elas: Cotia, Ibiúna, São Roque e Vargem Grande Paulista, mesmo sendo atendidas pela SABESP. Somente na ETA 3 foram encontrados valores de COT acima de 3 mgL<sup>-1</sup> na água filtrada.

Este trabalho demonstra de forma evidente a importância do monitoramento do teor de COT na água produzida por ETA's de ciclo completo, comprovando ainda a

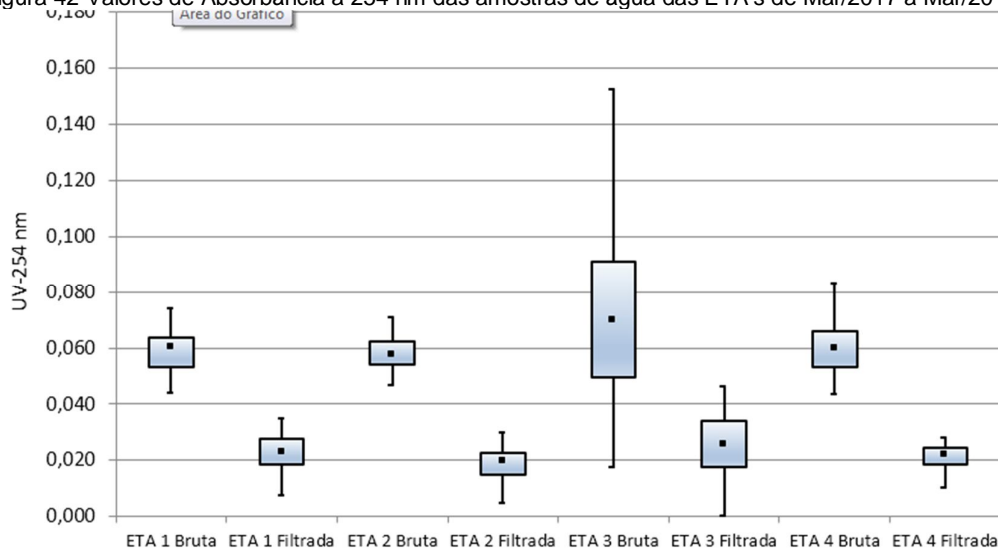
necessidade de intervenções, que garantam a qualidade da água filtrada a ser distribuída à população, vez que restou demonstrado que os processos normalmente em uso nas ETA's de ciclo completo, por si só, são absolutamente ineficazes na remoção adequada de COT, além de poder gerar subprodutos nocivos à saúde humana. E de acordo com a quantidade de substâncias geradas, demandaria um tratamento específico, por exemplo, de adsorção física. Assim, o parâmetro COT deve ser invariavelmente uma referência de peso no controle de todo o processo, futuramente, em toda planta de tratamento.

### 5.3 Resultados das Análises Laboratoriais das Amostras coletadas

#### ABSORBÂNCIA UV a 254 nm

Nas amostras de água bruta da ETA 3 observa-se uma dispersão maior prevista pelas características da captação (descarte de esgotos sanitários sem tratamento em 4 (quatro) cidades à montante da ETA 3), com resultados discrepantes (à maior) em relação às demais, com variabilidade entre 0,018 e 0,154 ( $\text{cm}^{-1}$ ), de valores para água bruta, resultando a maioria dos resultados para água filtrada, abaixo de 0,04 ( $\text{cm}^{-1}$ ), conforme Figura 42.

Figura 42-Valores de Absorbância a 254 nm das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018

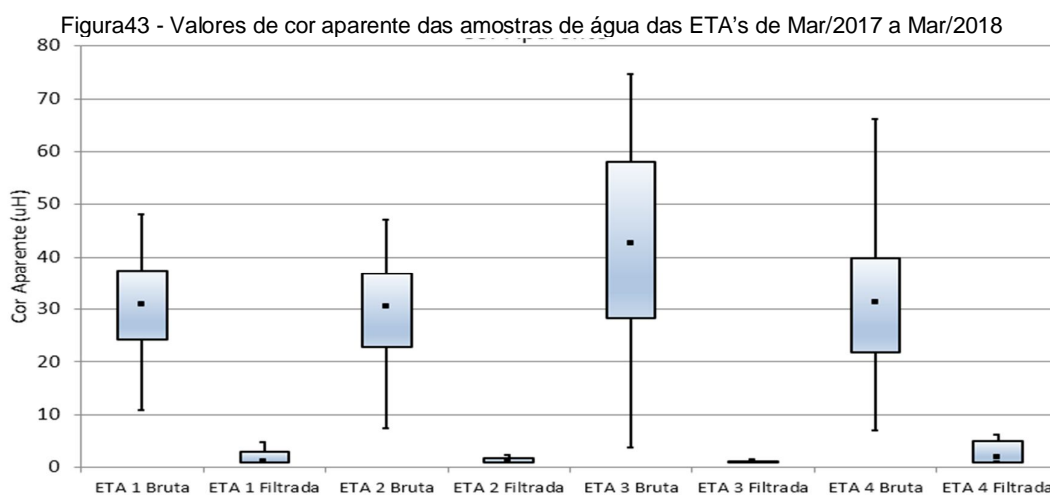


Fonte: Autor (2018).

## COR APARENTE

Nas amostras de água bruta da ETA 3 observa-se uma maior amplitude de variação (entre 5 e 75 uH, com valor médio de 42 uH), seguida pela ETA 4 entre 7 e 66 uH, com valor médio de 31 uH), sendo que as outras duas ETA's entre 11 e 48 uH e entre 7 e 47 uH, ambas com valor médio de 30 uH, mas os valores de água filtrada muito abaixo de 15 uH.

Após tratamento, as ETA's 1,2 e 4 mostraram valores para água filtrada <5 uH, sendo o melhor resultado para a ETA 3, com valores < 1 uH conforme Figura 43.



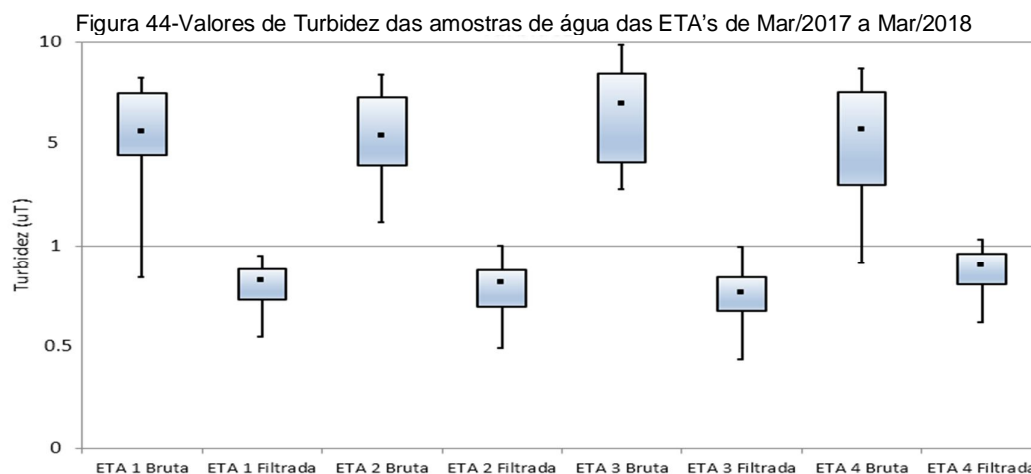
Fonte: Autor (2018).

Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5): Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- Cor Aparente 15 uH

## TURBIDEZ

Nas amostras de água bruta das ETA's 1, 2 e 3 observa-se valores inferiores a 1,0 uT em 100% das amostras, sendo somente nas amostras de água brutada ETA 4 que os valores encontrados não foram menores que 0,5 uT, em 95% das amostras, denotando não atendimento à Portaria vigente, caracterizando desconformidade importante em relação aos Padrões Organolépticos para água filtrada para abastecimento humano descritos na Figura 44.

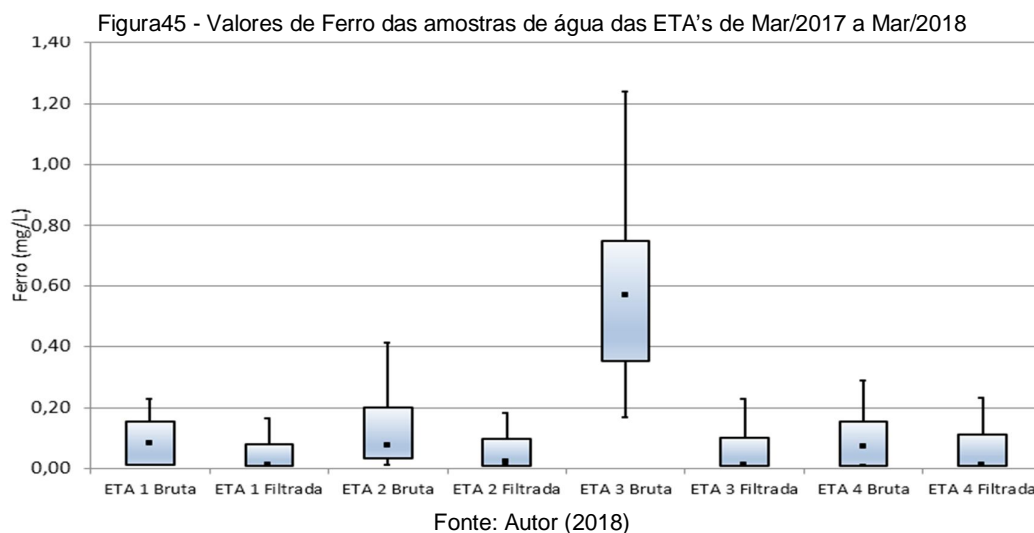


Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5): Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- Turbidez < 0,5 uT em 95% e < 1,0 uT em 100%

## FERRO

Nas amostras de água bruta da ETA 3 observa-se concentração de ferro total de 0,16 a 1,24  $\text{mgL}^{-1}$ , resultando aceitável após o tratamento (<0,3  $\text{mgL}^{-1}$ ), conforme Figura 45.



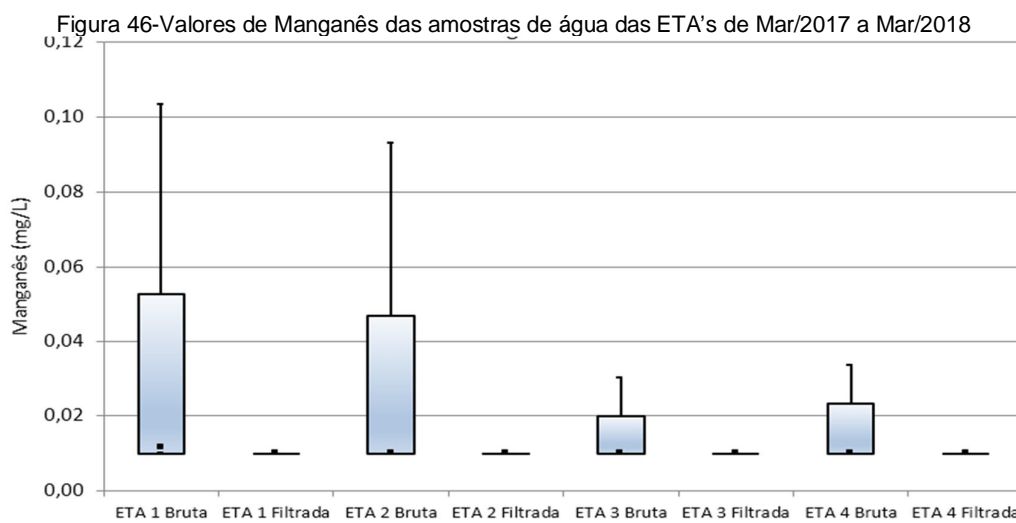
Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5):

### Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- Ferro  $0,3 \text{ mgL}^{-1}$

### Concentração de manganês total

Nas amostras de água bruta das ETA's 1 e 2 observa-se maior concentração (variabilidade de  $0,01$  a  $0,104 \text{ mgL}^{-1}$ ) de valores, que após tratamento restaram aceitáveis na Figura 46.



Fonte: Autor (2018).

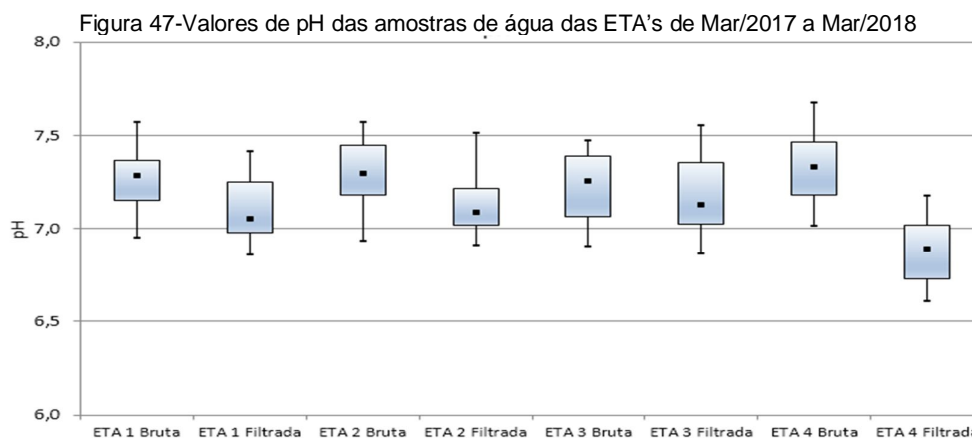
Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5):

### Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- Manganês  $0,1 \text{ mgL}^{-1}$

### pH

Nas amostras de água tratada das ETA's o pH se situou entre 6,6 e 7,7, em conformidade com a Legislação Vigente, que prescreve entre 6,0 e 9,5 na distribuição conforme Figura 47.



Fonte: Autor (2018).

Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5):

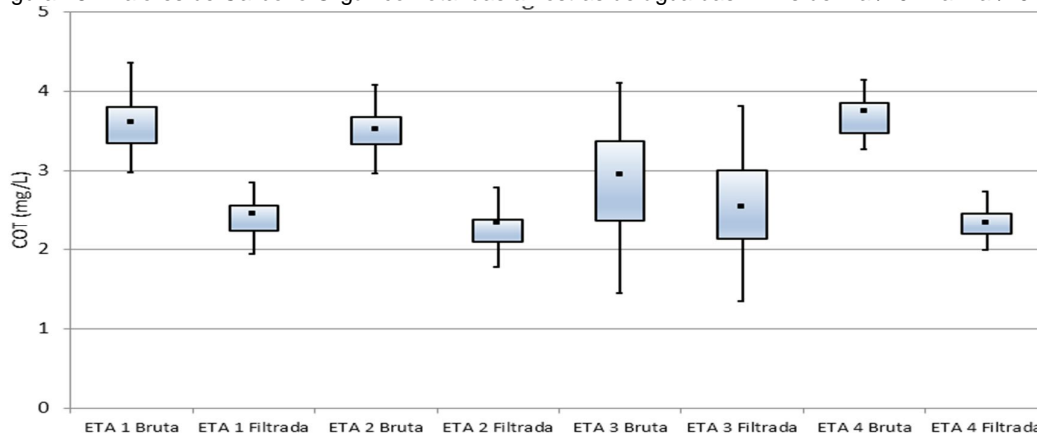
Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- pH entre 6,0 e 9,5 na saída da ETA

Concentração de carbono orgânico total

Nas amostras de água bruta da ETA 3 observa-se maior dispersão (variabilidade) conforme Figura 48. Após tratamento, os valores de COT resultaram abaixo de  $3\text{mgL}^{-1}$  em todas as ETA's, mas todos os resultados acima de  $2\text{mgL}^{-1}$ , portanto não atendendo a Norma Internacional da EPA, para água potável de reuso indireto, com o VMP de no máximo  $2\text{mgL}^{-1}$  e principalmente de acordo com a recomendação da Norma Internacional da EPA de produção de água filtrada com  $2,0\text{mgL}^{-1}$  para evitar a formação de subprodutos orgânicos halogenados.

Figura 48 - Valores de Carbono Orgânico Total das amostras de água das ETA's de Mar/2017 a Mar/2018



Fonte: Autor (2018).



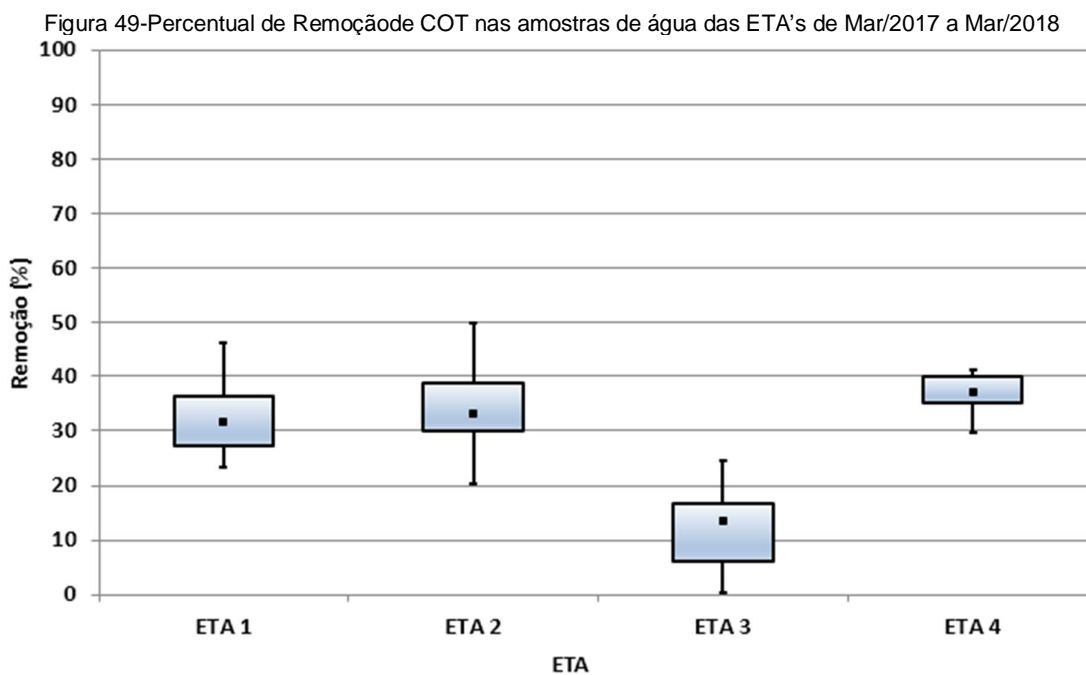
Análise dos Padrões de Potabilidade segundo a PRC nº 5 (ANEXO 10 do ANEXO XX da PRC nº 5):

Tabela de Padrão Organoléptico de Potabilidade

- COT sem parâmetros definidos na Legislação Nacional (sem VMP)

REMOÇÃO DE COT nas amostras de água

Nas amostras de água bruta da ETA 3 observa-se um menor percentual de redução de COT, pelo tratamento ocorrer com maior alcalinidade e pela pH maior na coagulação, conforme Figura 49.



Fonte: Autor (2018).

#### 5.4 Resultado da Análise de Variância (ANOVA)

O resultado da Análise de Variância (ANOVA) mostra diferença estatística nas remoções de COT entre os grupos (ETA's) ao nível de significância desejado (95%). Na Tabela 6 o valor de F (28,18) é bem maior que o F crítico(2,72) e o valor-P bem pequeno, (muito menor que 0,05).

Tabela 6 - Análise de Variância (ANOVA) da remoção de Carbono Orgânico Total nas ETA's 1,2,3 e 4.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,657064	3	0,219021	28,18939	0,0000000000002334	2,724944
Dentro dos grupos	0,590492	76	0,00777			
Total	1,247556	79				

Fonte: Autor, 2018

Contudo o resultado da ANOVA evidencia que a distribuição de pelo menos um dos grupos se difere das demais, mas não indica entre quais grupos a diferença é significativa. Para obter esta informação, foi realizado um outro teste estatístico, o teste de *Tukey*. A Tabela 7 apresenta os dados do teste de *Tukey*.

Tabela 7- Teste de *Tukey* para identificar grupo com diferença significativa entre as ETA's 1,2,3 e 4.

Test: Tukey Alpha:=0,05 LSD:=0,07322					
Error: 0,0078 df: 76					
ETA	Means	n	S.E.		
3	0,14	20	0,02	A	
1	0,32	20	0,02		B
2	0,33	20	0,02		B
4	0,37	20	0,02		B
Means with a common letter are not significantly different (p > 0,05)					

Fonte: Autor, 2018.

Das 4 (quatro) ETA's, a ETA 3 representada pela letra A e as demais com a letra B, significando que a ETA 3 apresentou dados diferentes de remoção de COT.

Considerações sobre o Coeficiente de Correlação Linear "r" conforme Tabela 8.

Considerando  $0,6 < r < 0,9$ , com forte correlação linear, tem-se que:

- COT da água filtrada com o COT da água bruta, (0,6)
- Manganês da água filtrada com a UV-254 da água filtrada, (0,6)
- Alcalinidade da água bruta com o COT da água filtrada, (0,6), A adsorção de substâncias húmicas é maior pelo maior pH (alcalinidade) da água natural
- Cor da água bruta com a turbidez da água bruta, (0,7).

Considerando  $0,9 < r < 1,0$ , com correlação linear muito forte, tem-se que:

- Cor da água filtrada com a turbidez da água filtrada, (0,9), decorrência das dosagens de sulfato de alumínio e de polímero no processo de coagulação.
- Ferro da água filtrada com o Ferro da água bruta, (0,9)

Tabela 8- Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 1

	COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	Turb Bruta uT	Turb Tratada uT	Cor Bruta uH	Cor Tratada uH	UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	pH Bruta	pH Tratada	Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>
COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	1,0													
COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,6	1,0												
Turb Bruta uT	0,1	-0,3	1,0											
Turb Tratada uT	-0,3	-0,3	0,5	1,0										
Cor Bruta uH	-0,1	-0,3	0,7	0,1	1,0									
Cor Tratada uH	-0,2	-0,3	0,4	0,9	0,0	1,0								
UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	0,5	0,2	0,5	0,1	0,2	0,0	1,0							
UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	-0,3	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,5	1,0						
pH Bruta	0,1	-0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	-0,1	-0,1	1,0					
pH Tratada	0,1	0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,3	0,5	1,0				
Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,1	0,1	0,0	0,4	-0,2	0,4	0,2	-0,2	0,2	-0,1	1,0			
Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,0	-0,1	0,2	0,5	0,0	0,5	0,2	-0,1	0,2	-0,2	0,9	1,0		
Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,1	0,2	-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,3	-0,1	0,2	0,1	0,1	-0,2	1,0	
Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,1	0,1	-0,3	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,6	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	1,0

Fonte: Autor (2018)

Considerações sobre o Coeficiente de Correlação Linear “r” conforme Tabela 9.

Considerando  $0,6 < r < 0,9$ , com forte correlação linear, tem-se que:

- Turbidez da água filtrada com a turbidez da água bruta, (0,6)
- Ferro da água filtrada com o Ferro da água bruta, (0,6)
- Cor da água bruta com a turbidez da água bruta, (0,6), determinante das dosagens de sulfato de alumínio e de polímero no processo de coagulação.
- Cor da água filtrada com a cor da água bruta, (0,6)

Considerando  $0,9 < r < 1,0$ , com correlação linear muito forte, tem-se que:

- Manganês da água filtrada com o Manganês da água bruta, uma correlação muito forte (0,9).

Tabela 9 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 2.

	COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	Turb Bruta uT	Turb Tratada uT	Cor Bruta uH	Cor Tratada uH	UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	pH Bruta	pH Tratada	Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>
COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	1,0													
COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,2	1,0												
Turb Bruta uT	0,4	-0,1	1,0											
Turb Tratada uT	0,1	0,2	0,6	1,0										
Cor Bruta uH	0,3	-0,2	0,6	0,4	1,0									
Cor Tratada uH	0,1	-0,2	0,5	0,4	0,6	1,0								
UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	0,5	0,1	0,4	0,5	0,5	0,3	1,0							
UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	0,4	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,4	1,0						
pH Bruta	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	-0,1	0,2	-0,2	1,0					
pH Tratada	-0,2	0,0	-0,2	-0,5	-0,4	-0,2	-0,6	-0,7	0,0	1,0				
Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,4	0,0	0,4	0,3	0,3	0,0	0,5	-0,1	0,4	-0,1	1,0			
Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,3	-0,2	0,6	1,0		
Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	-0,1	0,1	-0,2	1,0	
Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>	-0,4	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,9	1,0

Fonte: Autor (2018).

Considerações sobre o Coeficiente de Correlação Linear “r” conforme Tabela10.

Considerando  $0,9 < r < 1,0$ , com correlação linear muito forte, tem-se que:

- Cor da água bruta com a turbidez da água bruta, uma correlação forte (0,9), que determina, por exemplo, as dosagens de sulfato de alumínio e polímero no processo de coagulação.
- UV-254 da água filtrada com o COT da água filtrada, com uma correlação forte (0,9). A varredura espectral no espectrofotômetro ocorre segundo o princípio que, orgânicos de absorção de ultravioleta (UV) em uma amostra absorvem a luz UV na proporção da sua concentração. Segundo EDZWALD (1993), o UV-254 é usado na Europa para monitorar a remoção de MON nas ETA's e nos EUA como parâmetro substituto no controle do COT, precursores de THM's, compostos organohalogenados, na adsorção do COT por CAG e na remoção do COT e precursores de THM's em ETA's que operam por filtração direta. Estudos de Gallard e Von Gunten (2002), De Salvo (2002) e Andreola et al. (2005) demonstraram que existe uma forte correlação entre a formação de THM's e o UV254. Para determinação da MON usa-se o COT e o UV-254, com resultados satisfatórios.

Tabela 10 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 3

	COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	Turb Bruta uT	Turb Tratada uT	Cor Bruta uH	Cor Tratada uH	UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	pH Bruta	pH Tratada	Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>
COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	1,0													
COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	1,0	1,0												
Turb Bruta uT	0,3	0,2	1,0											
Turb Tratada uT	0,2	0,3	0,4	1,0										
Cor Bruta uH	0,4	0,3	0,9	0,3	1,0									
Cor Tratada uH	0,0	-0,1	0,1	0,4	0,1	1,0								
UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	0,8	0,8	0,7	0,3	0,8	0,0	1,0							
UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	0,9	0,9	0,0	0,2	0,2	0,0	0,7	1,0						
pH Bruta	0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,1	0,0	-0,1	1,0					
pH Tratada	0,1	0,0	-0,3	-0,1	-0,3	0,0	-0,2	-0,2	0,7	1,0				
Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,0	0,0	0,3	0,2	0,4	-0,1	0,1	-0,1	-0,3	-0,2	1,0			
Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	-0,3	-0,4	0,0	0,1	0,1	0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,3	0,7	1,0		
Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,1	0,0	0,3	0,0	0,3	-0,1	0,2	0,2	-0,4	-0,5	0,3	-0,1	1,0	
Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>	-0,3	-0,4	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0	0,7	1,0

Fonte: Autor (2018).

Considerações sobre o Coeficiente de Correlação Linear “r” conforme Tabela 11.

Considerando  $0,6 < r < 0,9$ , com forte correlação linear, tem-se que:

- Cor da água bruta com a Turbidez da água bruta, (0,8), determinante das dosagens de sulfato de alumínio e polímero no processo de coagulação.

Tabela 11 - Valores de Coeficiente de Correlação Linear 'r' - ETA 4

	COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	Turb Bruta uT	Turb Tratada uT	Cor Bruta uH	Cor Tratada uH	UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	pH Bruta	pH Tratada	Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>
COT Bruta mgL <sup>-1</sup>	1,0													
COT Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,6	1,0												
Turb Bruta uT	0,1	-0,1	1,0											
Turb Tratada uT	0,1	-0,5	0,6	1,0										
Cor Bruta uH	0,3	0,0	0,8	0,4	1,0									
Cor Tratada uH	0,0	-0,1	0,4	0,4	0,5	1,0								
UV-254 Bruta cm <sup>-1</sup>	0,0	-0,3	0,5	0,6	0,3	0,1	1,0							
UV-254 Tratada cm <sup>-1</sup>	0,2	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,3	1,0						
pH Bruta	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	-0,5	1,0					
pH Tratada	-0,2	0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,1	-0,5	-0,4	0,5	1,0				
Ferro Bruta mgL <sup>-1</sup>	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,3	0,0	0,2	0,0	1,0			
Ferro Tratada mgL <sup>-1</sup>	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	-0,2	-0,1	0,0	1,0		
Manga Bruta mgL <sup>-1</sup>	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	-0,2	0,2	-0,4	-0,4	0,2	0,1	-0,2	-0,1	1,0	
Manga Tratada mgL <sup>-1</sup>	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	0,4	1,0

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 12 tem o objetivo de facilitar a análise comparativa dos resultados neste trabalho.

Tabela 12 - Comparação dos parâmetros de potabilidade analisados das amostras de água

	UV-254 cm <sup>-1</sup>	CorAparente uH	Turbidez uT	Fe mgL <sup>-1</sup>	Mn mgL <sup>-1</sup>	pH	COT mgL <sup>-1</sup>	RemoçãoCOT(%)	MédiaRemoção (%)
ETA 1	0,019 0,028	1/3	0,72 0,88	<b>0,02</b> <b>0,08</b>	0,01	6,97 7,25	2,25 2,55	27 36	31,5
ETA 2	<b>0,016</b> <b>0,022</b>	1/2	0,69 0,88	0,02 0,10	0,01	7,02 7,22	<b>2,10</b> <b>2,40</b>	30 39	34,5
ETA 3	0,018 0,036 ***	<b>1</b>	<b>0,68</b> <b>0,84</b>	0,02 0,10	0,01	7,02 7,36 ***	2,25 3,00 ***	6 17	11,5
ETA 4	0,019 0,024	1/5 ***	0,80 0,88 ***	0,02 0,12 ***	0,01	<b>6,72</b> <b>7,02</b>	2,20 2,45	36 40	<b>38</b>
MelhorResultado	ETA 2	ETA 3	ETA 3	ETA 1	=	ETA 4	ETA 2	ETA 4	<b>ETA 4</b>
PiorResultado	ETA 3	ETA 4	ETA 4	ETA 4	=	ETA 3	ETA 3	ETA 3	<b>ETA 3</b>

Fonte: Autor (2018).

\*\*\* água bruta de qualidade inferior

Nota-se que mesmo a ETA 3 apresentando uma condição precária em relação à qualidade da água bruta devido ao despejo irregular de esgoto sem tratamento em 4 (quatro) cidades à montante da ETA 3, no tocante à cor aparente e à turbidez apresentou melhores resultados que as demais ETA's, pelo seu tratamento ocorrer com maior alcalinidade e com pH de coagulação maior, portanto acarretando uma menor remoção de COT, portanto, em conformidade com os dados da Tabela 2 da USEPA.

Por outro lado, a ETA 4 apresentou os piores resultados para cor aparente, turbidez e Ferro, decorrentes de características próprias de sua água bruta. Neste caso também, a ETA 4 apresentou a maior taxa de remoção de COT, de acordo com a maior alcalinidade, confirmando o esperado.

## 6. CONCLUSÕES

- A caracterização da bacia em estudo foi realizada, obtendo-se os dados técnicos necessários para a análise dos resultados e de seus fatores intervenientes. Tal levantamento das informações sobre os mananciais em uso e características das respectivas bacias constatou que, sendo uma região essencialmente com atividade industrial e agropecuária, mesmo com a proximidade de menos de 100 (cem) quilômetros, da maior cidade do país e capital do estado com mais de 13 milhões de habitantes, o que poderia influenciar negativamente a qualidade das águas superficiais captadas, pelo excesso de poluição e principalmente através do despejo irregular de esgotos sanitários e industriais sem o devido tratamento, mas apesar disso, a água captada apresentou qualidade regular, de acordo com os índices analisados (ICTEM / IQA / IPA), principalmente no tocante ao COT;
- Foi realizado o levantamento e a análise de qualidade da água bruta afluyente às ETA's selecionadas através dos ICTEM / IQA / IPA(Ver item 5.1) na sub-bacia e período em estudo, constatando-se ser uma região de água superficial de qualidade regular, o que restou devidamente confirmado, mesmo nas medições pontuais a cada 15 (quinze) dias durante (1) um ano;
- a caracterização das amostras de águas bruta e filtradas ETA's, em laboratório no período de estudo (Mar/2017 à Mar/2018), demonstrou haver uma variabilidade nos parâmetros analisados. Em relação à água bruta, devido principalmente ao uso e ocupação do solo em cada região e em relação à água filtrada, decorrente dos tratamentos empregados em cada ETA;
- a eficiência de remoção de COT variou devido à qualidade da água bruta afluyente às ETA's e também em relação ao tratamento adotado (adição de produtos químicos, local de adição, quantidades, etc).A ETA 3, pelo seu tratamento ocorrer com maior alcalinidade e com pH de coagulação maior, acarretou uma menor remoção média de COT, da ordem de 11,5% .A melhor eficiência de remoção de COT apresentada foi a da ETA 4, da ordem de 38%, devido a maior alcalinidade no tratamento, seguida pela ETA 2, da ordem de

34,5% e depois pela ETA 1, da ordem de 31,5%, de acordo com o decréscimo no pH e no maior valor de alcalinidade, ao mesmo tempo.

Por fim, foi realizada a análise estatística dos resultados e a correlação das características das ETA's com a qualidade da água bruta e filtrada, eficiência de remoção de COT obtidas na água filtrada, obtendo-se resultados comprovadamente consistentes e confiáveis.



## 7. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Em suma, a qualidade da água carece de conscientização, ação, prioridade máxima e principalmente de legalidade, restando os seguintes questionamentos para reflexão:

- Quando a água efluente de uma ETA de Tratamento de ciclo completo pode ser devidamente considerada potável para fins de abastecimento humano? Somente considerando parâmetros legais pré-definidos? E quando não houver nem parâmetros legais pré-definidos? E quando os parâmetros legais pré-definidos não garantirem a potabilidade? Ou existem outras considerações a serem feitas? Quais seriam tais importantes considerações adicionais?

Devem ser monitorados os índices de SPD's, especialmente os THM's decorrentes da ação do cloro em presença de matéria orgânica.

Que um novo trabalho possa ser conduzido por todo o país, ou no mínimo em todo um estado, de modo a permitir uma análise mais global, considerando as características específicas de várias bacias e um número expressivo de ETA's de tratamento convencional, permitindo conclusões mais abrangentes.

Que todas as ETA's de Tratamento de ciclo completo do país, recebam uma instrução de início de monitoramento obrigatório do COT, para elaboração de um banco de dados nacional, de modo a nortear o futuro VMP a ser determinado, de acordo com as particularidades nacionais.

Que todas as ETA's de Tratamento de ciclo completo do país, recebam uma instrução sobre a necessidade de construção de tanques de reservação de água tratada, proporcional ao volume diário produzido, de modo a permitir ações corretivas emergenciais, no caso de desvios de padrões de potabilidade da água tratada produzida em cada ETA.

Que todas as ETA's de Tratamento de ciclo completo do país, recebam uma instrução sobre a necessidade de tratamento urgente e correta destinação a todo o lodo gerado no tratamento, minimizando os impactos ambientais aos corpos hídricos e impedindo a prática inadequada do reuso indireto não programado de esgotos (domésticos e industriais), almejando ações comprovadamente sustentáveis.

Por fim, Recomendações para a continuidade deste trabalho:

Que o Ministério da Saúde juntamente com as demais autoridades sanitárias, à brevidade possível, publique um adendo à Portaria PRC nº 5 de 2017, em seu Anexo 10 do Anexo XX, no tocante à inexorável necessidade de monitoramento do COT, na captação de água bruta e principalmente na água filtrada efluente das ETA's de Tratamento Convencional, fixando um VMP, considerando as Legislações Internacionais vigentes, naturalmente com ênfase prioritária nas condições das bacias hidrográficas nacionais, respeitando as especificidades inerentes a cada região, decorrentes da sua atual situação relativa ao saneamento básico local exequível e efetivamente realizado, à existência e percentual ativo de ETE's, ao nível de industrialização e/ou atividades agropecuárias, aos índices pluviométricos experimentados, ao uso e ocupação do solo, dentre outros fatores não menos importantes.

Os resultados apresentados constituem-se em um alerta para que os responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento de serviços de água completem os tratamentos das ETA's em ciclo completo, para que tratem água superficial de mananciais contaminados, com o uso de carvão ativado, e/ou processos oxidativos avançados e/ou membranas, para uma maior segurança dos padrões de potabilidade e melhoria da qualidade da água distribuída, com a conseqüente diminuição dos riscos à saúde pública.

O parâmetro COT deve invariavelmente e com urgência máxima, ser uma referência de peso no controle do processo geral em todas as plantas de tratamento.

*“ Milhares viveram sem amor, mas ninguém jamais viveu sem água ”*

W. H. AUDEN

*“Não há caminho fácil da terra às estrelas”.*

SÊNECA

*“Tenha em mente que tudo o que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações. Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos de seus filhos.”*

ALBERT EINSTEIN

*“O que sabemos é uma gota de água; o que ignoramos é um oceano”.*

ISAAC NEWTON



## REFERÊNCIAS

ABAS ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php>, Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

AGÊNCIA FAPESP- Contaminantes Emergentes na água, Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/12846> . Acesso em: 19 de Março de 2018.

ÁGUA, MÉTODOS E TECNOLOGIA DE TRATAMENTO, Carlos A. Richter, Editora Blucher, 2009.

ALVES, Célia. Tratamento de águas de abastecimento. 3. ed. Porto: Publindústria, 2010

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), American Water Works Association(AWWA), Water Environmental Federation(WEF), 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater Sec. Ed., American Public Association - APA, Washington DC, USA.

AMORIM, Flavia Ferreira. Remoção dos contaminantes orgânicos B-estradiol e saxitoxinas (STX, Neo-STX e dc-STX) por meio de nanofiltração: avaliação em escala de bancada. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) -Universidade de Brasília, Brasília, 2007.  
<<http://repositorio.unb.br/handle/10482/1853>>Acesso em: 10 Jul. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA), Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/textos-das-paginas-do-portal/lista-de-orgaos-gestores-estaduais>, Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

AWWA (1990). Water quality and treatment Water Quality and Treatment – A handbook of community water supplies. 4.<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill. New York.

AWWA (1999). Water Quality and Treatment – A handbook of community water supplies. 5.<sup>a</sup> Ed. McGraw-Hill. New York.

BACCAN, N.; ANDRADE, J.C. e; GODINHO, O.E.S.; BARONE, J.S., Química Analítica Quantitativa Elementar, 3a edição (3a reimpressão), Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2005.

BASSETT, J.; DENNEY, R. C.; JEFFERY, G. H. & MENDHAN, J., VOGEL Análise inorgânica quantitativa,, Editora Guanabara S.A., Rio de Janeiro, 1992.

BS EN 901:2013– Chemicals used for treatment water intend for human consumption – Sodium hypochlorite. London, England: British Standards Institution, 2013. ISBN 978 0 580 800122 2. p. 1-42.

BRASIL/2002, FILHO/2004, WHITEHEAD/2005

CAMPINAS, M., LUCAS, H. e ROSA, M. J. (2003a). Análise das eficiências de tratamento na ETA de Alcantarilha. Recursos Hídricos, 24(2), p. 21-31.

CAMPINAS, M., RIBAU TEIXEIRA, M., LUCAS, H. e ROSA, M. J. (2003b). Previsão da capacidade de remoção de cianobactérias e cianotoxinas na ETA de Alcantarilha. Tecnologia da Água. Edição I, p. 60-66, Maio.

CARMICHAEL, W. W. (1997). The cyanotoxins. *Advances in Botanical Research*, 27, p. 211-256.

CHORUS, I. e BARTRAM, J. (1999). Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente/2005). Resolução 357 Diário Oficial da União, número 53, de 18 de março de 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA. DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB), Disponível em: [www.cetesb.sp.br](http://www.cetesb.sp.br), Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DAEE (SP), Disponível em: [www.dae.sp.gov.br](http://www.dae.sp.gov.br), Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

DIAS, Débora X. Impacto ambiental e métodos de tratamento de micro-poluentes para a minimização de efeitos nocivos ao ecossistema. Lorena, São Paulo. 46 f. Monografia (Graduação em Engenharia Bioquímica). 2012.

DI BERNARDO L., DANTAS, A. D. B. (2005). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Volumes 1 e 2. 2ª Ed. Rima Editora, São Carlos, SP, Brasil.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL, Paz, L. P. (2009). Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Volumes 1 e 2. 1ª Ed. Editora LDiBe, São Carlos, SP, Brasil.

DIRETIVA n.º 98/83/EC, de 3 de Novembro 1998, relativa à qualidade da água para consumo humano. *Jornal Oficial da Comunidade Européia* L 330, 1998-12-05. p. 32-54.

DIRETIVA (UE) 2015/1787, de 6 de outubro de 2015, que altera os anexos II e III da Diretiva 98/83/CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano. *Jornal Oficial da União Européia* L 260, 2015-10-07. p. 6-17.

FOO, K.Y. & HAMEED, B.H. (2010) Detoxification of pesticide waste via activated carbon adsorption process. *Journal of hazardous materials*, v. 175, n. 1-3, p. 1-11.

HALL, T., SCHMIDT, W., CODD, G. A., VON GUNTEN, U., KAAS, H., ACERO, J., HEIJMAN, B., MERILUOTO, J., ROSA, M. J., MENAIA, J. e MANCKIEWICZ, J. (2005). Best practice guidance for management of cyanotoxins in water supplies.

HANSLMEIER, Arnold (2011) – *Water in the Universe*. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 978-90-481-9983-9. p. 1-36. [Acedido em 7 de novembro de 2015]. Disponível na Internet:  
[http://books.google.com.br/books?id=Mj5tSld5tjMC&dq=water+in+the+universe&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.com.br/books?id=Mj5tSld5tjMC&dq=water+in+the+universe&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s).

INSTITUTO TRATA BRASIL (2018), *Saneamento é Saúde*, [Acedido em 11 de Junho de 2018]. Disponível na Internet:  
<http://www.tratabrasil.org.br/institucional/quem-somos>

ISO/TS 13530:2009 – *Water quality - Guidance on analytical quality control for chemical and physicochemical water analysis*. Geneva, Switzerland: ISO, 2009-03-15. sem ISBN. p. 1-39.

KERRY J. HOWE ...[et all]; *Princípios de tratamento de água*, tradução Noveritis do Brasil; revisão técnica Elvis Carissimi. – São Paulo, SP: Cengage, 2016

MAGOSSI, Luiz Roberto; BONACELLA, Paulo Henrique. *Poluição das águas*. 2. ed. ref. São Paulo: Moderna, 2008.

NEWCOMBE, G. e NICHOLSON, B. (2002). Treatment options for the saxitoxin class of cyanotoxins. *Proc. of the 2nd IWA World Water Congress*.

NEWCOMBE, G. e NICHOLSON, B. (2004). Water treatment options for dissolved cyanotoxins. *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, 53, p. 227-239.

O AQUÍFERO GUARANI, BORGUETTI, N. R.B., BORGUETTI, J.R. e ROSA FILHO, E. F., Disponível em: [www.oaquiferoguarani.com.br](http://www.oaquiferoguarani.com.br), Acesso em: 19 de Agosto de 2018

OHLWEILER, O. A., *Química analítica quantitativa*, 3a ed., Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1982, vol. 1 e vol 2.

O que é a Lei das Águas. Dicionário Ambiental. ((o))eco, Rio de Janeiro, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28797-o-que-e-a-lei-das-aguas/>>. Acesso em: 27 Ago. 2018.

PESCARA, Igor Cardoso. Ocorrência e remoção de contaminantes emergentes por tratamentos convencionais de água e esgoto. 2014. 138 p. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/249647>>. Acesso em: 10 Jul. 2018.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB), Disponível em: [www.finep.gov.br/prosab/index.html](http://www.finep.gov.br/prosab/index.html), Acesso em: 19 de Agosto de 2017.

RIBAU TEIXEIRA, M., ROSA, M. J. (2006d). Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystisaeruginosa*. Part I: Key operating conditions. *Separation and Purification Technology*, 52, p. 84-94.

RIBAU TEIXEIRA, M. e ROSA, M. J. (2007). Comparing dissolved air flotation and conventional sedimentation to remove cyanobacterial cells of *Microcystisaeruginosa*. Part II: The effect of water background organics. *Separation and Purification Technology*, 53, p. 126-134.

RICHTER, Carlos A., Água – Métodos E Tecnologia De Tratamento – ISBN: 8521204981

RODRIGUEZ, E., ONSTAD, G., KULL, T., METCALF, J., ACERO, J. e von GUNTEN, U. (2007). Oxidative elimination of cyanotoxins: comparison of ozone, chlorine, chlorine dioxide and permanganate. *Water Research*, 41, p. 3381-3393.

ROSA, M. J., CAMPINAS, M., SOARES, S. e CECÍLIO, T. (2007). Alterações tecnológicas a implementar na linha de tratamento para cumprimento da nova legislação relativa à qualidade de água para consumo humano. *Tecnologia da Água*, Edição II, 49, p. 18-31.

SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS (SSRH), Disponível em: [www.saneamento.sp.gov.br](http://www.saneamento.sp.gov.br), Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA), Disponível em: [www.ambiente.sp.gov.br](http://www.ambiente.sp.gov.br), Acesso em: 19 de Agosto de 2018.

SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. Identificação espectrométrica de compostos orgânicos. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013

SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO (SISAGUA), Disponível em:

<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/o-ministerio/principal/leia-mais-o-ministerio/771-secretaria-svs/vigilancia-de-a-a-z/vigilancia-da-qualidade-da-agua-vigiagua/l1-vigilancia-da-qualidade-da-agua-vigiagua/12560-sisagua>, Acesso em: 17 de Março de 2017.

SKOOG, D.A.; WEST, D.M.; HOLLER, F.J.; CROUCH, S.R., Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8a edição Norte-Americana, Thomson Learning, São Paulo, 2006.

SOARES, Alexandra. F. S.; LEÃO, Mônica. M. D., Contaminação dos mananciais por micro-poluentes e a precária remoção desses contaminantes nos tratamentos convencionais de água para potabilização. Revista Jurídica De Júri. ISSN 1809-8487, v. 14, n. 24, p. 36-85, jan./jun. 2015. Acesso em 08 junho 2017.

SOUZA, WALTERLER ALVES DE, Tratamento de água, Natal:CEFET/RN, 2007, 149 p.

STUK (2000). Treatment techniques for removing natural radionuclides from drinking water. STUK–Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki.

TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY, Disponível em: [www.tceq.state.tx.us/publications](http://www.tceq.state.tx.us/publications), Acesso em: 01 de Novembro de 2016.

TITRIMETRIA, ANÁLISE VOLUMÉTRICA OU VOLUMETRIA; Universidade Federal do Pará - <[www.ufpa.br](http://www.ufpa.br)>

TOXIC EVK12002–00107 – Research supported by the European Commission under the Fifth Framework Programme and contributing to the implementation of the Key Action Sustainable Management and Quality of Water.

UNESCO (2012) – Water, Cultural Diversity and Global Environmental Change. Barbara Rose Jonston. Springer – UNESCO-IHP. ISBN 978-602-98372-4-7. p. v - xx. Acedido em 15 de novembro de 2015. Disponível na Internet: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002151/215119e.pdf>



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA (1999)  
Enhanced coagulation and enhanced precipitative softening guidance manual EPA  
815-R-99-012, May 1999, USA.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA (2001)  
Stage 1 Disinfectantes and disinfection byproducts rule: A quick reference guide  
EPA 816-F-01-010, May 2001, USA.

USEPA (1999b). Alternatives desinfectants and oxidants guidance  
manual. Environmental Protection Agency – Office of Water, EPA 815-R-99-014, Abril.

VIEIRA, P., ROSA, M. J. e ALEGRE, H. (2007). Estações de tratamento de água  
para consumo humano em Portugal. ITH 44. Laboratório Nacional de  
Engenharia Civil. Lisboa.

WHO (2004). Water Treatment and Pathogen Control. M. W. LeChevallier and K.K. Au  
(Eds.). World Health Organization. Geneva.

WHO (2006). Guidelines for drinking-water quality, First addendum to third edition,  
Volume 1, Recommendations. World Health Organization. Geneva.

WHO (2011) – Guidelines for Drinking-water Quality. 4ª Edição. Geneva, Switzerland:  
WHO, 2011. ISBN 978 92 4 154815 1. p. 1-23, 45-75, 96-127, 140-151, 172-188, 223-  
229, 334-335.

WHO (2014) – Progress on Drinking Water and Sanitation. Geneva: WHO / UNICEF,  
2014. ISBN 978-92-4-150724-0. p. 14-17. [Acedido em 28 de novembro de 2015].  
Disponível na Internet:  
[http://www.unicef.org/publications/files/JMP\\_report\\_2014\\_webEng.pdf](http://www.unicef.org/publications/files/JMP_report_2014_webEng.pdf).

XU, P. & DREWES, J.E. (2006) Viability of nanofiltration and ultra-low pressure  
reverse osmosis membranes for multi-beneficial use of methane produced water.  
Separation and Purification Technology, v. 52, n. 1, p. 67-76.

ZHANG, Y.; VAN DER BRUGGEN, B.; CHEN, G.; BRAEKEN, L.;  
VANDECASTEELE, C. (2004) Removal of pesticides by nanofiltration: effect of the  
water matrix. Separation and Purification Technology, v. 38, n. 2, p. 163-172.