



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia


Marisa Magalhães da Silva

**Caracterização das águas do Canal do Mangue:
Diagnóstico e propostas**

Rio de Janeiro
2017

Marisa Magalhães da Silva

Caracterização das águas do Canal do Mangue: Diagnóstico e propostas



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental- Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dra. Daniele Maia Bila

Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Lippel Sant'Anna Júnior

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S586 Silva, Marisa Magalhães da.
Caracterização das águas do Canal do Mangue: diagnóstico e propostas / Marisa Magalhães da Silva. – 2017.
92f.

Orientador: Daniele Maia Bila.
Coorientador: Geraldo Lippel Sant'Anna Júnior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Água - Controle de qualidade - Teses. 3. Água - Reutilização - Teses. 4. Água - Purificação - Teses. I. Bila, Daniele Maia. II. Sant'Anna Júnior, Geraldo Lippel. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Marisa Magalhães da Silva

Caracterização das águas do Canal do Mangue: Diagnóstico e propostas

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Saneamento Ambiental- Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovada em 06 de setembro de 2017.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Daniele Maia Bila, D. Sc (Orientadora)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Geraldo Lippel Sant’Anna Júnior, D. Sc (Coorientador)
PEAMB – UERJ

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior, D. Sc.
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dra. Simone Maria Ribas Vendramel, D. Sc
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ

Dra. Marília Teresa Lima do Nascimento, D. Sc
Universidade Federal Fluminense – UFF

Rio de Janeiro

2017

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Altemar e Lourdes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tudo que tenho, tudo que sou e por toda força e coragem que Ele me tem dado para prosseguir.

Aos meus pais por me incentivarem e me ajudarem com todo amor, carinho e atenção. Ao meu querido e amado sobrinho por compreender a ausência da titia.

À minha queridíssima orientadora, professora Daniele Bila, por tamanha atenção, paciência e carinho. Ela não sabe, mas eu já havia “a escolhido” como orientadora antes do processo seletivo do mestrado rsrs. Agradeço também ao professor Geraldo Lippel, que foi um presente como coorientador, por compartilhar seus conhecimentos com propriedade, tremenda simpatia e atenção.

Aos professores que compõem a banca examinadora, Simone Vendramel, Akira Ohnuma e Marília Nascimento pelo comprometimento.

Aos meus amigos que estão sempre na torcida pelo meu crescimento profissional e acadêmico: Camila, Amanda, Cadu, Bruna, Andressa, Sara, Maristela e Myrian. Agradeço muitíssimo ao meu querido amigo André, Allan, Ana Dalva e ao Sr. Jair por terem me ajudado durante as coletas. Aos técnicos, Aninha, Louise e Sidnei e todo o pessoal do LES pelo grande auxílio durante as análises e por todos os momentos que compartilhamos dentro do laboratório. À fonoaudióloga Denise que, além de excelente profissional, foi atenciosa, me permitindo desabafar durante as sessões.

Eu a prometi que dedicaria um parágrafo somente para ela, a queridíssima doutoranda Gisele, que me ajudou muitíssimo dentro do LES, compartilhando seus conhecimentos, experiências e *softwares* rsrs.

À Débora, à Jossana, ao Rogério, à Denise e a todos os meus colegas e professores da turma PEAMB/2015 pelos momentos de descontração e principalmente pelas conversas construtivas para o nosso próprio crescimento acadêmico.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para o meu crescimento como pessoa e como profissional, possibilitando a conclusão de mais uma etapa na minha vida.

RESUMO

SILVA, M. M. *Caracterização das águas do Canal do Mangue: diagnóstico e propostas*. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O Canal do Mangue, um importante corpo hídrico situado na região central da cidade do Rio de Janeiro, recebe águas de alguns rios locais e outras contribuições de águas pluviais. Parte do canal situa-se em área urbana com constantes transformações no quadro do projeto Porto Maravilha. O canal deságua na Baía da Guanabara, sistema hídrico ambientalmente fragilizado. Este trabalho tem por objetivo caracterizar as águas do Canal do Mangue, mediante diagnóstico prévio e propor alternativas de tratamento físico-químico. Foram realizadas quatro campanhas de amostragem no período de um ano, em cinco pontos ao longo do canal, de modo a verificar a qualidade da água. Para um dos pontos foram realizadas duas coletas adicionais de amostras para se investigar o tratamento físico-químico da água do canal com vistas a gerar água para reúso. Os resultados revelam qualidade insatisfatória das águas com respeito à maioria dos parâmetros avaliados, resultando em IQA de categoria Muito Ruim entre 20,7 e 25,7. Todavia, verificou-se que ao empregar um sistema de tratamento simples para parte da água do canal, é possível gerar água de reúso para aplicações não potáveis, como lavagem de ruas e praças, visto que foi possível remover a turbidez, cor verdadeira e coliformes termotolerantes, além de reduzir 88% da DQO bruta com uma concentração de 25 mg L⁻¹ de FeCl₃ no processo de coagulação/ floculação. Tais resultados encontram-se em conformidade com os limites normativos não potáveis deliberados nacional e internacionalmente. Adicionalmente foram realizadas observações sobre o estado de conservação do canal e propostas para aprimorar a sua dinâmica.

Palavras-chave: Canal do Mangue; Qualidade da água; Tratamento de água; Reúso de água.

ABSTRACT

SILVA, M. M. *Characterization of the waters in Mangue Channel: diagnosis and proposals*. 2017. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Mangue river channel is an important water body located in the central area of Rio de Janeiro, which is the recipient of some local rivers, rain water and other contributions. The channel is partially located in an urban area that is being transformed in the context of Porto Maravilha project. The water of the channel flows to the Guanabara Bay, a system environmentally fragile. This work aims to characterize channel waters, through previous diagnosis and to propose alternatives of physical-chemical treatment. Four sampling campaigns were conducted during a year in five selected points of the channel in order to investigate the water quality. For one selected point two additional sampling campaigns were performed to conduct a study of physical-chemical treatment of the water aiming reuse. The results indicate that for most analyzed parameters the water quality can be considered unsatisfactory, resulting in Poor WQI of between 20,7 and 25,7 according to INEA. On the other hand, the utilization of a simple water treatment process can produce water for reuse in some non-potable applications, such as street and square washing, since it was possible to remove turbidity, true color and fecal coliforms, besides reducing 88% of the gross COD at a concentration of 25 mg L⁻¹ FeCl₃ in the flocculation/ coagulation processes. And even comes into compliance with regulatory limits non-potable nationally and internationally deliberate. In addition, observations were made about the state of conservation of the water channel and proposals were made to enhance the channel operation.

Keywords: Mangue channel; Water quality; Water treatment; Water reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa conceitual da dissertação.....	15
Figura 2 – Canal do Mangue no século XIX e no século XX.....	16
Figura 3 – Módulo de equipamento FLOTFLUX.....	18
Figura 4 – Unidade de Tratamento de Rios Arroio Fundo.....	19
Figura 5 – Antes e depois da revitalização do córrego Paco, Manila, Filipinas.....	23
Figura 6 – Ilustração de <i>Aliivibrio fischeri</i> e <i>Daphnia similis</i> , organismos utilizados para teste de toxicidade.....	32
Figura 7 – Imagem de satélite do canal com pontos de amostragem.....	42
Figura 8 – Principais rios tributários do Canal do Mangue.....	46
Figura 9 – Canal do Mangue e suas formas de contribuição de rios e esgoto.....	48
Figura 10 – Materiais sedimentados e flutuantes do canal.....	49
Figura 11 – Chuva acumulada mensal na cidade do Rio de Janeiro em 2015.....	50
Figura 12 – Chuva acumulada mensal na cidade do Rio de Janeiro em 2016.....	51
Figura 13 – Correlação entre os valores médios (em cada ponto) de Abs254 e DQO filtrada.....	56
Figura 14 – Correlação entre os valores médios (em cada ponto) dos teores de cloretos e STD.....	56
Figura 15 – Remoção da turbidez em função da concentração de coagulante (turbidez inicial = 16 UNT), amostragem ponto 1, 14/06/2016.....	58
Figura 16 – Remoção de cor verdadeira e DQO bruta em função do teor de coagulante (Amostragem ponto 1, 23/11/2016, Cor inicial 28 UC, DQO bruta inicial 32 mg L ⁻¹).....	59
Figura 17 – Volume de lodo obtido nos ensaios de coagulação em função da turbidez removida (17 ensaios realizados com teores de FeCl ₃ de 5 a 100 mg L ⁻¹).....	59
Figura 18 – Carta controle do microcrustáceo <i>Daphnia similis</i>	61
Figura 19 – Carta Controle da bactéria <i>Aliivibrio fischeri</i>	62
Figura 20 – Concentração Efetiva média nos organismos testados em amostras brutas.....	63
Figura 21 – Efeitos tóxicos máximos das amostras brutas nos organismos-teste	63
Figura 22 – Efeitos tóxicos máximos das amostras tratadas nos organismos-teste .	64
Figura 23 – Esquema de uma instalação para produção de água de reúso.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Unidades de Tratamento de Rios da cidade do Rio de Janeiro.	20
Tabela 2 – Categoria dos índices de qualidade de águas (CETESB, 2015).	29
Tabela 3 – Categoria e significado dos índices de qualidade de águas (INEA, 2016).	29
Tabela 4 – Parâmetros de qualidade das águas do Canal do Mangue de 2015 a 2017.	31
Tabela 5 – Marcos regulatórios nacionais e da região sudeste (estaduais e municipais) envolvendo reúso de águas residuárias.....	35
Tabela 6 – Comparativo de padrões de qualidade de águas residuárias para reúso não potável citados nos documentos.	38
Tabela 7 – Valores máximos permitidos de parâmetros de qualidade de água para reúso não potável em países europeus.	39
Tabela 8 – As coordenadas (GPS) dos pontos de amostragem.	42
Tabela 9 – Métodos de determinação dos parâmetros físico-químicos segundo APHA (2012).	44
Tabela 10 – Apresentação da extensão da Sub-bacia do Canal do Mangue e seus rios tributários.....	47
Tabela 11 – Dados de precipitação da Estação São Cristovão referente aos meses de coleta.....	50
Tabela 12 – Sumário dos resultados dos valores dos parâmetros físico-químicos. ...	54
Tabela 13 – Resultados de colimetria* - antes e após os ensaios de floculação e cloração.....	60
Tabela 14 – Resultados do Índice de Qualidade das águas do Canal do Mangue (ponto 1).	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs 254	Absorbância em 254 nanômetros
CE ₅₀	Concentração Efetiva em 50% dos organismos-teste
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
CETESB	Companhia Ambiental do Estado do São Paulo
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica DE São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de qualidade de água
N-amoniacal	Nitrogênio amoniacal
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
O&G	Óleos e graxas
OD	Oxigênio Dissolvido
PDBG	Programa de Despoluição da Baía de Guanabara
P-total	Fósforo Total
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
UTR	Unidade de Tratamento de Rios

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	12
	OBJETIVOS	14
	Objetivo Geral	14
	Objetivos Específicos	14
	Estrutura da Dissertação	15
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1	Canal do Mangue: Breve histórico	15
1.2	Exemplos e medidas de recuperação da qualidade de corpos d'água	16
1.2.1	<u>Unidade de Tratamento de Rio do Arroio Fundo</u>	17
1.2.2	<u>Programa de Despoluição da Baía de Guanabara</u>	20
1.2.3	<u>Projeto Tietê</u>	21
1.2.4	<u>Projetos Internacionais</u>	22
1.3	Técnicas de tratamento de efluente para reúso em ETE's do Rio de Janeiro	23
1.3.1	<u>Processo de coagulação/floculação</u>	25
1.3.2	<u>Processo de sedimentação</u>	26
1.3.3	<u>Processo de desinfecção</u>	26
1.4	Parâmetros de qualidade das águas	27
1.5	Toxicidade	32
1.6	Legislação de reúso de águas	33
1.7	O quadro atual e as propostas de intervenção do poder público na cidade do Rio de Janeiro	40
2	MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1	Coleta, obtenção e padronização das amostras	41
2.2	Processos Analíticos	43
2.2.1	<u>Parâmetros físico-químicos</u>	43
2.2.2	<u>Ensaio de toxicidade</u>	44
2.3	Testes de tratabilidade	45
2.4	Observações sobre o Canal do Mangue feitas durante as amostragens	46
2.5	Precipitação Pluviométrica	49
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.1	Determinação de parâmetros físico-químicos	52

3.2	Ensaio de tratabilidade da água do Canal do Manguê	57
3.3	Qualidade microbiológica da água	60
3.4	Ensaio de Toxicidade aguda	61
3.5	Diagnóstico da qualidade da água do Canal do Manguê	64
3.6	Considerações técnicas sobre uma possível unidade de tratamento <i>in situ</i>	66
	CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A – Tabelas de armazenamento de dados das amostras brutas	80
	APÊNDICE B – Tabelas de armazenamento de dados das amostras tratadas	86
	APÊNDICE C – Resultados dos Ensaio Toxicológicos	90
	APÊNDICE D – Planilha de cálculo de IQA	91

INTRODUÇÃO

A canalização dos cursos d'água tem sido uma das soluções encontradas para a drenagem urbana – que compõe o conjunto de ações de saneamento básico para a melhoria da salubridade ambiental oferecida à população através dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2007, 2010). A criação de canais como ação administrativa pública na área do saneamento faz parte do histórico do Rio de Janeiro desde o século XVII. A obra que mais se destacou no período Brasil Colônia foi a canalização das águas do rio Carioca para abastecimento da cidade. Além do aqueduto da Carioca, foram implantadas redes de chafarizes, bicas e fontes públicas de livre acesso. Tanto o transporte quanto o destinação final de excretas eram feitos por escravos, pejorativamente chamados de tigres, devido ao derramamento do líquido contido nos vasilhames que eram carregados sobre a cabeça destes até serem lançados no mar ou em alagadiços (CEZÁRIO; SOUZA, 2012 *apud* MIRO; ALVES; SOUZA, 2014; MURTHA; CASTRO; HELLER, 2015).

Contudo, algumas destas canalizações em áreas urbanas recebem lixo, esgotos domésticos e industriais, que, conseqüentemente, poluem, conferem mau cheiro e podem transmitir doenças quando ocorrem as inundações urbanas (FINOTTI *et al.*, 2009; SPERLING, 2007). Um desses cursos d'água é o Canal do Mangue – localizado próximo ao Centro da cidade do Rio de Janeiro, que percorre as avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho. Além de receber efluentes domésticos e resíduos sólidos, recebe principalmente as contribuições de rios poluídos, como é o caso dos rios Maracanã, Joana, Trapicheiro, Comprido e Papacouve.

O canal atravessa uma região importante e central da cidade. Passa ao largo do centro administrativo da prefeitura. Por fim, deságua na Baía de Guanabara, um corpo d'água de grande relevância para a cidade, mas muito afetado pela poluição. Por estar situado em uma região costeira, o Canal do Mangue também sofre influência de outro ecossistema aquático também poluído, a baía de Guanabara. Uma expectativa de revitalização dessas áreas surgiu quando a cidade do Rio de Janeiro atraiu grandes eventos como a Copa do Mundo da FIFA em 2014 e os

Jogos Olímpicos em 2016. Nesse contexto foi elaborado o projeto denominado Porto Maravilha, que prevê enorme reforma urbana na área portuária e arredores, o que reforçou a continuação do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – PDBG. Mesmo com o PDBG – que propõe mitigar as condições sanitárias da região metropolitana do Rio de Janeiro – a baía ainda apresenta altos índices de eutrofização e carga orgânica sedimentar, devido ao despejo de esgoto bruto, lixo doméstico, efluentes industriais, óleos e metais pesados (CARREIRA; WAGENER, 2003; SANTOS; CÂMARA, 2002).

Além da poluição, ainda existe o fator de contaminação, o que torna as águas de praias impróprias para o banho, com riscos à saúde da população durante as inundações urbanas, pois o esgoto carrega também para o oceano diversos organismos patogênicos. Todos estes fatores contribuem para a diminuição da biodiversidade de um ecossistema aquático (CARREIRA; WAGENER, 2003; SANTOS; CÂMARA, 2002).

Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, portanto, o uso múltiplo das águas de maneira racional é de extrema importância – seja na redução ou na reutilização destas águas (BRASIL, 2013).

Nesse contexto, o presente trabalho aborda possíveis alternativas de tratamentos físico-químicos para mitigar a poluição das águas do canal do Manguê, visando melhorar a qualidade do corpo hídrico, bem como permitir a reutilização parcial das águas e promover melhora paisagística. O meio ambiente é reconhecido como um direito de todo cidadão, deste modo é necessária a criação de instrumentos que promovam a melhoria ambiental dos corpos hídricos. Portanto, este trabalho pode auxiliar na geração de dados para compor políticas públicas – instrumentos de planejamento, monitoramento ou ações – relacionadas à dinâmica dos corpos hídricos nas áreas urbanas.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

A presente pesquisa tem por finalidade caracterizar as águas do Canal do Mangue, mediante diagnóstico prévio – visitas e campanhas de amostragem das águas ao longo de 13 meses – e preconizar possíveis alternativas de tratamento físico-químico com base nas legislações e normas de reúso.

Objetivos Específicos

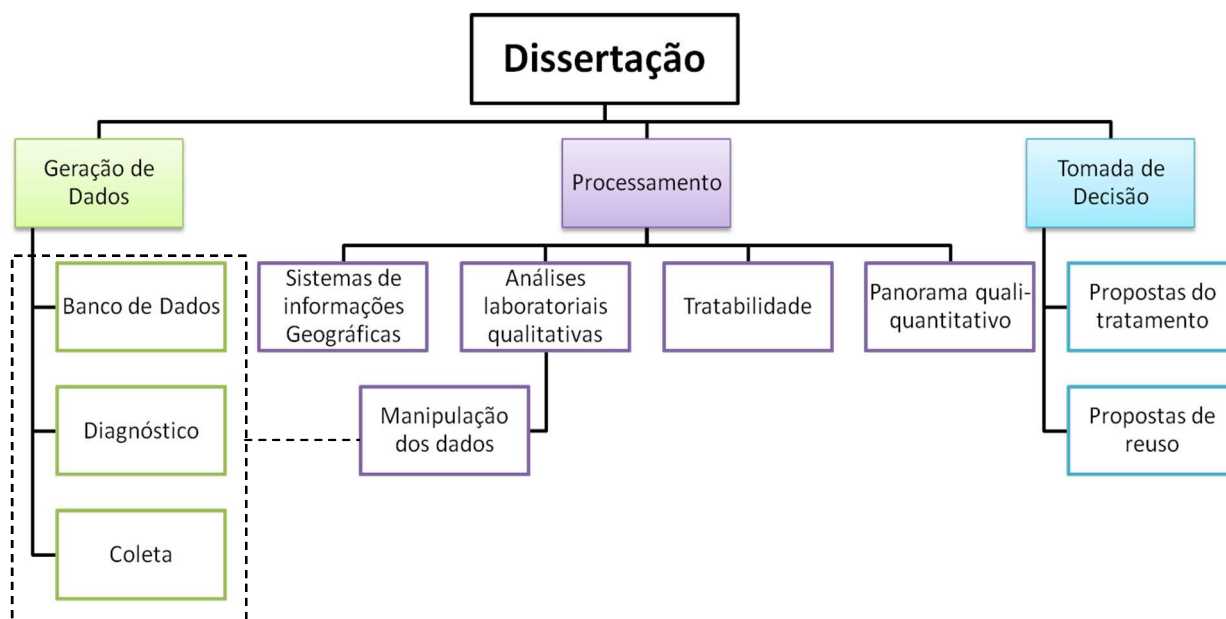
Os objetivos específicos consistem de:

- i. Caracterizar a qualidade da água do Canal do Mangue ao longo do canal;
- ii. Identificar os parâmetros físico-químicos que afetam a qualidade das águas do canal;
- iii. Investigar tecnologias de tratamento físico-químico que permitam obter uma água com qualidade para reúso;
- iv. Confrontar a qualidade da água do canal, após o tratamento, com os padrões de reúso previstos nas deliberações legislativas e normas.

Estrutura da dissertação

A representação esquemática (Figura 1) ou mapa conceitual apresenta o caminho deste trabalho, a fim de facilitar a compreensão de seus leitores.

Figura 1– Mapa conceitual da dissertação.



1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Canal do Mangue: Breve histórico

No século XIX, a localidade que se estendia da Praça Onze à Baía de Guanabara era conhecida como Saco de São Diogo, uma área de mangue e foco de disseminação de doenças, devido às condições precárias de saneamento. Entretanto, era possível navegar neste manguezal por meio de pequenas embarcações vindas da Baía de Guanabara, podendo chegar aos atuais bairros da Tijuca e Andaraí. Os alagadiços e lagoas próximas também recebiam as águas do

mangue em períodos de extravasamento (DUARTE; PEIXOTO, 2012; MELO, 2011; PASSOS, 1931).

As obras para construção do Canal do Mangue foram iniciadas em 1857 visando sanear, via drenagem, a região conhecida atualmente como Cidade Nova. O canal foi inaugurado em 1860 (Figura 2a), onde sua construção foi administrada por Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá. Naquele tempo, as valas, canais e aterros eram formas primárias de saneamento. Portanto, a criação do canal foi considerada uma das mais importantes obras de saneamento do Império na época. Mais tarde, em 1906, Francisco Bicalho comandou a construção de um prolongamento no canal atualmente localizado próximo ao Centro do Rio de Janeiro, percorrendo as avenidas Presidente Vargas, Francisco Bicalho e a Rua Francisco Eugênio (DUARTE; PEIXOTO, 2012; MATTOS, 2004).

Figura 2 – Canal do Mangue no século XIX e no século XX.



(a) 1922

(b) 2015

Fonte: (a) Jornal O Globo, 2015; (b) A autora, 2015.

1.2 Exemplos e medidas de recuperação da qualidade de cursos d'água

Historicamente, grande parte dos rios urbanos foi canalizada como medida de saneamento, para fins de lançamento de águas residuárias. Entretanto, ao longo dos

anos esses rios acabaram sendo vistos como “esgotos a céu aberto”, perdendo seu valor cultural local e com isso foram eliminados da percepção pública. A revitalização de canais envolve não somente a recuperação da qualidade dos rios, como também a valorização destes pela sociedade ao seu redor (ROMANO; MARTÍNEZ; DUARTE, 2014). Para que haja eficácia nos processos de revitalização é necessário conhecer os fatores socioeconômicos e ambientais relacionados ao corpo hídrico em questão, de maneira qualitativa e quantitativa – com levantamentos bibliográficos, comparação e análise de parâmetros e índices de qualidade de águas (MMA, 2003; SILVA, 2012).

As águas, sendo um bem público, devem servir à população não apenas para abastecimento, mas para outras atividades como a recreação ou o simples deleite.

1.2.1 Unidade de Tratamento de Rio do Arroio Fundo

Unidade de Tratamento de Rio ou UTR consiste em um sistema de tratamento de corpos hídricos patenteado pela empresa privada DT Engenharia Ltda juntamente com o Instituto Nacional de Propriedade Industrial. São aplicadas as técnicas de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido para melhoria da qualidade dos corpos hídricos – sistema denominado FLOTFLUX®, ilustrado na Figura 3, cujas técnicas estão descritas *a posteriori*. Tornou-se uma estratégia complementar de curto prazo que contribui para o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, com a remoção de parte dos resíduos sólidos de determinados rios poluídos contribuintes da Baía de Guanabara (ZEE, 2015). A operação destas UTR's é gerida pela Fundação Rio-Águas, representante da prefeitura da cidade do Rio de Janeiro no manejo de águas pluviais.

Figura 3 – Módulo de equipamento FLOTFLUX



Legenda: (1) Caixa de areia; (2) Difusores de ar; (3) Cerca flutuante; (4) Plataforma flutuante; (5) Tanque de coagulante/polímero (6) Sopradores de ar; (7) Misturadores água/ar; (8) Laboratórios; (9) Tanques de lodo; (10) Centrifugas para desidratação e estabilização de lodo; (11) Caçambas de lixo; (12) Casa de bombas; (13) Injeção de coagulante/ polímero; (14) Difusores de ar; (15) Lodo flotado; (16) Rodas de dragagem de lodo.

Fonte: <http://www.dtengenharia.com.br/estacoes-de-tratamento/a-tecnologia-flotflux>

Um exemplo de UTR é a que trata o Rio Arroio Fundo Jacarepaguá, RJ (Figura 4). Além desta instalação, existem outras em funcionamento, como a UTR Flamengo que trata o Rio Carioca no Aterro do Flamengo, outra unidade no Piscinão de Ramos, mais a UTR São Conrado próxima da Rocinha e outra em Guaratiba.

Figura 4 – Unidade de Tratamento de Rios Arroio Fundo.



Fonte: Disponível em: <<http://www.dtengenharia.com.br/obras/obras-rio-de-janeiro/utr-arroio-fundo>> Acesso em 01 nov. 2015.

A UTR Rio Irajá concluiu a fase de construção em 2016, porém ainda não iniciou a fase de operação. Existem projetos para outras unidades, como Rio Pavuna Meriti, Rio Sarapuí, Rio Iguaçu, Rio Guaxindiba, Rio Imboáçu, Canal do Cunha e até mesmo para o Canal do Mangue (Tabela 1).

Tabela 1 – Unidades de Tratamento de Rios da cidade do Rio de Janeiro.

UTR	População Beneficiada	Vazão Tratada (m ³ /dia)	Lixo Retirado (m ³ /mês)	Sedimentos Retirados (m ³ /mês)	Lodo Retirado (m ³ /mês)	Status
Rio Irajá	390.000	151.200	264	1.210	13.860	Fase final de construção
Rio Pavuna Meriti	1.810.000	449.280	784	3.595	41.184	Contratada, mas não iniciada
Canal do Mangue	660.000	129.600	226	1.037	11.880	Em projeto
Canal do Cunha	800.000	259.200	453	2.074	23.760	Em projeto
Rio Sarapuí	900.000	518.400	905	4.149	47.520	Em projeto
Rio Iguaçu	1.500.000	1.555.200	2715	12.446	142.560	Em projeto
Rio Guaxindiba	900.000	535.680	935	4.287	49.104	Em projeto
Rio Imboaçu	105.000	86.400	151	691	7.920	Em projeto
Total	7.065.000	3.684.960	6.434	29.489	337.788	-

Fonte: Zee, 2015.

1.2.2 Programa de Despoluição da Baía de Guanabara

Criado em 1994, o Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, PDBG, propunha melhorar as condições ambientais do entorno da Baía de Guanabara, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, e resgatar a qualidade das águas da Baía e dos rios contribuintes por meio da implantação de um sistema de saneamento adequado (RIO DE JANEIRO, 2016; VIEIRA, 2009).

As metas desenvolvidas propunham melhorias **operacionais** dos macrossistemas de esgotamento Alegria, Pavuna, Sarapuí, Penha, Ilha do

Governador, Paquetá, Niterói e ETE São Gonçalo, através da implantação de (RIO DE JANEIRO, 2016; ZEE, 2015):

- Redes e troncos complementares nos municípios de Duque de Caxias, São João do Meriti e Rio de Janeiro, como troncos coletores da bacia Faria-Timbó e de Manguinhos à ETE Alegria.
- Redes coletoras e ligações domiciliares Limpeza e Desobstrução de Troncos e Redes Coletoras no município de Belford Roxo;
- Galeria de cintura do Complexo da Maré e Ilha do Fundão, que são tubulações para captar efluentes lançados em galerias de águas pluviais em tempo seco para serem tratados na ETE Alegria;
- Tratamento secundário na estação Alegria (vazão de $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e adição de coletor tronco de esgotos;
- UTR's como estratégia complementar do programa.

Contudo, desde as primeiras avaliações da fase 1 (1995-1998), foi notório o não cumprimento de grande parte das metas estabelecidas pelo programa (VIEIRA, 2009). Com o encerramento do PDBG em 2006, o Governo do Estado assumiu a direção para dar continuidade às obras, criando o Programa de Saneamento dos Municípios do Entorno da Baía de Guanabara (PSAM) em 2012, porém sua licitação foi revogada no ano atual, deixando obras inacabadas.

1.2.3 Projeto Tietê

O rio Tietê nasce na região de Salesópolis, São Paulo, a uma altitude de 850 metros. Após cortar o estado rumo a noroeste, percorre 1.136 quilômetros, desaguando no rio Paraná. De acordo com os dados emitidos pela Cetesb, a qualidade do rio próximo da nascente está entre regular e boa, entretanto ao chegar na capital de área urbanizada e seguir pela região metropolitana de São Paulo, as águas encontram-se em péssima qualidade (CETESB, 2015; ROMANO; MARTÍNEZ; DUARTE, 2014).

Todos os processos de revitalização de determinado corpo hídrico envolvem a recuperação da qualidade desta água. Como acima de 80% da poluição do Rio Tietê provém de despejos de resíduos industriais e esgoto doméstico, o Projeto Tietê, iniciado em 1992, passou a intervir com construção de novas ETE's, acréscimo de redes coletoras e ligações domiciliares. Entretanto, não há alterações significativas na qualidade das águas da sub bacia do Alto Tietê (área de maior população urbana do estado). A capital paulista coleta 89% dos esgotos domésticos e trata apenas 50%. Portanto, o que não é coletado nem tratado é despejado no rio (CETESB, 2015; ROMANO; MARTÍNEZ; DUARTE, 2014).

1.2.4 Projetos Internacionais

A Dinamarca foi o país pioneiro a implementar deliberações legislativas de cunho ambiental na década de 70. Diante dos problemas ambientais consequentes da Revolução industrial, o governo e os cidadãos de Copenhagen, capital do país, passaram a trabalhar juntos em prol da redução de impactos antropogênicos sobre o meio ambiente, com soluções sustentáveis e inovadoras para a cidade ao longo dos anos. Dentre as intervenções, destaca-se a despoluição das águas do porto, a redução do consumo de água, o reúso de água e a reciclagem de resíduos sólidos e a disposição final de esgoto. Desde 2002, a qualidade das águas do porto melhorou bastante, de modo a possibilitar a recreação e o banho nos banheiros populares ao longo da orla da cidade com as águas do próprio porto. Assim, a cidade se tornou líder global em sustentabilidade (BRUEL, 2012; EUROPEAN COMMISSION, 2012).

Em Manila, localizada nas Filipinas, é a cidade com a segunda maior concentração populacional do país. Em 2009, iniciou-se o Projeto de Reabilitação do Canal de Paco, por onde percorre o rio Pasig, cujas propostas eram: (i) Realocação de habitantes de assentamentos ilegais próximos ao rio; (ii) Desassoreamento do córrego; (iii) Construção de *wetlands*; (iv) Construção de rede coletora de esgotos e alagados para o sistema de tratamento de águas com aeração dinâmica; (v) Campanhas para a promoção do projeto (AGNELLI, 2014).

Em um curto intervalo de tempo (2009 – 2012), grande parte da proposta foi desenvolvida. Com a remoção dos resíduos sólidos do córrego, as inundações urbanas deixaram de ser um problema. Alguns parâmetros de qualidade de águas não foram alcançados, entretanto a mudança paisagística foi notória, como pode ser vista na Figura 5, e o comprometimento da população local foi o êxito do projeto (AGNELLI, 2014).

Figura 5 – Antes e depois da revitalização do córrego Paco, Manila, Filipinas.



Legenda: Ano de 2009 antes da proposta e 2012 após.
Fonte: AGNELLI, 2014.

1.3 Técnicas de tratamento de efluente para reúso em ETE's do Rio de Janeiro

No estado do Rio de Janeiro, os serviços de saneamento básico são prestados pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro, CEDAE, que realiza a captação, tratamento, adução e distribuição de água potável e coleta, transporte e tratamento dos esgotos sanitários (RIO DE JANEIRO, 2014). De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986), esgoto sanitário consiste do despejo líquido

formado por esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. Após este ser tratado nas Estações de Tratamento de Esgotos, ETE's, o efluente final pode ser encaminhado para o lançamento em corpos hídricos, como a baía de Guanabara – de acordo com as resoluções e diretrizes nacionais (BRASIL, 2011) e/ou estaduais (INEA, 2007) – como também pode ser reutilizado para fins não potáveis, detalhados *a posteriori*.

O estado do Rio de Janeiro conta com as Estações de Tratamento de Esgotos Alegria, Pavuna, Penha, Sarapuí, Icaraí, Paquetá, São Gonçalo, Marina da Glória e ETE Tauá na Ilha do Governador. Com a chegada do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara (PDBG) na década de 90, foram criadas estratégias específicas para as ETE's, entretanto, como visto anteriormente, ainda há subsistemas a serem executados e outros em fase de projeto (RIO DE JANEIRO, 2016).

A ETE da Penha, localizada na Avenida Brasil, promove os tratamentos preliminar, primário e secundário no esgoto sanitário da região (MANHÃES; ARAÚJO, 2015; SILVA, 2015). Basicamente, o tratamento preliminar, ou físico, atua na remoção de materiais maiores e flutuantes que podem prejudicar os equipamentos ou a continuidade dos tratamentos, a partir de uma caixa de areia, onde o sedimento removido é destinado a um aterro sanitário (SILVA, 2015; VESILIND; MORGAN, 2013). No tratamento primário, ou físico-químico, já é possível obter uma água com qualidade para reúso, através dos processos de coagulação, floculação e sedimentação (decantador primário) que, ao atuarem em conjunto, promovem a remoção de partículas e consequente clarificação do efluente. O lodo formado no fundo do decantador e de gordura na superfície são removidos e o efluente clarificado segue para o tratamento secundário. Nesta etapa biológica, o efluente passa pelo sistema de Lodo Ativado, onde há acréscimo de micro-organismos em condição aeróbia, no tanque de aeração, e posteriormente há biodegradação da matéria orgânica e formação de flocos biológicos no decantador secundário – para este último caso, também pode ser utilizado o Filtro Biológico Percolador, porém este encontra-se desativado (GIORDANO; SURERUS, 2015; SILVA, 2015). Enfim, o efluente final que é destinado para reúso passa pelo processo de desinfecção, para eliminar ou inativar micro-organismos presentes na água (SANZ; GAWLIK, 2014).

As principais práticas de reúso englobam a lavagem de ruas, praças, monumentos, viaturas e de veículos de limpeza urbana e a desobstrução de galerias pluviais e redes coletoras de esgotos (MANHÃES; ARAÚJO, 2015; SILVA, 2015).

Para a execução de uma técnica de tratabilidade de efluentes, é indispensável que haja um vasto conhecimento das técnicas existentes e do próprio efluente de interesse. Para isso, são feitos estudos piloto, onde os processos de tratamento passam por diversos critérios de avaliação, a fim de que se cumpram os limites vigentes de qualidade das águas residuárias após o tratamento e por fim estas possam ser encaminhadas ao reúso (GIORDANO; SURERUS, 2015). Devido às amostras das águas do Canal do Mangue terem sido submetidas aos ensaios de tratabilidade, apresenta-se um detalhamento dos processos físico-químicos realizados.

1.3.1 Processo de coagulação/floculação

Devido à carga eletrostática das partículas coloidais presentes nos efluentes, as partículas não se aglomeram e também não se atraem naturalmente. Para auxiliar na aglomeração das partículas, são adicionados à água os coagulantes, como cloreto férrico (FeCl_3) ou sulfato de alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$]. *A priori*, o coagulante reage com a água, necessariamente alcalina, formando moléculas hidrolisadas de carga positiva. Estas neutralizam a carga das partículas para que se aglomerem. A floculação produz velocidades diferentes dentro da água para que as partículas possam colidir, geralmente por movimentos lentos para que os coágulos formem flocos. Após a colisão, os flocos são formados e removidos no processo de sedimentação. Este tem como objetivo a separação dos sólidos sedimentáveis da porção líquida do efluente por ação gravitacional, conseqüentemente, boa parte da carga orgânica é removida. O clarificado é geralmente retirado na parte superior do reservatório (GIORDANO; SURERUS, 2015).

Para garantir a eficiência destes processos, devem ser feitos testes de jarro, para escolher os melhores coagulantes e floculantes (em termos de caracterização, aplicabilidade e custo/benefício), estimar as doses mínimas necessárias – para

evitar toxicidade por metal –, estimar o tempo de coagulação, floculação e sedimentação, o volume do lodo a ser removido, dentre outras informações. Além disso, devido à retirada da alcalinidade da água por parte dos sais coagulantes de reação ácida, é preciso que a água residuária esteja alcalina, ou de forma natural (GIORDANO; SURERUS, 2015; VESILIND; MORGAN, 2013).

1.3.2 Processo de sedimentação

Tanques de sedimentação fazem parte dos processos físicos no tratamento de águas residuárias. Também são conhecidos como decantadores. Eles atuam na remoção de cascalhos e outros sólidos sedimentáveis, como flocos provenientes do processo de coagulação/floculação, ou flocos biológicos que caem na parte inferior dos tanques por ação gravitacional por serem mais densos que a água, formando então o lodo. Sendo assim, não se torna necessária a adição de produtos químicos (GIORDANO; SURERUS, 2015; SILVA, 2015; VESILIND; MORGAN, 2013).

1.3.3 Processo de desinfecção

O objetivo da desinfecção é inativar ou matar os micro-organismos patogênicos, como bactérias, protozoários, vírus e parasitas presentes na água de esgotos tratadas. Comumente, fortes oxidantes são utilizados na desinfecção, como o ozônio, o bromo e como o cloro, utilizado na forma de hipoclorito de sódio (NaClO) pela CEDAE. Entretanto, assim como o cloro, não possuem capacidade de inativar os ovos de helmintos, devido à composição deste envoltório. O cloro é um dos desinfetantes mais utilizados na atualidade. Entretanto, a presença de matéria orgânica ou amônia na água podem interferir na eficiência do cloro (UNEP, 2007).

1.4 Parâmetros de qualidade das águas

Na análise de um corpo hídrico, deve-se considerar que o sistema natural está em constante mudança, onde a qualidade das águas varia temporal e espacialmente em função do local onde o rio está localizado. Além disso, com o despejo de esgoto doméstico as variáveis aumentam – principalmente a vazão e a carga de poluentes (FINOTTI *et al.*, 2009). Os poluentes nos canais de drenagem urbana recebem muitas impurezas, como:

- Sólidos em suspensão, dissolvidos ou sedimentáveis;
- Matéria orgânica e compostos inorgânicos e;
- Micro-organismos, como coliformes fecais e totais

Estas impurezas podem ser indicadas por parâmetros para análise de qualidade das águas, divididos em:

- Físicos (Turbidez; temperatura; cor e odor; série de sólidos);
- Físico-químicos (pH; Demanda química de oxigênio (DQO); carbono orgânico dissolvido (COD); oxigênio dissolvido (OD); fósforo total; nitrogênio amoniacal; cloreto; óleos e graxas); (DBO) Demanda bioquímica de oxigênio; (NT) Nitrogênio Total
- Biológicos (agentes patogênicos).

Dependendo da utilidade/finalidade de determinada água, estes parâmetros devem apresentar limites ou teores máximos de impurezas permitidos, chamados de padrões (METCALF; EDDY, 1991; GIORDANO, 2014).

A qualidade das águas de um corpo hídrico pode ser avaliada e expressa pelo chamado Índice de Qualidade de Água (IQA), calculado com base em parâmetros e indicadores que retratam o efeito das fontes poluidoras, o tipo de contaminação, a sustentabilidade ambiental e a possibilidade de uso das águas para abastecimento público (CETESB, 2015).

A poluição orgânica presente no esgoto doméstico pode ser informada por parâmetros como DBO, OD e Coliformes Termotolerantes, pois identificam direta ou

indiretamente a concentração e a demanda por oxigênio para a vida aquática como uma variável microbiológica potencialmente patogênica. O Nitrogênio e Fósforo nas suas diferentes composições indicam a presença de nutrientes que potencializam a eutrofização do sistema aquático (TUCCI; MENDES, 2006).

Para o cálculo do IQA, são medidos os parâmetros mencionados somados às condições físicas temperatura e pH, como também Turbidez e Sólidos Totais – englobando as impurezas coloidais que estão em suspensão e as dissolvidas na água, respectivamente. Estas nove variáveis (DBO, OD, Coliformes, nitrogênio, fósforo, temperatura, pH, Turbidez e Sólidos Totais) foram selecionadas pela *National Sanitation Foundation* (NSF), sendo consideradas as mais representativas em relação à qualidade de água. Existem outras formas de calcular o IQA, portanto, a esta forma foi dado o nome de IQA_{NSF} , o qual é utilizado pelo Inea – órgão ambiental do estado do Rio de Janeiro que monitora as águas interiores do estado e calcula o IQA para os cursos d’água. Entretanto, a Cetesb se difere com relação à substituição da concentração de nitrato por nitrogênio total e da concentração de fosfatos, por fósforo total. Ademais, não há a classificação “péssima” para a qualidade da água, mas sim, a classificação “muito ruim”. O valor de IQA_{NSF} é determinado como o produto ponderado da qualidade da água (q^i) das nove variáveis selecionadas, elevadas ao seu respectivo peso (w^i) (Equação 1):

Equação 1 – Equação geral do Índice de Qualidade de Águas.

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Os limites numéricos podem ir de zero a 100, onde baixos valores indicam má qualidade do corpo hídrico analisado e, conseqüentemente, valores altos expressam boa qualidade. Assim como os termos para classificação, os limites numéricos também são categorizados diferentemente entre estas instituições, sendo 19 (Cetesb) e 25 (Inea) para a categoria “Péssima” e “Muito Ruim”, nesta ordem (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 – Categoria dos índices de qualidade de águas (CETESB, 2015).

Categoria de Resultados	Cor representativa	IQA_{NSF}
Ótima	Azul claro	$100 \geq \text{IQA} \geq 79$
Boa	Verde	$79 > \text{IQA} \geq 51$
Regular	Amarelo	$51 > \text{IQA} \geq 36$
Ruim	Vermelho	$36 > \text{IQA} \geq 19$
Péssima	Roxo	$19 > \text{IQA} \geq 0$

Fonte: CETESB, 2015 (Adaptado).

Tabela 3 – Categoria e significado dos índices de qualidade de águas (INEA, 2016).

Categoria de Resultados	Cor representativa	IQA_{NSF}	Significado
Excelente	Azul claro	$100 \geq \text{IQA} \geq 90$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
Boa	Verde	$90 > \text{IQA} \geq 70$	
Média	Amarelo	$70 > \text{IQA} \geq 50$	
Ruim	Laranja	$50 > \text{IQA} \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
Muito Ruim	Vermelho	$25 > \text{IQA} \geq 0$	

Fonte: INEA, 2016 (Adaptado).

A fim de exemplificar com a Tabela 4, o INEA – Instituto Estadual do Ambiente – divulga em mídia virtual os parâmetros analisados nas águas do canal do mangue. Algumas informações de caráter geográfico sobre determinadas bacias hidrográficas também estão disponíveis na internet, como por exemplo, no *site* do INEA ou da Agência Nacional de Águas, que apresenta as coordenadas geográficas das estações de amostragens, e da Fundação SOS Mata Atlântica, que apresentou em 2016 um comparativo anual dos índices de qualidade das águas do canal do mangue desde 2014, tendo como resultado a categoria Ruim nos três anos

consecutivos (INEA, 2014, 2015, 2016). Outras informações podem ser obtidas através dos postos fluviométricos gerenciados por agências estaduais de proteção ou de controle ambiental.

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade das águas do Canal do Manguê de 2015 a 2017.

Estação de Amostragem	Data	IQANSF	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	Fósforo Total - PT (mg L ⁻¹)	Nitrato - NO ₃ (mg L ⁻¹)	Oxigênio Dissolvido - OD	Potencial Hidrogeniônico - pH	Turbidez - T (UT)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg)	Temperatura da água (°C)
MN000	04/03/15	14,7	32	2,35	0,04	0	6,5	24	> 1,6 Mi	2.790	25
	31/08/15	16,4	80	1,92	0,32	1,2	7,2	20	> 1,6 Mi	229	24
	10/11/15	24,2	4	1,09	0,01	0	6,9	5,06	> 1,6 Mi	940	25
	09/03/16	18,8	32	1,27	0,01	1	7,0	18	> 1,6 Mi	1971	26
	05/10/16	31,1	14	0,69	1,36	3	7,6	15,7	350.000	695	23
	28/03/17	20,2	28	1,03	0,01	0	7,1	12,5	> 24.196	2.622	25
MN001	04/03/15	26,1	24	1,27	0,21	2	6,7	12	> 1,6 Mi	229	25
	31/08/15	15,8	44	1,44	0,02	0	7,2	23	> 1,6 Mi	3.284	24
	10/11/15	27,4	20	1,44	0,54	1,8	6,8	7,84	> 1,6 Mi	167	26
	09/03/16	28,7	52	1,59	0,01	7,4	7,1	43,4	> 1,6 Mi	249	27
	05/10/16	22,1	52	1,69	0,01	2	7,5	13,6	920.000	254	23
	28/03/17	27,3	28	0,92	0,22	1,4	7,2	5,75	> 24.196	259	26

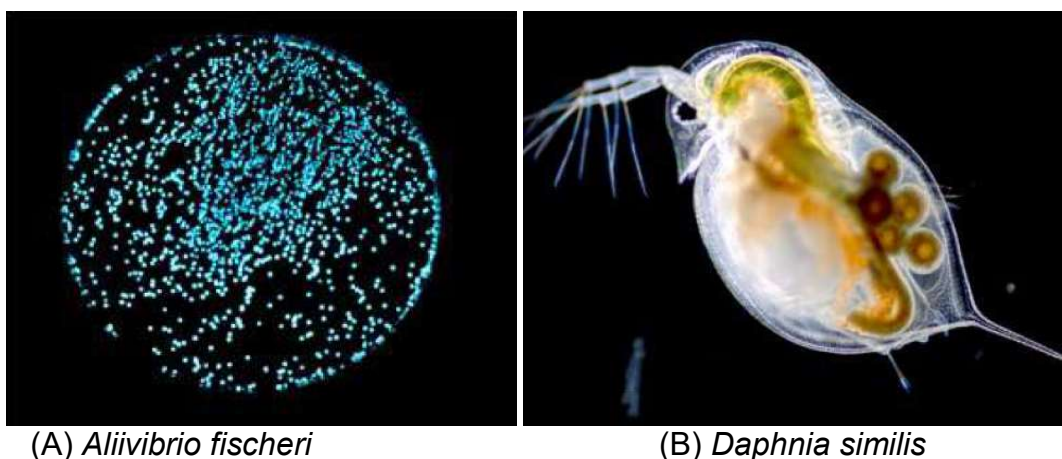
Legenda: Coordenadas geográficas; MN000= Latitude 22°54'00,69" Longitude 43°12'36,70", MN001= Latitude 22°54'27,31" Longitude 43°11'53,23".

Fonte: INEA, 2015, 2016, 2017. Disponível em: <[http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/aguasInteriores/Qualificao deguas/RHV-BaiadeGuanabara1/index.htm&lang=>](http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/aguasInteriores/Qualificao%20deguas/RHV-BaiadeGuanabara1/index.htm&lang=>) Acesso em 01 mar. 2016.

1.5 Toxicidade

Os ensaios de toxicidade estão contidos no diagnóstico da qualidade ambiental e no controle da poluição. Estes podem apresentar facilidade de execução e curta duração. Em período curto de tempo, são avaliados na toxicidade aguda os efeitos sofridos pelos organismos-teste, sendo eles a mortalidade e a imobilidade dos indivíduos. Ao utilizar a bactéria marinha luminescente (Figura 6-A), *Aliivibrio fischeri*, a bioluminescência também é um critério a ser avaliado. Outro organismo analisado foi o microcrustáceo de água doce (Figura 6-B), *Daphnia similis*. Além do índice de morte, os organismos podem sofrer anomalias ou aparecimento de tumores, alterações na taxa de reprodução, comprimento e massa corporal, dentre outros problemas fisiológicos e até mudança comportamental, como falta de reação a um estímulo (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

Figura 6 – Ilustração de *Aliivibrio fischeri* e *Daphnia similis*, organismos utilizados para teste de toxicidade.



Fontes: (A) Disponível em: <<http://labs.medmicro.wisc.edu>> Acesso em 16 jul. 2017; (B) Disponível em: <<http://www.killiadicetos.com>> Acesso em: 16 jul. 2017.

Há expressividade na utilização destes organismos para ensaios de toxicidade, por facilmente se disseminarem nos corpos hídricos e por eles participarem de níveis tróficos diferentes na cadeia alimentar. A bactéria ocupa o nível de decompositor e o microcrustáceo, popularmente conhecido como pulga d'água, é um consumidor primário (FRANÇA, 2016).

1.6 Legislação de reúso de águas

Em 1958, foi divulgado um conceito baseado na política de gestão de recursos hídricos para áreas carentes, sendo uma proposta do Conselho Econômico e Social das Nações Unidas. Este dizia: “A não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”. Com o passar dos anos, este conceito tem sido colocado em prática, onde estas águas de qualidade inferior mencionadas – como efluentes domésticos e industriais, dentre outras águas residuárias – estão sendo cada vez mais utilizadas como fontes alternativas para usos menos nobres (HESPANHOL, 2008).

De acordo com o artigo 2º da Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54 de 28 de novembro de 2005 (BRASIL, 2005), águas residuárias são definidas como esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Tais só podem ser consideradas como água de reúso caso se encontrarem dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

Uma das recomendações aos países participantes da Agenda 21 foi a implementação de políticas de gestão dirigidas para o reúso de águas residuárias, por serem fontes alternativas para o suplemento de água em diversas situações. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos incentiva a prática de reúso de águas, pois envolve a tríade Economia, Sociedade e Meio Ambiente, na medida em que promove a redução dos custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde da população (BRASIL, 2005; HESPANHOL, 2008).

De acordo com Hespagnol (2008), a efetiva prática de reúso de águas no Brasil só é possível a partir do desenvolvimento de regulamentações que orientem esta prática, e da apresentação de normas e aplicabilidades de reúso em suas diferentes modalidades, com seus respectivos padrões de qualidade de águas.

Para a execução do reúso não potável, a legislação aborda diversas modalidades, que se referem às finalidades das águas residuárias. Ao saber o destino de determinada água, são traçados seus padrões de qualidade.

As finalidades não potáveis mais observadas nos documentos legais nacionais e internacionais são (FERNANDES, 2006; WASHINGTON, 2012):

- A nível domiciliar; abastecimento de descargas sanitárias e lavagem de pisos, pátios, escadarias, irrigação de jardins.
- Área urbana; lavagem de ruas e de veículos do setor público – como caminhões de limpeza urbana e viaturas –, irrigação de áreas verdes, aspersão de quadras esportivas, construções civis, desobstrução de tubulações de esgoto e galerias pluviais, controle de poeira, recreação, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, reúso industrial, combate a incêndio.
- Área rural; irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Quanto aos aspectos legais vigentes ou em processo de aprovação, os marcos regulatórios – leis, normas, deliberações, resoluções, decretos – têm sido deliberados em nível nacional, estadual e municipal, porém ainda existem lacunas a serem preenchidas em termos de aplicabilidade do reúso. Alguns destes marcos regulatórios nacionais, estaduais e municipais estão listados na Tabela 5, com ênfase na região sudeste.

Tabela 5 – Marcos regulatórios nacionais e da região sudeste (estaduais e municipais) envolvendo reúso de águas residuárias

Marco Regulatório	Abrangência	Local	Principais pontos
NBR N° 13.969/ 1997	Nacional	Brasil	Refere-se ao tratamento complementar e disposição final/reúso de efluentes líquidos de tanques sépticos.
Resolução CNRH N° 54/ 2005	Nacional	Brasil	Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.
NBR N° 15.527/ 2007	Nacional	Brasil	Fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.
Decreto N° 48.138/ 2003	Estadual	São Paulo	Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do Estado de São Paulo.
Deliberação CRH N° 156/ 2013	Estadual	São Paulo	Estabelece diretrizes para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) de sistemas públicos para fins urbanos e dá outras providências.
Decreto N° 23.940/ 2004	Municipal	Rio de Janeiro (RJ)	Serve de estímulo para a prática de reúso por dispor sobre a obrigatoriedade de imóveis com mais de 500 m ² de possuir reservatórios para o recolhimento de água de chuva, com o objetivo de retardar o escoamento para a rede de drenagem.
Lei N° 2.630/ 2009	Municipal	Niterói (RJ)	Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública.
Lei N° 2.856/ 2011	Municipal	Niterói (RJ)	Institui mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas.
Lei N° 6.110/ 2011	Municipal	Bauru (SP)	Cria o Programa Municipal de Uso Racional e Reúso de Água em Edificações e dá outras providências.
Resolução Conjunta SVDS/ SMS N° 09/ 2014	Municipal	Campinas (SP)	Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETE'S) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas.

Marco Regulatório	Abrangência	Local	Principais pontos
Lei Nº 16.174/ 2015	Municipal	São Paulo (SP)	Estabelece regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático.
Decreto Nº 014/ 2015	Municipal	Vila Velha (ES)	Declara ações voltadas ao uso racional de recursos hídricos (águas cinza) e consumo energético, diante da situação de escassez hídrica.
Lei Nº 4.811/ 2016	Municipal	Contagem (MG)	Estabelece normas que regulamentam a política de conservação, uso racional e reaproveitamento de águas em edificações públicas e privadas.
Lei Nº 8959/ 2016	Municipal	Vitória (ES)	Cria o Programa de Reúso de água em postos de serviços e abastecimento de veículos e lava-rápidos no município de Vitória.
Lei Nº 1.228/ 2016	Municipal	Pedro Canário (ES)	Cria o Programa de Incentivo à Conscientização e Conservação para Reúso de água da chuva, proveniente de aparelhos de ar condicionados e outros, a obrigatoriedade de instalação dos mecanismos de captação e conservação de águas em edifícios novos.
Projeto de Lei Nº 1381/ 2014	Municipal	Belo Horizonte (MG)	Estabelece a Política Municipal de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua aprovação.

Dentre os marcos regulatórios citados na Tabela 5, aqueles que estabelecem padrões de qualidade para as águas de reúso são: Norma Brasileira Nº 13.969/ 1997 (ABNT, 1997); Norma Brasileira Nº 15.527/ 2007 (ABNT, 2007); Lei Municipal de Niterói Nº 2.630/ 2009 (NITERÓI, 2009); Lei Municipal de Niterói Nº 2.856/ 2011 (NITERÓI, 2011); e Resolução Conjunta SVDS/ SMS Nº 09/ 2014 (SÃO PAULO, 2014). Tais padrões podem ser observados na Tabela 6. Os demais documentos afirmam a necessidade de reúso ou sua obrigatoriedade, porém sem fazer menção aos padrões requeridos para determinadas modalidades. De acordo com estes documentos, os padrões de qualidade a serem seguidos constam nas normas da ABNT ou da Vigilância Sanitária Municipal ou dos órgãos que compõem o SISNAMA – como as resoluções CONAMA, as normas do INEA, CETESB, DAEE, dentre outros órgãos seccionais e locais. É válido notar que mesmo o estado do Rio de Janeiro fazendo o reúso não potável de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), não há regulamentação específica para isto, diferente de São Paulo, onde há a Deliberação CRH Nº 156/ 2013 (CRH, 2013), que estabelece diretrizes para o reúso direto de água não potável, proveniente de ETE's para fins urbanos e dá outras providências.

Tabela 6 – Comparativo de padrões de qualidade de águas residuárias para reúso não potável citados nos documentos.

Marcos regulatórios	NBR Nº 13.969/ 1997	NBR Nº 15.527/ 2007	Lei Municipal de Niterói Nº 2.630/ 2009	Lei Municipal de Niterói Nº 2.856/ 2011	Resolução Conjunta SVDS/ SMS Nº 09/ 2014
Parâmetros					
Turbidez (UNT)	Classes 1 e 2: < 5 Classe 3: < 10 Classe 4: Não informado	2 – 5	Virtualmente ausente de material flutuante	< 5	Classe A: < 1 Classe B: < 5
Cor (uC)	-	< 15	-	< 15	-
SDT (mg L⁻¹)	Classe 1: < 200 Classes 2, 3 e 4: Não informado	-	-	< 200	-
pH	Classe 1: 6,0 – 8,0 Classes 2, 3 e 4: Não informado	6,0 – 8,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	-
Cloro residual livre (mg L⁻¹)	Classe 1: 0,5 – 1,5 Classe 2: < 0,5 Classes 3 e 4: Não informado	0,5 – 3,0	-	0,5 – 2,0	Classe A: < 1,0 Classe B: < 2,0
Coliformes totais e termotolerantes (NMP/100 mL)	Classe 1: < 200 Classe 2 e 3: < 500 Classe 4: < 5 000	Ausência	-	Ausência	Classe A: < 100 Classe B: < 200

Sobre NBR Nº 13.969/ 1997: Classe 1 = Reúso na lavagem de carros, chafarizes e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água. / Classe 2 = Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. / Classe 3 = Reúso nas descargas dos vasos sanitários. / Classe 4 = Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Sobre a Resolução Conjunta SVDS/ SMS Nº 09/ 2014: Classe A= Águas destinadas ao combate a incêndio e a lavagem automatizada externa de veículos. / Classe B= Águas destinadas à irrigação paisagística, lavagem de logradouros, construção civil, desobstrução de galerias e redes de esgoto.

Na esfera internacional, sabe-se que uma das funções da Organização Mundial da Saúde (OMS) é fornecer orientações sobre medidas de proteção sanitária para o reúso seguro de águas residuárias, de forma a diminuir os riscos à saúde pública. Com isso, foram criados documentos com diretrizes para o uso seguro de efluentes. Nos Estados Unidos, foi criado o Guia para Reúso de Águas da Agência de Proteção Ambiental Americana – *USEPA* – que também tem apresentado orientações, e consultadas tanto por países do continente americano

quanto europeu (WASHINGTON, 2012). A Tabela 7 mostra um comparativo dos padrões de qualidade de água de reúso não potável de países europeus. Nota-se que tanto na esfera nacional quanto internacional, a maioria dos parâmetros citados nestes documentos são os mesmos utilizados no cálculo do Índice de Qualidade de Águas. Além disso, devido à finalidade destas águas, onde neste trabalho o foco é o reúso não potável, a maioria dos regulamentos não são rígidos na determinação dos seus valores máximos permitidos.

Tabela 7 – Valores máximos permitidos de parâmetros de qualidade de água para reúso não potável em países europeus.

Parâmetros	Chipre	França	Grécia	Itália	Portugal	Espanha
Turbidez (UNT)	-	-	2 – sem limite	-	-	1 – 15
SDT (mg L ⁻¹)	-	-	2000	-	640	-
pH	6,5 – 8,5	-	6,5 – 8,5	6,0 – 9,5	6,5 – 8,4	-
DQO (mg L ⁻¹)	70	60	-	100	-	-
Cloreto (mg L ⁻¹)	300	-	350	250	70	-
Nitrogênio total (mg L ⁻¹ N)	15	-	30	15	-	10*
Fósforo Total (mg L ⁻¹ P)	2 – 10	-	1 – 2	2	-	2*
Coliformes totais (NMP/ 100 mL)	-	-	2	-	-	-
Coliformes termotolerantes (NMP/ 100 mL)	-	-	-	-	100 - 10 ⁴	-

* Somente para recarga de aquíferos e usos recreativos.

Fonte: SANZ; GAWLIK, 2014 (adaptado).

A maioria destas regulamentações internacionais apresentadas envolve o reúso na irrigação de áreas urbanas e rurais – exceto para produção de alimentos, como plantações, em alguns países.

A prática do reúso de águas residuárias deve ser feita de forma racional, sempre conforme sua qualidade ao uso a que se destina. Além disso, tal prática

afeta positivamente a oferta e a demanda de recursos hídricos para usos mais nobres (CAMPINAS, 2014).

1.7 O quadro atual e as propostas de intervenção do poder público na cidade do Rio de Janeiro

As ações de revitalização de recursos hídricos no Brasil são recentes, como é o caso da racionalização de água feita na ETE Penha desde 2005, que encaminha em média 315 m³ de efluente tratado para reúso, em aproximadamente 45 caminhões-pipa. Esta água tem como finalidade a limpeza de ruas após feiras, calçadas, praças, monumentos da cidade e viaturas. Outros destinos são a desobstrução de galerias de esgoto, o uso interno na CEDAE para diluição de polímeros e a limpeza das centrifugas e em algumas unidades de tratamento de esgoto/lodo (MANHÃES; ARAÚJO, 2015; SILVA, 2015).

Outra intervenção foi a construção de reservatórios que atenuassem o crônico problema das enchentes na região da Praça da Bandeira e do Maracanã. Em adição, o projeto de desvio do curso final do Rio Joana, que não mais desaguará no Canal do Mangue, mas sim diretamente na Baía da Guanabara, muito próximo ao local onde deságua o canal. A obra prevê a conexão do rio Maracanã ao Rio Joana, que seria utilizada em caso de fortes chuvas (BORGES, 2013). Todas essas ações governamentais irão alterar o funcionamento do Canal do Mangue. Estima-se que a vazão do canal será reduzida em mais de 30%. Essa redução de vazão se dará no trecho do canal que margeia a Avenida Francisco Bicalho e poderá intensificar a deposição de sólidos nesse ramo, muito embora as observações feitas neste trabalho indiquem que as zonas de assoreamento do canal estão mais presentes no ramo adjacente à Avenida Presidente Vargas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta, obtenção e padronização das amostras

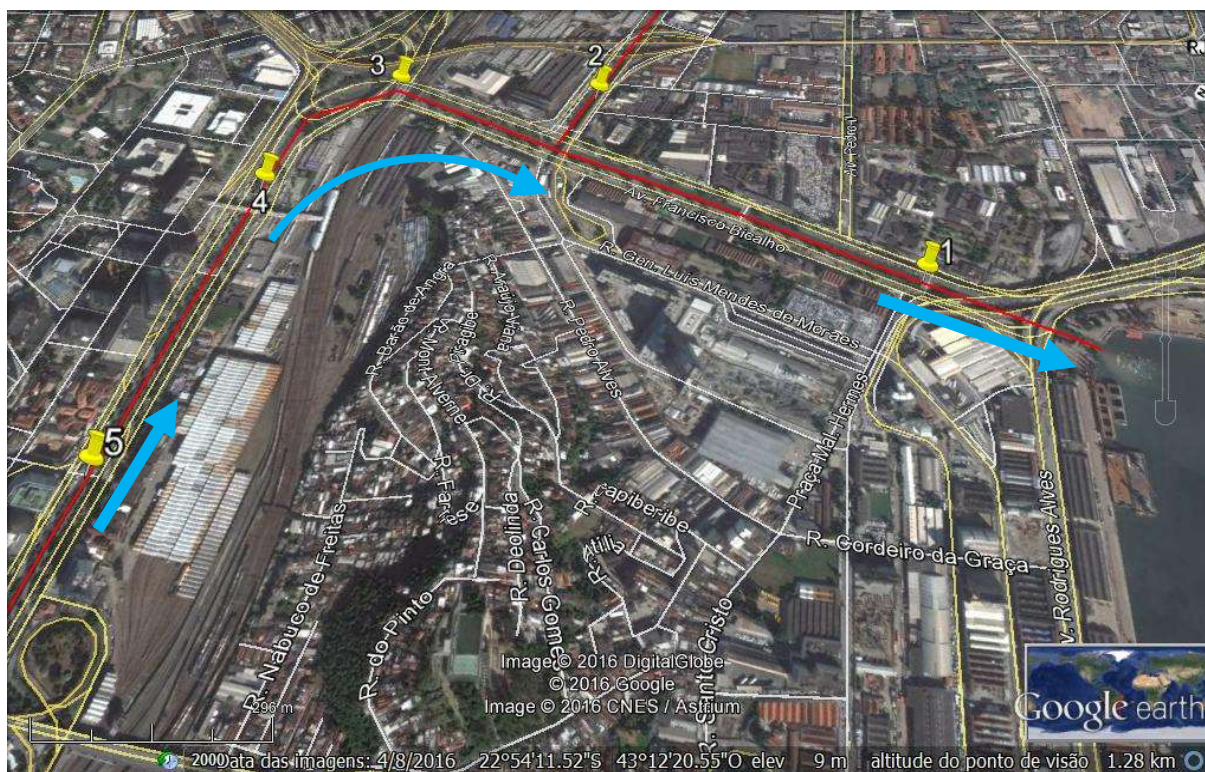
A Figura 7 é uma imagem de satélite do Canal do Mangue e do coletor da Rua Francisco Eugênio. Na figura estão indicados os cinco pontos de amostragem. As coletas nos cinco pontos foram feitas entre 10 e 12 horas nos dias: 05/08/2015; 26/10/2015; 23/02/2016; 14/06/2016. Nenhuma coleta foi feita sob precipitação de chuvas para que não houvesse interferência nos resultados. Duas coletas adicionais foram feitas no ponto 1 em 11/10/2016 e 23/11/2016 com o intuito de investigar o tratamento da água (Tabela 8).

A coleta das amostras de água era feita com auxílio de um recipiente amarrado a um cabo, sempre que possível, no centro do canal e em profundidade média. Uma vez coletada, a amostra era vertida em uma tela (filtro) para retenção de partículas maiores do que 3 mm. Como material de coleta, foram utilizados: frascos de plástico para amostras coletadas para determinação dos parâmetros físico-químicos, biológicos e ensaios de toxicidade e frascos de vidro de um litro de boca larga para determinação de óleos e graxas. Em seguida as amostras foram armazenadas em recipientes totalmente preenchidos e estocadas em isopor com gelo para preservação até serem transferidas para o Laboratório de Engenharia Sanitária – LES – da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, onde ficavam armazenadas em temperatura inferior a 4 °C até serem processadas e analisadas.

Tabela 8 – As coordenadas (GPS) dos pontos de amostragem.

Ponto de coleta	Coordenadas geográficas	Localização	Número de coletas para cada ponto
1	22°54'00.7"S; 43°12'36.6"W	Avenida Francisco Bicalho, próximo ao Terminal Rodoviário Novo Rio	6
2	22°54'24.2"S; 43°12'41.0"W	Rua Francisco Eugênio, 20	4
3	22°54'34.3"S; 43°12'34.3"W	Avenida Francisco Bicalho na curva do canal	4
4	22°54'36.1"S; 43°12'22.2"W	Avenida Presidente Vargas, próximo à estação de Metrô Cidade Nova	4
5	22°54'29.6"S; 43°12'02.3"W	Avenida Presidente Vargas, próximo à Nova CEDAE	4

Figura 7 – Imagem de satélite do canal com pontos de amostragem.



Legenda: Pontos de amostragem nos indicadores amarelos; Linha vermelha sobre o canal; Setas azuis mostram o sentido do escoamento.

Fonte: Google Earth, 2016.

Os pontos de amostragem foram definidos no sentido contrário ao escoamento das águas do canal para a Baía de Guanabara, a fim de evitar a coleta de amostras semelhantes. O ponto 1 está localizado na avenida Francisco Bicalho, próximo ao Terminal Rodoviário do Rio de Janeiro. O ponto 2 na rua Francisco Eugênio, próximo ao número 20, no canal onde desembocam os rios Joana e Maracanã. O ponto 3 situa-se na avenida Francisco Bicalho próximo à curva do canal. E o ponto 4 na avenida Presidente Vargas, próximo à estação de Metrô Cidade Nova e o ponto 5 se situa na avenida Presidente Vargas próximo ao prédio da Nova CEDAE.

2.2 Procedimentos Analíticos

2.2.1 Parâmetros físico-químicos

A determinação dos parâmetros físico-químicos foi realizada com base nos procedimentos recomendados pela entidade americana APHA (2012). Após a coleta, análises foram realizadas para se obter informação sobre a qualidade das águas do canal. Os parâmetros de qualidade de água determinados são: demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico dissolvido (COD), fósforo total, nitrogênio amoniacal, pH, turbidez, cor, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos voláteis (SSV), temperatura, teor de óleos e graxas, teor de cloreto, oxigênio dissolvido (OD), absorvância (254 nm) e coliformes. Na Tabela 9 encontram-se citados os métodos utilizados para determinação dos parâmetros acima referidos.

Tabela 9 – Métodos de determinação dos parâmetros físico-químicos segundo APHA (2012).

Parâmetro	Número do Método	Método
pH	4500-H ⁺ B	Potenciométrico
Temperatura	2550	---
Turbidez	2130 B	Nefelométrico
Cor Verdadeira	2120 C	Espectrofotométrico
Cor Aparente	2120 C	Espectrofotométrico
DQO	5220 D	Colorimétrico
COD	5220 D	Colorimétrico
SDT	2540 C	Gravimétrico
SST	2540 D	Gravimétrico
SSV	2540 E	Gravimétrico
Nitrogênio Amoniacal	4500-NH ³ D	Método do Eletrodo Seletivo de Amônia
Fósforo Total	4500-P E	Método do Ácido Ascórbico
Óleos e Graxas	5520 D	Método de Extração por Soxhlet
Cloreto	4500-Cl ⁻ B	Método Argentométrico (Mhor)
Oxigênio Dissolvido	4500-O G	Método Eletrométrico
Absorbância 254nm	5910 B	Método de Absorção Ultravioleta
Coliformes termotolerantes	9223 B	Teste de Coliforme com substrato enzimático-Tubos Múltiplos Normal
Coliformes totais	9223 B	Teste de Coliforme com substrato enzimático-Tubos Múltiplos Normal

Os ensaios de colimetria foram feitos apenas para as amostras da 4^a, 5^a e 6^a coletas sempre do ponto 1 e somente estas análises foram realizadas no laboratório Oceanus – Hidroquímica, localizada no Rio Comprido, RJ, a partir da metodologia 9223 A e B (APHA, 2012) que aborda a análise de Tubos Múltiplos Normal. As amostras foram encaminhadas sob refrigeração a este laboratório no mesmo dia em que sucederam as respectivas coletas.

2.2.2 Ensaio de toxicidade

Para as três últimas coletas (4^a, 5^a e 6^a) foram realizados ensaios de toxicidade com os organismos *Allivibrio fischeri* e *Daphnia similis*. Para a bactéria

Aliivibrio fischeri foi adotado o método NBR 15411-3 (ABNT, 2012) e, para tal, foi empregado o equipamento Microtox (SDI, modelo 500). Para o micro-crustáceo *Daphnia similis* foi utilizado o método descrito na norma NBR 12713 (ABNT, 2016). Foram utilizadas amostras brutas, sem diluição, e amostras tratadas com coagulante nas concentrações 10 mg L⁻¹, 25 mg L⁻¹ e 50 mg L⁻¹.

2.3 Testes de tratabilidade

Os ensaios de tratabilidade foram feitos com amostras de água coletadas no ponto 1 nas datas previamente indicadas. Primeiramente investigou-se o efeito do teor de cloreto férrico para uma ampla faixa, entre 50 mg L⁻¹ e 400 mg L⁻¹ de coagulante. Face aos resultados obtidos (APÊNDICE A) de remoção de turbidez, sendo o principal critério de análise de desempenho do coagulante, restringiu-se a investigação à faixa menores de FeCl₃, entre 5 mg L⁻¹ e 150 mg L⁻¹ (APÊNDICE B), visto que as menores concentrações de coagulante em ampla faixa (50 mg L⁻¹) apresentaram melhores resultados de remoção em comparação com as maiores concentrações.

Os ensaios foram realizados em equipamento de jarros (Phipps & Bird Stirrer, Modelo 7790-400) com volumes de líquido de 1 L cada. As amostras que estavam sob refrigeração foram mantidas no ambiente até estabilização da temperatura, que se situou próximo a 24 °C nos ensaios realizados, sem ajuste de pH das amostras. Após a adição da quantidade pertinente de cloreto férrico (Vetec Química Fina Ltda), manteve-se agitação rápida (30 rpm) por 5 minutos e lenta (300 rpm) por 15 minutos. Posteriormente, o conteúdo dos jarros ficou em repouso por 30 min.

Após a sedimentação houve adição de hipoclorito de sódio (NaClO) ao efluente clarificado, na concentração de 3 mg L⁻¹. O volume do lodo formado foi medido nesses ensaios e o sobrenadante foi submetido às determinações: turbidez, DQO bruta e filtrada, carbono orgânico dissolvido (COD), cor verdadeira e coliformes, a fim de verificar a eficácia do tratamento, comparando-se os resultados das amostras brutas e tratadas. O volume de lodo gerado foi medido e expresso em percentagem do volume inicial da amostra.

Três ensaios de aeração foram realizados em intervalos de 10 minutos com o clarificado da amostra de melhor resultado de remoção de turbidez (50 mg L^{-1}) na terceira coleta (23/02/2016), entretanto, observou-se no início que não havia melhora considerável dos resultados dos parâmetros físico-químicos se comparados antes e após a aeração. Sendo assim, optou-se pela descontinuidade deste procedimento.

2.4 Observações sobre o Canal do Mangue feitas durante as amostragens

O Canal do Mangue recebe contribuição das águas dos rios Joana, Trapicheiros, Papa-Couve, Maracanã, Comprido, dentre outros (Tabela 10). A desembocadura do Canal está a Sudoeste da Baía de Guanabara (Figura 8), na região do Cais do Porto (CANHOLI; GRACIOSA, 2014; OLIVEIRA; NETO; RANGEL, 2013).

Figura 8 – Principais rios tributários do Canal do Mangue.



Legenda: Linhas azuis para rios tributários e linhas vermelhas para o Canal do Mangue.

Fonte: Disponível em: <<http://www.segurado.com.br/bloggustavo/wpcontent/uploads/2013/01/bacia-canal-do-mangue.jpg>> Acesso em 18 mar. 2016.

Tabela 10 – Apresentação da extensão da Sub-bacia do Canal do Mangue e seus rios tributários.

Cursos d'água	Localização	Extensão (Km)
Rio das Bananas	Rio Comprido	1.2
Canal do Mangue	Cidade Nova; Santo Cristo	2.8
Rio Papa-Couve	Santa Tereza; Catumbi; Cidade Nova	2.3
Rio Maracanã	Alto da Boa Vista; Tijuca; Maracanã; Praça da Bandeira	10.1
Rio São João	Alto da Boa Vista	1.6
Rio Trapicheiro	Tijuca; Praça da Bandeira	5.2
Rio Joana	Grajaú; Andaraí; Vila Isabel; Maracanã	5.5
Rio Andaraí	Andaraí	2.0
Riacho Exelcior	Grajaú	1.9
Rio Perdido	Grajaú	2.2
Rio dos Cachorros	Vila Isabel; Maracanã	2.5
Rio Comprido	Alto da Boa Vista; Santa Tereza; Rio Comprido; Praça da Bandeira	4.5
Rio Agostinho	Alto da Boa Vista; Tijuca	1.7
Rio cascata	Tijuca	1.2
Rio dos Urubus	Grajaú; Andaraí	3.8
Rio Cachoeira	Grajaú	0.6
Rio Joana Inferior	São Cristovão	1.7

Fonte: Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - Serla/Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMAC (compatibilizadas as informações com as unidades espaciais de análise ambiental (Ueas)/IPP (DIC/DIG)/RIOÁGUAS) – 2005.

Ademais, o canal recebe grande carga de efluentes de diversas maneiras, tendo como principal fonte o esgoto doméstico (Figura 9).

Figura 9 – Canal do Mangue e suas formas de contribuição de rios e esgoto.



Legenda: Imagens da Avenida Presidente Vargas, próximo à Estação de Metro Cidade Nova. Imagens (a) Rio tributário Papa-Couve e (b) Tubulações de esgotos desaguando no canal.

Fonte: A autora, 2015.

Durante as amostragens, a equipe de coleta se deslocou pelas margens do canal, passou por suas pontes e observou pontos de assoreamento, tubulações de proveniência não conhecida que deságuam no canal, população de rua que utiliza a água do canal e pequenos grupos de pedintes na confluência das avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho. A documentação fotográfica realizada, de vários pontos do canal, serviu de base para que propostas de operação e funcionamento fossem feitas no âmbito deste trabalho.

No período de 13 meses do estudo, durante as coletas de amostras, também foram observados diversos aspectos relativos ao funcionamento e às condições do Canal do Mangue. Os principais aspectos observados são:

- assoreamento do canal, de modo mais expressivo no ramo da Avenida Presidente Vargas. Em vários pontos, foi verificada a presença de pequenas ilhas de material sedimentado (Figura 10a).

- material flutuante, como plásticos, madeiras, de origem oleosa, entre outros (Figura 10b).

- população de rua e pedintes nas margens do canal, até mesmo, se abrigando nas bocas de saída de tubulações sem escoamento, em especial, na convergência entre as avenidas Presidente Vargas e Francisco Bicalho.

- margens sujas, com acúmulo de roupas, papelão, latas e outros materiais.

- vegetação decorativa (paisagismo) razoável, mas ausente em certos trechos.

Figura 10 – Materiais sedimentados e flutuantes do canal.



(a)

(b)

Legenda: (a) Materia sedimentado próximo à estação de metrô Cidade Nova. (b) Material flutuante de origem oleosa próximo ao prédio da Nova Cedae.

Fonte: A autora, 2015.

2.5 Precipitação Pluviométrica

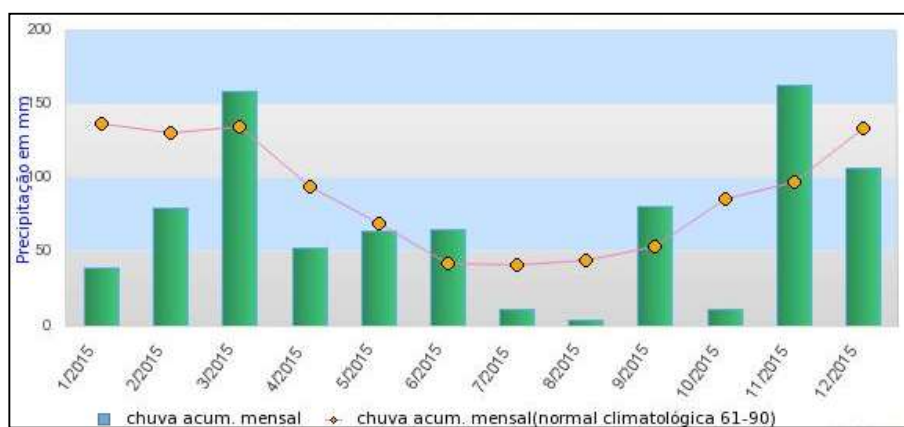
Devido à região em estudo localizar-se em clima tropical úmido e ser uma área litorânea, as chuvas intensificam-se no verão, que ocorre entre dezembro e março. Além das informações divulgadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, o Sistema Alerta Rio também possibilita a consulta de registros pluviométricos, onde os mais próximos do Canal do Mangue são provenientes da Estação Telepluviométrica São Cristóvão, localizada no Campo de São Cristóvão (D'ORSI *et al.*, 2015, 2016). A Tabela 11 apresenta dados de precipitação mensal acumulada e de 96 horas antecedentes de cada coleta.

Tabela 11 – Dados de precipitação da Estação São Cristovão referente aos meses de coleta.

Coleta	Data da coleta	Precipitação mensal acumulada (mm)	Precipitação 96h antecedentes às coletas (mm)
1 ^a	05/08/2015	0,8	0,0
2 ^a	26/10/2015	7,0	1,2
3 ^a	23/02/2016	236,2	95,8
4 ^a	14/06/2016	64,0	0,0
5 ^a	11/10/2016	51,0	4,4
6 ^a	23/11/2016	161,8	0,0

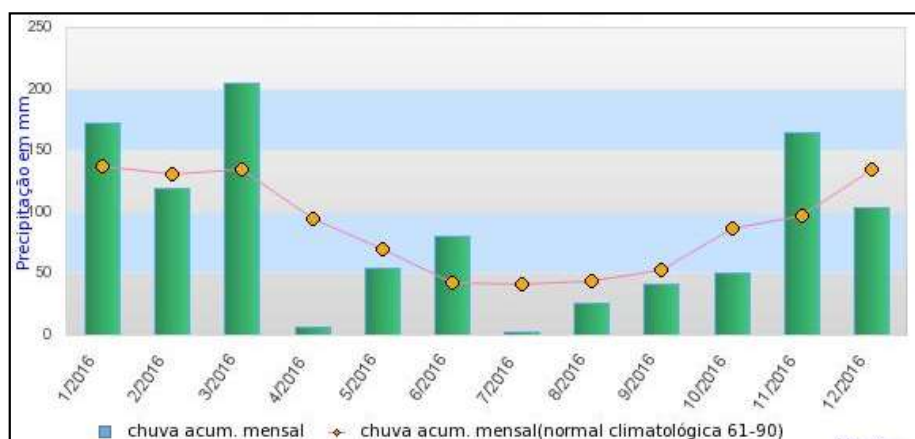
De acordo com os registros pluviométricos do INMET (2016), os meses que apresentaram os maiores índices de pluviosidade na cidade do Rio de Janeiro durante o período de estudo foram março, novembro e dezembro de 2015 e em 2016, janeiro, março e novembro (Figuras 11-12).

Figura 11 – Chuva acumulada mensal na cidade do Rio de Janeiro em 2015.



Fonte: INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf> Acesso em 20 set. 2017.

Figura 12 – Chuva acumulada mensal na cidade do Rio de Janeiro em 2016.



Legenda: Norma Climatológica 61-90 se refere às médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos.

Fonte: INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf> Acesso em 20 set. 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de parâmetros físico-químicos

Sobre os resultados dos parâmetros físico-químicos determinados para os 5 pontos de amostragem, encontram-se na Tabela 12 seus valores médios, onde o desvio padrão de cada conjunto específico de resultados também está indicado. Nos casos em que o coeficiente de variação (desvio padrão/média, expresso em porcentagem) foi maior do que 100%, optou-se por apresentar na tabela o intervalo de variação (valores mínimo e máximo) daquele parâmetro.

Observa-se que para um dado ponto ocorre grande variação dos valores dos parâmetros para o conjunto de amostras coletadas. Com exceção do pH e da temperatura, os demais parâmetros apresentaram grande variação para um mesmo ponto e, em termos médios, menor variação entre diferentes pontos. De algum modo esse era um resultado esperado, dado que o canal recebe contribuições de vários rios, de águas pluviais e até de descartes irregulares, com regimes de fluxo e vazões variáveis ao longo do tempo. Os valores extremos de pH e temperatura para todo o universo de amostras coletadas foram: 6,1 (ponto 3, 4ª. coleta), 7,4 (ponto 2, 3ª. coleta) e 20 °C (pontos 1 a 5, 1ª. coleta), 25 °C (pontos 1 a 5, 3ª. coleta), respectivamente.

No que se refere à matéria orgânica, expressa como DQO e COD, em função do aporte de rios que recebem esgotos e outros despejos, esperava-se até maiores teores desses parâmetros. A DQO bruta média nos pontos amostrais ficou na faixa de 56 a 132 mg L⁻¹. O maior valor registrado, levando-se em conta todas as amostras coletadas, foi de 305 mg L⁻¹, pontualmente elevado. Os valores médios de DQO filtrada se situaram entre 28 e 60 mg L⁻¹ e a razão DQO filtrada por DQO bruta, para os valores médios dos pontos de amostragem, foi de 0,47 ± 0,14. Ou seja, o material orgânico particulado e o dissolvido têm praticamente igual contribuição para a demanda de oxigênio. No caso do COD, as médias por ponto de amostragem variaram de 10 a 21 mg L⁻¹ C e o maior valor encontrado no conjunto de amostras coletadas foi de 47 mg L⁻¹ C (ponto 3, 2ª. coleta).

Não se constatou correlação entre os valores de DQO filtrada e COD, possivelmente devido à variabilidade de resultados obtidos nas análises. A razão entre DQO filtrada e COD também teve forte variação, mas para valores médios foi de $3,1 \pm 1,3$ e para o conjunto de amostras foi de $3,6 \pm 2,7$. O valor da razão entre esses dois indicadores pode variar dependendo da composição dos poluentes hídricos. Para efluentes industriais e domésticos, essa razão, em geral, se situa em uma faixa de 2 a 7 (SANT'ANNA JR., 2013)

Um parâmetro que se apresentou em níveis críticos ao longo do canal foi o teor de oxigênio dissolvido, sempre abaixo de 1 mg L^{-1} e, em alguns pontos, inferior a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. O canal tem um escoamento, em geral, quiescente, sem turbilhões ou redemoinhos, o que acarreta em baixa taxa de transferência de oxigênio do ar para a água. Se o nível de OD fosse maior, a capacidade de auto-depuração do canal seria aumentada.

Outro parâmetro que apresenta valores relativamente críticos é o N-amoniacoal, cujos valores médios em cada ponto variaram de 16 a 29 mg L^{-1} . Para todas as amostras analisadas verificou-se que para 41% delas o nível desse parâmetro superou o valor de 20 mg L^{-1} determinado pela Resolução CONAMA n. 430 de 2011 (BRASIL, 2011). Esse poluente além de apresentar toxicidade, contribui para aumentar o déficit de oxigênio nos cursos d'água.

Tabela 12 – Sumário dos resultados dos valores dos parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
pH	7,0 ± 0,3	7,2 ± 0,4	6,8 ± 0,5	7,0 ± 0,2	6,8 ± 0,4
Temperatura (°C)	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2	23 ± 2
Turbidez (UNT)	32 ± 22	43 ± 15	70 ± 59	44 ± 26	41 ± 9
Cor aparente (UC)	320 ± 243	558 ± 172	515 ± 251	463 ± 200	455 ± 165
Cor Verdadeira (UC)	125 [28 – 400]	180 [50 – 480]	205 [20 – 500]	180 [40 – 430]	140 [40 – 400]
DQO bruta (mg L ⁻¹)	56 [15 – 164]	129 [36 – 305]	132 [28 -279]	66 [20 – 145]	90 [43 – 169]
DQO filtrada (mg L ⁻¹)	28 ± 16	60 ± 32	33 ± 29	43 ± 27	42 ± 21
COD (mg L ⁻¹)	14 ± 7	13 ± 3	21 ± 18	15 ± 10	10 ± 1
SDT (mg L ⁻¹)	986 ± 534	562 ± 200	1319 ± 695	581 ± 211	379 ± 282
SST (mg L ⁻¹)	67 ± 33	115 ± 30	114 ± 82	68 ± 22	111 ± 89
SSV (mg L ⁻¹)	34 [nd – 54]	57 [16 – 98]	12 [nd – 36]	18 [nd – 42]	29 [nd – 78]
N-amoniacoal (mg L ⁻¹)	18 ± 5	29 ± 18	16 ± 5	21 ± 13	17 ± 12
P-total (mg L ⁻¹)	1,0 ± 0,6	0,9 ± 0,8	1,0 ± 0,7	1,3 ± 0,9	1,1 ± 0,9
O&G (mg L ⁻¹)	21 [4 – 59]	–	27 [3 – 73]	19 [2 – 27]	5 [nd – 7]
Cloretos (mg L ⁻¹)	300 ± 228	90 ± 75	333 ± 255	166 ± 95	77 ± 55
OD (mg L ⁻¹)	0,8 ± 0,1	0,7	0,6	0,4	0,3
Abs 254 nm	0,133 ± 0,032	0,275 ± 0,176	0,181 ± 0,074	0,181 ± 0,094	0,186 ± 0,043

Para os resultados da série de sólidos, verificou-se que o teor de sólidos em suspensão totais (SST) apresentou variação significativa em cada um dos pontos de amostragem. Os valores médios ao longo do canal se situaram entre 67 e 115 mg L⁻¹, valores que não são muito elevados em si, provavelmente porque há condições de sedimentação dos sólidos no canal por conta do seu lento escoamento. Os sólidos em suspensão voláteis (SSV), representativos dos materiais em suspensão de natureza orgânica, variaram de 12 a 57 mg L⁻¹, valores que podem ser considerados baixos. A variação desse parâmetro foi muito alta para cada ponto considerado, com coeficientes de variação superiores a 100% para os dados obtidos. Os valores da razão SSV/SST variaram de 0,11 (ponto 3) a 0,51 (ponto 1), tendo como valor médio 0,33. Apesar da dispersão, esses resultados parecem indicar que a maior parte do material em suspensão não é de natureza orgânica.

O teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) também variou muito para cada ponto de amostragem e também de um ponto para outro. O maior valor médio foi observado no ponto 3 (1.319 mg L⁻¹) e o menor no ponto 5 (379 mg L⁻¹), contudo as concentrações para reúso não potável deveriam estar abaixo de 200 mg L⁻¹ (ABNT,

1997; NITERÓI, 2011). Os valores máximo e mínimo do teor de cloretos foram também observados para esses dois pontos, o que retrata à significativa presença de sais entre os sólidos dissolvidos nas águas do canal.

No que se refere à cor, tanto a aparente como a verdadeira apresentaram grandes variações para as amostras coletadas em um dado ponto. Ambos os parâmetros apresentam valores elevados. A cor verdadeira variou de 125 a 205 uC, muito acima do limite preconizado pela Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente para as águas das classes 2 e 3 (CONAMA, 2005), até 75 uC. Entretanto, a legislação de reúso determina aplicações abaixo de 15 uC (ABNT, 007; NITERÓI, 2011), como consta na Tabela 6, referente aos padrões de qualidade de águas residuárias para reúso não potável. Níveis elevados de O&G e de fósforo total (P-total) foram observados em todas as amostras analisadas, o que evidencia qualidade insatisfatória da água do canal com respeito a esses parâmetros (APÊNDICE A).

A medida da Abs254 é considerada um indicativo da presença de compostos aromáticos na água (WEISHAAR *et al.*, 2003). Para águas muito pouco poluídas, em muitos casos, pode-se verificar uma correlação ente esse parâmetro e a DQO filtrada ou o COD. A Figura 13 mostra que, para os valores médios de cada ponto, há alguma relação entre a Abs254 e a DQO filtrada, embora o coeficiente de correlação não seja muito elevado (0,89). Uma outra correlação foi verificada entre os valores médios de SDT e o teor de cloretos, como ilustrado na Figura 14.

A turbidez, apesar de apresentar grande variação para cada ponto de amostragem, não atingiu valores muito elevados, ficando entre 32 (ponto 1) e 70 UNT (ponto 3). Algum grau de correlação foi observado entre cor verdadeira e turbidez (coeficiente de correlação linear de 0,74).

Figura 13 – Correlação entre os valores médios (em cada ponto) de Abs254 e DQO filtrada.

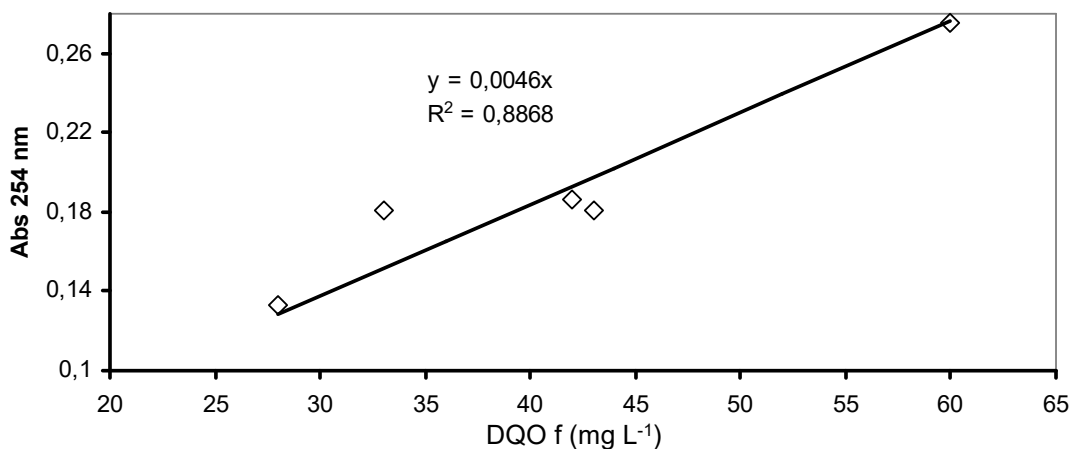
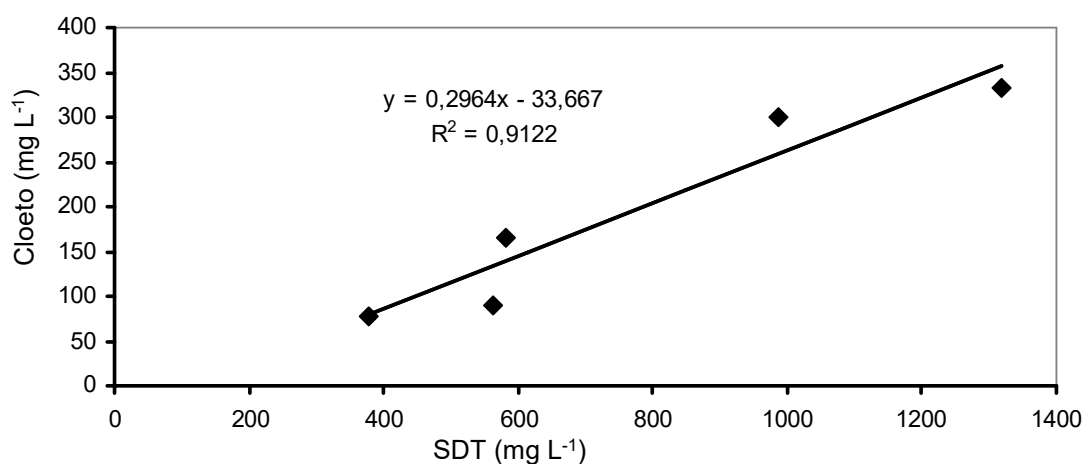


Figura 14 – Correlação entre os valores médios (em cada ponto) dos teores de cloretos e STD.



Face aos grandes valores de desvio padrão dos parâmetros listados na Tabela 12 (exceto pH e temperatura) não se pode afirmar com certeza se a água coletada em um ponto apresenta pior ou melhor qualidade que a de outro ponto. As águas dos pontos 4 e 5 sofrem influência de lançamentos diversos e do Rio Papa Couve. No ponto 3 há influência dos lançamentos dos rios Comprido e Trapicheiro. Os rios Joana e Maracanã afetam as águas coletadas no ponto 2 e o conjunto dessas contribuições se manifesta no ponto 1, onde também ocorre influência das marés. No geral, quanto aos parâmetros físico-químicos, os dados revelam má qualidade da água do canal.

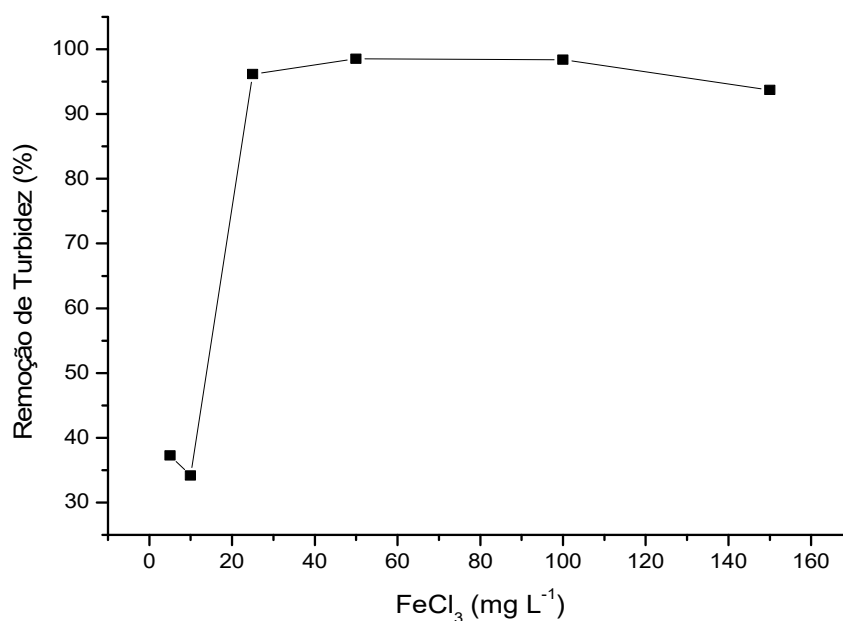
Os dados de colimetria e toxicidade são apresentados no subcapítulo 3.5, pois as determinações foram feitas para amostras brutas e amostras submetidas ao tratamento.

3.2 Ensaio de tratabilidade da água do Canal do Mangue

Além de ser relevante analisar os parâmetros de qualidade de água que respondem pela carga poluidora das águas do canal em diferentes locais e períodos, é importante realizar ensaios de tratabilidade antes de aplicá-los em escala real, para garantir maior eficiência do tratamento e sem gastos de material além do necessário.

Todos os ensaios foram realizados com amostras coletadas no ponto 1, o mais próximo do ponto de encontro do canal com o mar. De início investigou-se o efeito do teor de coagulante (FeCl_3) na remoção de turbidez, para uma faixa ampla dessa variável (50 a 400 mg L^{-1}). Verificou-se remoções muito elevadas (> 99%) para as concentrações de 50, 100 e 150 mg L^{-1} de FeCl_3 . Para além desse último valor (200, 300 e 400 mg L^{-1}), houve decréscimo do desempenho da coagulação. Procurou-se, então, explorar uma faixa de menor concentração do coagulante (5 a 100 mg L^{-1}). Obteve-se bons resultados a partir da concentração de 25 mg L^{-1} , conforme ilustrado na Figura 15. Além disso, não houve ajuste de pH previamente ou posteriormente ao teste de jarro, pois as amostras brutas apresentaram-se próximas da neutralidade mesmo após a adição das menores concentrações de cloreto férrico. A permanência do estado neutro da amostra após o tratamento de coagulação/ floculação é fundamental para dar início ao processo de cloração, pois o pH precisa estar entre 6,5 e 8,0.

Figura 15 – Remoção da turbidez em função da concentração de coagulante (turbidez inicial = 16 UNT), amostragem ponto 1, 14/06/2016



A Figura 16 mostra a remoção de cor verdadeira e de redução de DQO bruta em função da concentração de coagulante. Para a concentração de 25 mg L⁻¹ foi possível remover praticamente toda a cor verdadeira e reduzir 88% da DQO bruta. Para as concentrações de 50 e 100 mg L⁻¹, ambos os parâmetros sofreram redução elevada, ambos acima de 80% (APÊNDICE B).

Esses dados revelam que a coagulação com cloreto férrico foi efetiva para promover a remoção de cor e de DQO da água do canal. Obviamente, essa técnica gera lodo, que, no caso de aplicação real, deve ter condicionamento e destino adequados. Os volumes de lodo obtidos nos ensaios de coagulação realizados com diferentes concentrações de coagulante (5 a 100 mg L⁻¹) e amostras coletadas em dias diferentes foram reunidos na Figura 17 e relacionados com o percentual de remoção de turbidez atingido no ensaio.

Figura 16 – Remoção de cor verdadeira e DQO bruta em função do teor de coagulante (Amostragem ponto 1, 23/11/2016, Cor inicial 28 UC, DQO bruta inicial 32 mg L⁻¹).

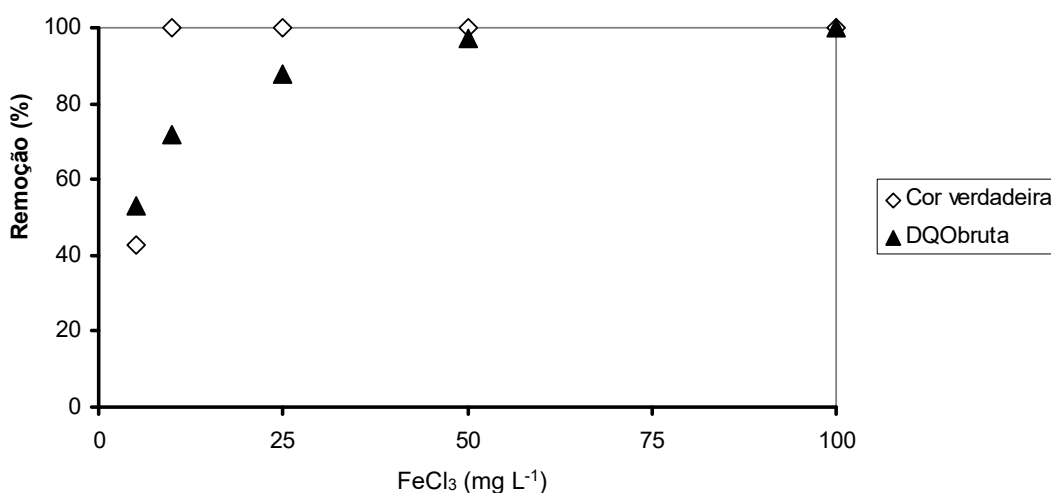
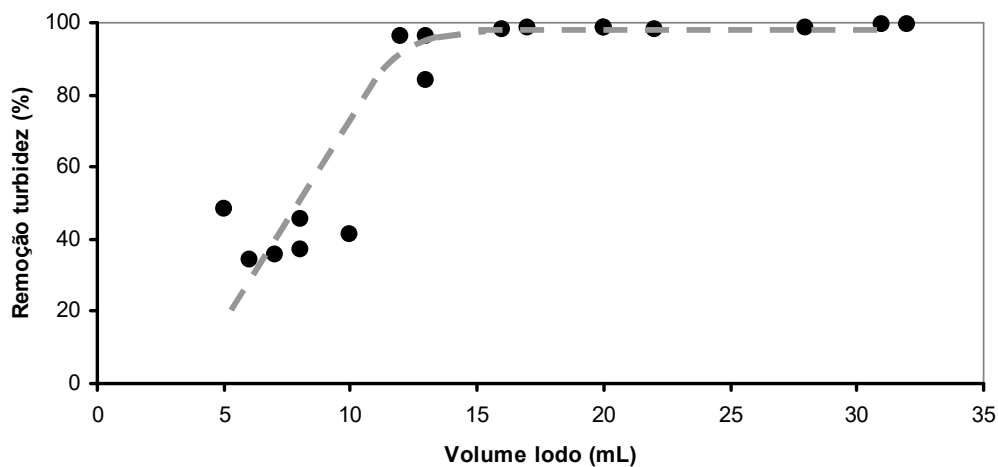


Figura 17 – Volume de lodo obtido nos ensaios de coagulação em função da turbidez removida (17 ensaios realizados com teores de FeCl₃ de 5 a 100 mg L⁻¹).



Os resultados indicam que volumes de lodo entre 15 e 30 mL foram obtidos em ensaios em que há elevada remoção de turbidez. Isto corresponde à produção de lodo bruto de 1,5 a 3% do volume de água tratada.

3.3 Qualidade microbiológica da água

Para as amostras da 4^a, 5^a e 6^a coletas e sempre do ponto 1 foi realizada a colimetria das amostras de água para avaliar a qualidade microbiológica. O número mais provável de coliformes por 100 mL (NMP/ 100mL) foi determinado nas amostras brutas e após a coagulação/ floculação e adição de 3 mg L⁻¹ de NaClO às amostras. Após os ensaios de tratabilidade, os resultados obtidos (Tabela 13) são satisfatórios para as leis e normas nacionais e internacionais de reúso não potável (Tabelas 6-7).

Tabela 13 – Resultados de colimetria* - antes e após os ensaios de floculação e cloração.

FeCl ₃ (mg L ⁻¹)	Bruta (0)	5	10	25	50	100
4 ^a . campanha						
C.termotolerantes	> 16000	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
C.totais	>16000	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
5 ^a . campanha						
C.termotolerantes	390	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
C.totais	>16000	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes	ausentes
6 ^a . campanha						
C.termotolerantes	9200	-	<1,8	<1,8	-	-
C.totais	>16000	-	<1,8	<1,8	-	-

*Colimetria expressa em NMP/100mL

De acordo com Sanz e Gawlik (2014), a desinfecção do efluente se faz necessária, pois a integração de procedimentos e ferramentas que coletivamente previnem ou reduzem a contaminação de água de reúso a partir do tratamento até o ponto de uso, tem como objetivo reduzir os riscos à saúde pública durante sua utilização.

3.4 Ensaios de Toxicidade aguda

Quanto à toxicidade aguda, foram realizados 20 ensaios, distribuídos ao longo dos experimentos, para cada espécie de organismos-teste para construção da carta controle.

A carta controle é elaborada a partir de um gráfico-controle contendo o cálculo da média dos resultados de CE_{50} e os valores correspondentes a dois desvios-padrão superior e inferior à média, que definem um limite de aceitabilidade dos resultados de sensibilidade dos organismos-teste. A CE_{50} corresponde à concentração efetiva derivada estatisticamente que causa efeito inibitório em 50% dos organismos-teste de uma determinada espécie (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

As substâncias de referência utilizadas pelo laboratório foram o cloreto de sódio ($NaCl$ 2 g L^{-1}) para a *Daphnia similis* (Figura 18) e zinco ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ $3,42\text{ mg L}^{-1}$) para a *Aliivibrio fischeri* (Figura 19), pois fazem parte das normas brasileiras 12713 e 15411-3 (ABNT, 2016; ABNT, 2012), respectivamente.

Figura 18 – Carta controle do microcrustáceo *Daphnia similis*

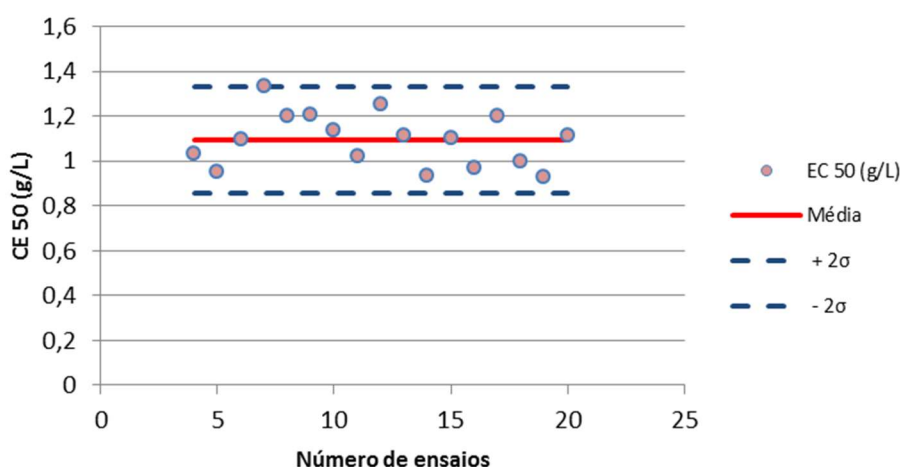
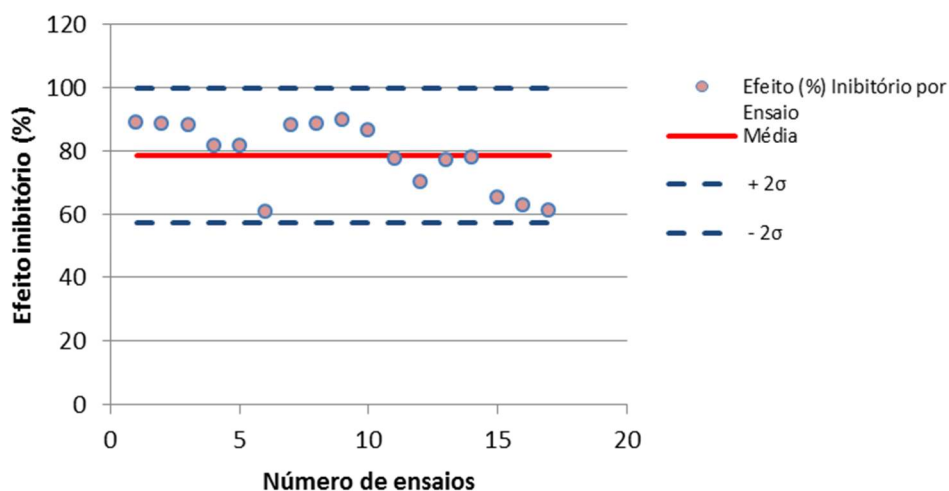


Figura 19 – Carta Controle da bactéria *Aliivibrio fischeri*

Na maioria das amostras analisadas não foi possível calcular a CE_{50} visto que parte das amostras brutas, sem diluição, não causaram efeito em 50% dos organismos usados. Apesar de algumas amostras não ser possível a determinação do valor da CE_{50} , foi observado efeito inibitório em alguns espécimes. Desta forma, optou-se por apresentar os resultados de CE_{50} e os valores de efeito tóxico máximo observado em cada ponto de coleta para cada um dos organismos-teste. O resultado de efeito máximo observado representa o percentual total da população afetada em cada ensaio. Vale ressaltar que as respostas CE_{50} são determinadas por métodos estatísticos computacionais que apresentam relação inversa com a toxicidade, portanto, altos valores de CE_{50} representam baixos efeitos inibitórios nos indivíduos.

Os ensaios de toxicidade foram realizados com amostras das três últimas coletas (4^a, 5^a e 6^a). Todavia, devido às duas últimas coletas terem sido destinadas para tratabilidade, obteve-se somente amostras do ponto 1 nestas coletas. Sendo assim, apenas a quarta coleta apresenta resultados de toxicidade dos 5 pontos de amostragem. As Figuras 20 e 21 demonstra o percentual de organismos-teste que apresentaram imobilidade ou diminuição da luminescência, para *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri*, respectivamente, quando expostos à amostra sem nenhuma diluição. Dentre as amostras coletadas nos 5 pontos (4^a coleta), o ponto 2 foi o único a apresentar CE_{50} para ambos organismos-teste. Os maiores efeitos inibitórios foram observados nas bactérias, nas amostras coletadas nos pontos 2, 3 e 5. Para os

microcrustáceos os efeitos foram menores, presentes nas amostras coletadas nos pontos 1 e 2. Os efeitos máximos, quando observados, não ultrapassaram 40% das populações.

Figura 20 – Valores de CE_{50} (%) obtidos para os organismos-teste testados em amostras brutas

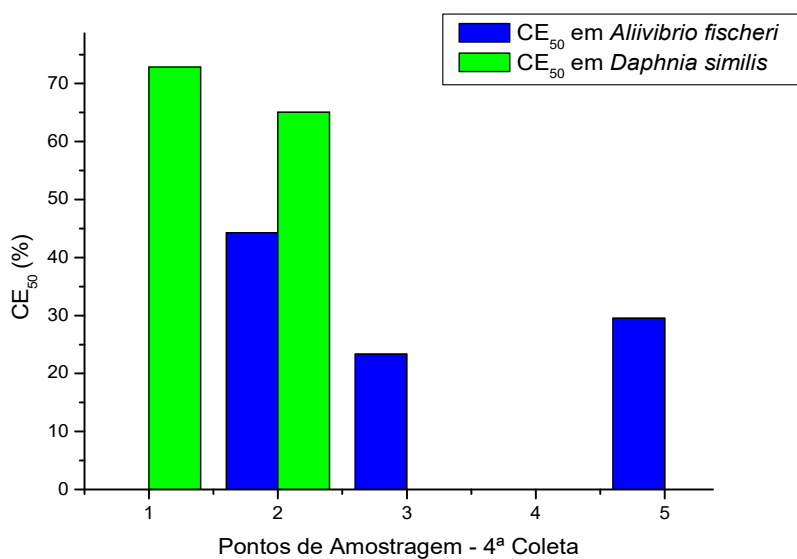
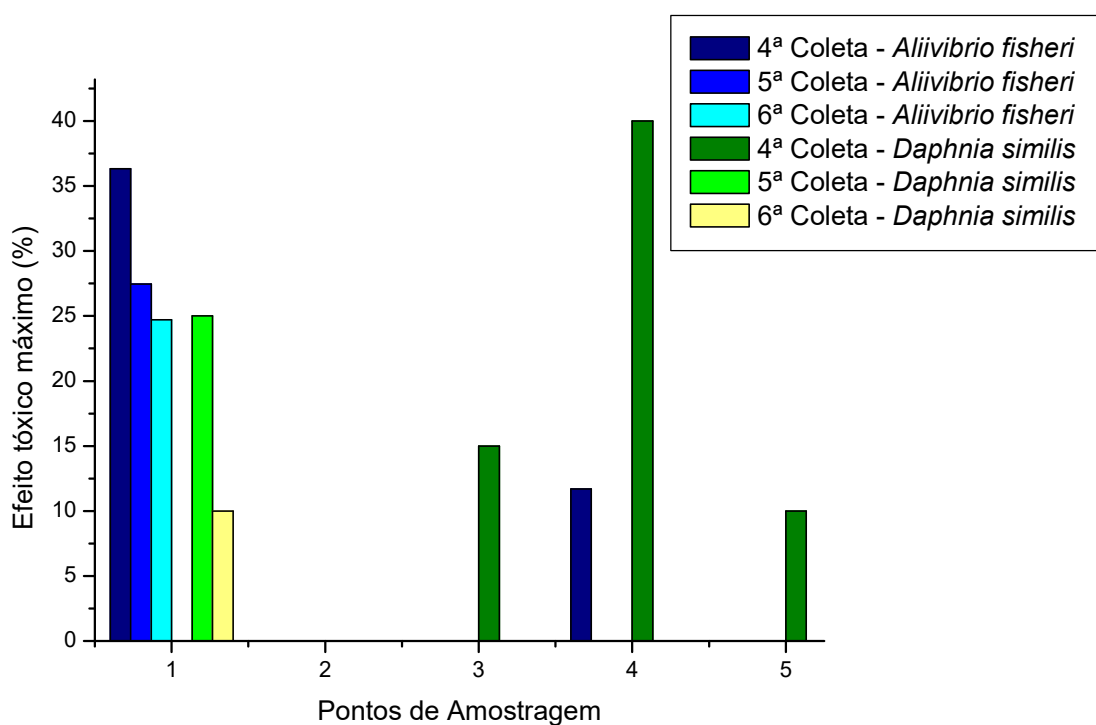
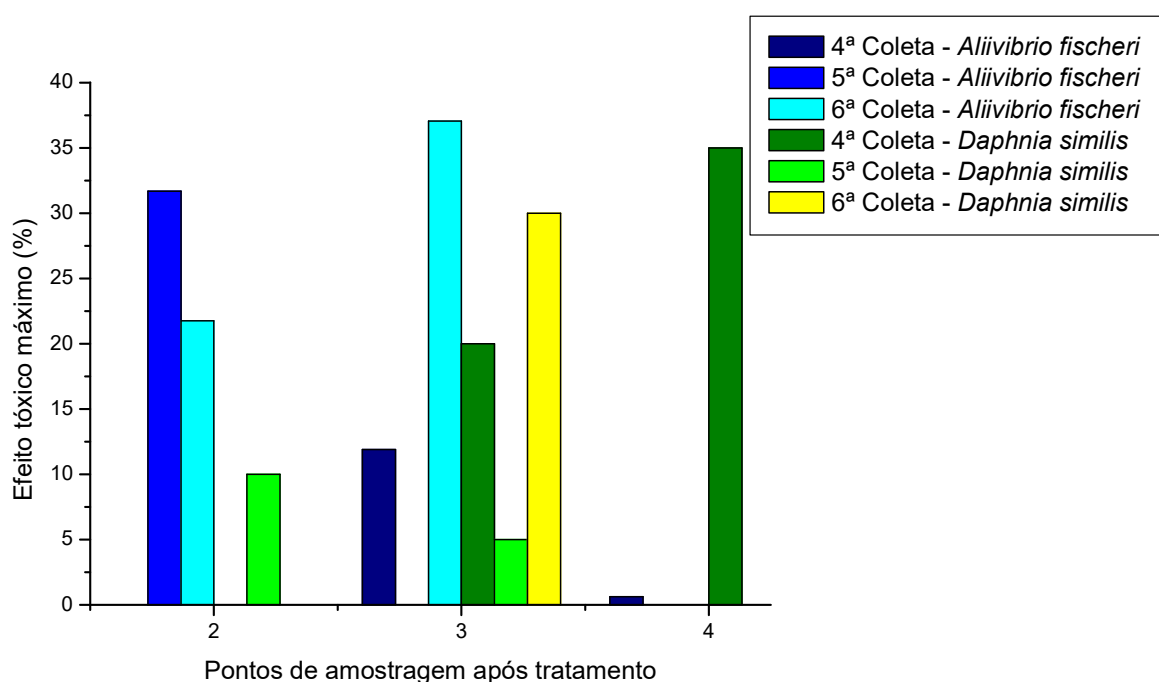


Figura 21 – Efeitos tóxicos máximos (%) das amostras brutas nos organismos-teste



Após os ensaios de tratabilidade, somente foi possível determinar estatisticamente a CE_{50} em duas amostras tratadas com 25 mg L^{-1} de coagulante cloreto férrico, as quais foram de 93,96% para *Aliivibrio fischeri* e 82,03% para *Daphnia similis*. Entretanto, estes resultados expressam baixo efeito tóxico das amostras tratadas, se comparados com os resultados das amostras brutas. Os resultados de efeito máximos permaneceram abaixo de 40% das populações de organismos testados. Sendo assim, foi observada a redução da toxicidade após o tratamento físico-químico.

Figura 22 – Efeitos tóxicos máximos (%) das amostras tratadas nos organismos-



teste

Legenda: Pontos 2, 3 e 4 referem-se às concentrações 10 mg L^{-1} , 25 mg L^{-1} e 50 mg L^{-1} de FeCl_3 , respectivamente.

3.5 Diagnóstico da qualidade da água do Canal do Mangue

Ao iniciar este trabalho tinha-se como objetivo fazer um diagnóstico da qualidade da água do Canal do Mangue. Ao longo dele verificou-se que apesar da qualidade da água ser insatisfatória, ela era passível de tratamento para obtenção

de água de reúso para aplicações não nobres, como lavagem de pisos e jardinagem. A água de reúso usada para a limpeza das ruas onde ocorrem feiras livres vem de ETE distante de muitos pontos de utilização, o que encarece o transporte de um material de pouco valor econômico.

Como os dados de coliformes estão disponíveis apenas para o ponto 1, utilizamos para o cálculo do IQA os valores médios dos parâmetros pertinentes para esse ponto constantes da Tabela 13. Deve-se ressaltar que esse ponto é representativo da água do canal que é lançada na Baía da Guanabara. Para esse cálculo, duas adaptações foram feitas:

- i) como não se dispunha de dado de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), empregou-se em seu lugar a metade do valor da DQO,
- ii) na ausência de dado de nitrogênio total, utilizou-se a concentração de nitrogênio amoniacal, subestimando-se a contribuição em questão.

O cálculo do IQA, exemplificado no Apêndice D, seguiu procedimento adotado pelo órgão ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2013; VON SPERLING, 2014). Os valores de IQA obtidos constam na Tabela 14. Segundo a classificação preconizada pelo órgão ambiental citado, a qualidade da água pode ser classificada como “ruim” ($19 < \text{IQA} \leq 36$). Note-se, no entanto, que os valores encontrados estão próximos do limite inferior da faixa em questão. A faixa logo abaixo ($0 < \text{IQA} \leq 19$) atribui à água a classificação “péssima”.

Tabela 14 – Resultados do Índice de Qualidade das águas do Canal do Mangue (ponto 1).

Coletas	Datas	Pontos de amostragem	IQA	Categoria
		1	25,7	Ruim
		2	21,6	Ruim
4^a	14/06/2016	3	24,8	Ruim
		4	21,3	Ruim
		5	21,3	Ruim
5^a	11/10/2016	1	25,6	Ruim
6^a	23/11/2016	1	20,7	Ruim

No último levantamento disponibilizado pelo Inea, três determinações do IQA, em dois pontos do canal, foram feitas ao longo do ano de 2015 (INEA, 2015) e o valor médio do IQA, para ambos os pontos, levou à classificação “muito ruim”, ou seja, a pior entre as cinco classificações existentes, para a água do canal. Em 2016, o Inea reporta valores de IQA para dois pontos do canal, valores determinados no mês de outubro. Para um deles a qualidade da água foi classificada como “ruim” e para o outro “muito ruim”. Esses dados estão em sintonia com a classificação da qualidade encontrada neste trabalho.

3.6 Considerações técnicas sobre uma possível unidade de tratamento *in situ*

Para melhorar a qualidade da água do canal e o seu estado geral, seguem-se as seguintes propostas:

- O órgão municipal responsável pelo canal deve estabelecer uma gerência específica para o mesmo, com funções definidas e com recursos para manutenção do canal e dentre outros aprimoramentos;
- Dragagem do leito do canal, sobretudo no trecho da Avenida Presidente Vargas;
- Instalação de pontos de aeração, possivelmente sob as pontes, para aumentar o nível de OD e, a capacidade de auto-depuração das águas;
- Instalação de sistemas para remover material flutuante.
- Trabalho conjunto com outras secretarias municipais conduzido no sentido de atender e orientar a população de rua que se abriga e usa as águas do canal;
- Mapear os pontos de lançamento (tubulações) de águas pluviais e identificar lançamentos irregulares;
- Aprimorar as condições paisagísticas locais com o uso de espécies vegetais apropriadas e com os devidos cuidados de preservação;

Avaliar a possibilidade de implantar uma central de produção de água de reúso para lavagem de pisos de feiras e praças dos bairros próximos ao canal.

Com relação a esta última proposta, embora o tratamento da água do canal não tenha sido estudado a fundo, verificou-se que com um simples processo de

coagulação seguido de cloração foi possível melhorar significativamente a qualidade da água. Remoções de 100% de cor verdadeira, 98% de turbidez e 97% de DQO bruta foram obtidas com dosagens de FeCl_3 de 50 mg L^{-1} (Figuras 15-16). Quando a dosagem foi de 25 mg L^{-1} , as remoções dos parâmetros de cor verdadeira, turbidez e DQO bruta foram de 96%, 100% e 88%, respectivamente. Ademais, a cloração foi absolutamente efetiva na remoção de coliformes totais e coliformes termotolerantes.

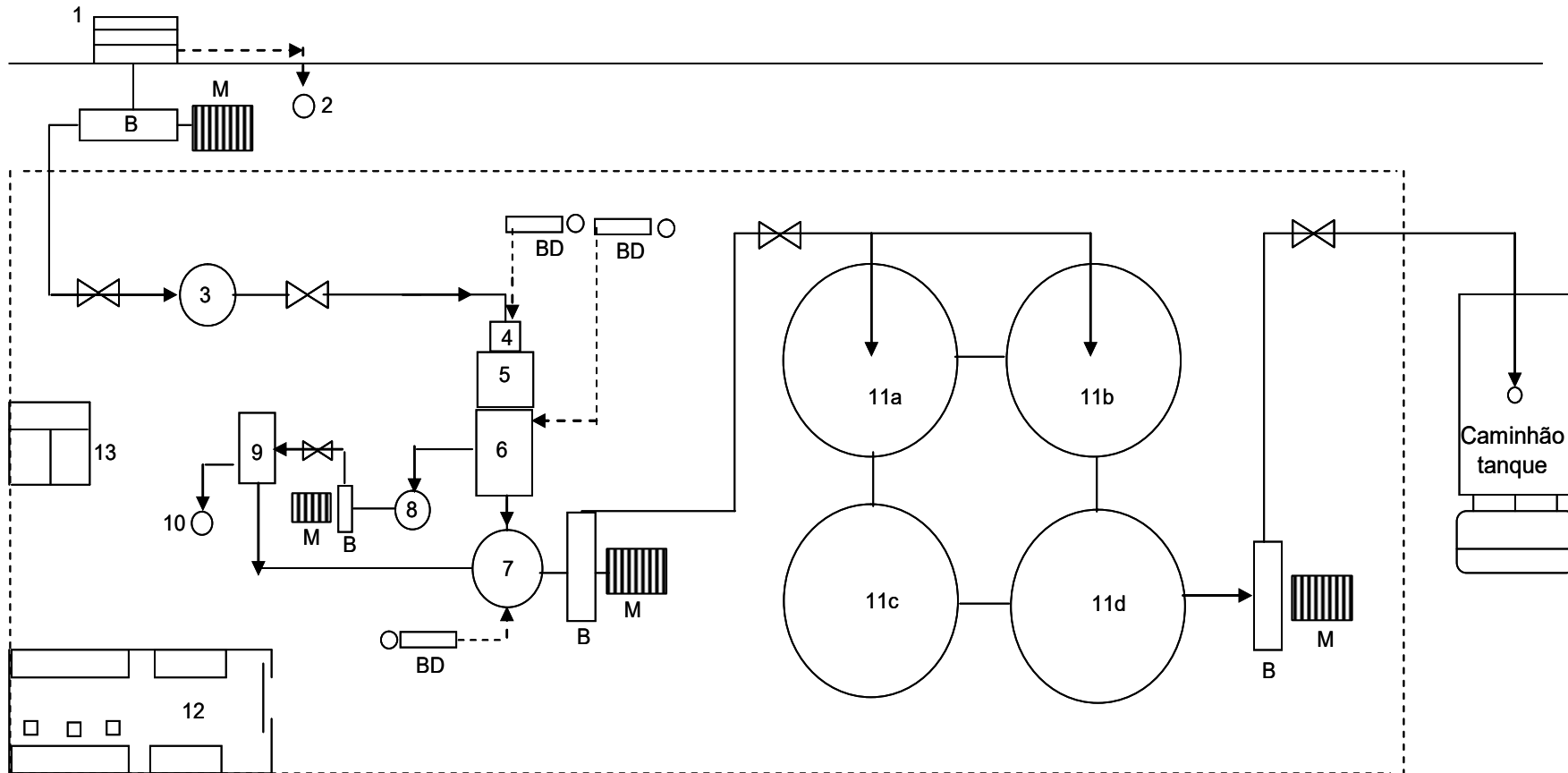
Quanto à toxicidade, as amostras brutas afetaram mais a bactéria do que o microcrustáceo. Entretanto, após o tratamento, houve redução dos efeitos tóxicos sobre os organismos usados.

Certamente é preciso investigar a remoção de outros parâmetros como N-amoniacal, fósforo, DBO e sólidos, entre outros. Entretanto, o processo investigado mostrou-se promissor, pois emprega níveis baixos de coagulante e hipoclorito de sódio e gera volumes de lodo, que correspondem de 1,5 a 3% do volume de água processada.

Ao considerar as necessidades de água, a crescente utilização de água de reúso, a disponibilidade de água em local central da cidade e a existência de espaços urbanos pouco utilizados ou degradados, que podem servir para a instalação de uma central de tratamento, propõe-se a instalação de uma central para gerar água para reúso, em local próximo ao Canal do Mangue.

Tal central pode ser construída em espaço disponível no início da Rua Francisco Eugênio ou em local não utilizado do terreno pertencente à Estação Leopoldina, adjacente ao canal. Essa instalação pode processar $160 \text{ m}^3/\text{dia}$, em período de 8 a 10 horas, para atender a demanda de 10 caminhões-tanque de 20 m^3 de capacidade. A Figura 20 mostra um esquema ilustrativo dessa central de produção de água para reúso.

Figura 23 – Esquema de uma instalação para produção de água de reúso.



1 grade e tela; 2 cesto para resíduos retidos; 3 tanque de passagem/distribuição; 4 tanque de coagulação; 5 tanque de floculação; 6 tanque de sedimentação; 7 tanque de coleta/armazenamento do clarificado e cloração; 8 tanque de coleta do sedimentado; 9 centrífuga; 10 tanque de coleta do centrifugado; 11a-d tanques de armazenagem de água de reúso (comunicáveis); 12 sala operadores e painel de controle; 13 lavabo, vaso e chuveiro. B bomba centrífuga; M motor; BD bomba dosadora com reservatório de insumo

Essa central de tratamento pressupõe para o seu funcionamento as seguintes unidades ou processos principais: captação da água com calha retentora de sólidos grosseiros; estocagem e distribuição em tanque pulmão, coagulação e floculação em fluxo, cloração, estocagem de água e alimentação de caminhões. As unidades ou processos acessórios são: centrifugação do sedimentado; dosagem de insumos (coagulante, floculante, hipoclorito). Embora não tenha sido feito o cálculo dos equipamentos e o projeto mais detalhado, estima-se que a área demandada para tal instalação seja um terreno de 250 m², ou menor, caso alguma verticalização seja possível.

Para a situação proposta, a água pode ser coletada próxima ao ponto 3 da amostragem, no trecho de influência do descarte dos rios Joana e Maracanã. Após o tratamento, e averiguação das condições físico-químicas e biológicas do efluente conforme os padrões estabelecidos nas leis e normas nacionais vigentes, segue-se à distribuição para reuso não potável, como lavagem de ruas após feiras, lavagem de veículos do setor público e irrigação de áreas verdes.

CONCLUSÃO

As campanhas de amostragem da água do Canal do Mangue, feitas em um período de 13 meses em 5 pontos ao longo do canal, mostraram que a qualidade da água está fortemente comprometida. Níveis de oxigênio dissolvido muito baixos ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$), alta contagem de coliformes totais ($> 16000 \text{ NMP}/100\text{mL}$), concentrações elevadas de N-amoniaco e de fósforo total, entre outros indicadores, atestam que a qualidade da água é insatisfatória se comparados às águas doces de Classes 2 e 3 (CONAMA, 2005). A estimativa do índice de qualidade da água (IQA) para o ponto próximo ao final do canal classifica a qualidade da água como “ruim”, com valor numérico próximo ao do pior conceito da escala (“péssimo”).

Ao longo do tempo, para um dado ponto de amostragem, verificou-se grande variação nos valores dos parâmetros físico-químicos, expressos por elevados valores de desvio-padrão ou de intervalos de variação.

A investigação sobre o tratamento da água do canal, embora não exaustiva, revelou que a combinação de coagulação/ floculação com cloração pode reduzir absolutamente os níveis de coliformes e obter elevadas remoções de cor verdadeira, turbidez e DQO bruta, entrando em conformidade com os padrões exigidos por leis, decretos e os sugeridos pelas normas nacionais, como os descritos na Tabela 6.

Propostas de melhoria do estado e do funcionamento do canal foram feitas com base nas observações durante as amostragens, que revelaram assoreamentos localizados, presença de material flutuante, descartes ou lançamentos não identificados, entre outros.

Devido ao crescente interesse e demanda por água de reúso, sugere-se estudar a possibilidade de instalação de uma central de tratamento, cujo esquema geral é proposto, em local em desuso às margens do canal.

Os dados obtidos neste trabalho podem auxiliar na geração de diagnóstico para ações ou planos de políticas públicas relacionadas à dinâmica dos corpos hídricos da cidade do Rio de Janeiro. Entretanto, pesquisas e investigações mais profundas devem ser realizadas com o intuito de ir além das características destas águas, como conhecer e localizar suas fontes poluidoras que, conseqüentemente, afetam as condições físicas, químicas e biológicas das águas interiores e da Baía de Guanabara.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, W. P. C. F. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. New York: 22th ed., 2012.

ABNT, NBR 9648, Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, 1986.

ABNT, NBR 12713, Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com *Daphnia spp* (*Cladocera*, *Crustacea*), Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, NBR 15411-3, Ecotoxicologia Aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão de bioluminescência de *Vibrio fischeri*, Rio de Janeiro, 2012.

ABNT, NBR 13.969/ 1997, Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. - Projeto, construção e operação, Rio de Janeiro, 1997.

ABNT, NBR 15.527/ 2007, Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos, Rio de Janeiro, 2007.

AGNELLI, M. S. S. S. Revitalização de Rios Urbanos – Estudo de Caso: Estero de Paco – Manila. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

BORGES, S. R. G. Intervenções em bacias hidrográficas urbanas no Rio de Janeiro: o desvio do Rio Joana e reservatórios. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 82 p. 2013.

BRASIL. Legislação de Direito Ambiental. 6ª ed. São Paulo: Saraiva, 2013. – Coleção Saraiva de Legislação, 2013.

BRASIL. Resolução nº. 54 de 28 de novembro de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso de água não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37> Acesso em 18 mar. 2016.

BRASIL, Lei nº 11.445, 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm> Acesso em 15 dez. 2016.

BRASIL, Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BRUEL, M. Copenhagen, Denmark: Green cities amid the finger metropolis, In: Green cities of Europe, Beatley, T. (Ed.), 83-108, Island Press/Center for Resource Economics, 2012. Disponível em: <<s1.downloadmienphi.net/file/downloadfile7/192/1379446.pdf>> Acesso em 08 ago. 2017.

CAMPINAS. Prefeitura Municipal de Campinas. Resolução Conjunta SVDS/SMS Nº 09/2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETE's) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. Campinas, SP. 2014

CANHOLI, A. P.; GRACIOSA, M. C. P. Plano de Controle de Enchentes na Bacia do Canal do Mangue região da Praça da Bandeira e Estádio do Maracanã Rio de Janeiro – RJ. Hidrostudio Engenharia Ltda. São Paulo. 2014.

CARREIRA, R. S; WAGENER, A. L. R. Caracterização da Matéria Orgânica Sedimentar na Baía de Guanabara Através de Marcadores Moleculares. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Volume 26, 2003.

CEDAE. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. Programa de Despoluição da Baía de Guanabara - PDBG, 2017. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/despoluicao_baia_guanabara> Acesso em 10 jul. 17.

CETESB, Índices de qualidade das águas, Apêndice C, 29 p., 2013.

CETESB. São Paulo. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2014. [recurso eletrônico] / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2015. 2 arquivos de texto (540 p. em 2 partes) : il. color., PDF; 65 MB. - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103.

CONAMA, Resolução No. 357, Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005.

CRH, Conselho Estadual de Recursos hídricos. Deliberação CRH nº 156, de 11 de dezembro de 2013. Estabelece diretrizes para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos para fins urbanos e dá outras providências, no âmbito do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recurso. São Paulo, 2013.

D'ORSI, N. R.; PAES, N. M.; MAGALHÃES, M. A.; COELHO, R. S.; JUNIOR, L. R. S.; CARNEIRO, T. S. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE - N.º 001/2015 – Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2014 – Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2015.

D'ORSI, R. N.; PAES, N. M.; MAGALHÃES, M. A.; COELHO, R. S.; SILVA JUNIOR, L. R. Relatório GEO-RIO/DEP/GPE - N.º 001/2016. Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2015. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2016.

DUARTE, F. T.; PEIXOTO, R. S. Estudo da Influência dos Processos Sedimentológicos do Canal do Mangue no Porto do Rio de Janeiro com Auxílio da Modelagem Computacional. Projeto de Graduação. Rio de Janeiro: UFRJ / POLI / Curso de Engenharia Ambiental, 79 p. 2012.

EUROPEAN COMMISSION. European Green Capital. Green cities – fit for life. 2012. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2012/07/Copenhagen-Short-Leaflet_Web.pdf> Acesso em 08 ago. 2017.

FERNANDES, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. 2006.

FINOTTI, A. R, *et al.* Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Gestão e Tecnologias Ambientais, RS: Educs, 2009

FRANÇA, F. O. M. Avaliação de atividade estrogênica e toxicidade de lixiviados de resíduos sólidos urbanos. 2016. 115f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. Efluentes Industriais, volume 1: estudo de tratabilidade. Rio de Janeiro, Ed. Publit, 2015

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. Estudos Avançados 22 (63) 131-158, 2008

INEA, DZ-215.R-4. Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. Aprovada pela Deliberação CECA n° 4886, de 25 de setembro de 2007 Republicada no DOERJ de 08 de novembro de 2007.

INEA. Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, Bacia da Baía de Guanabara, Resultados Referentes ao ano de 2015, 2015 Disponível em: <<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zwew/mte0/~edisp/inea0114694.pdf>> Acesso em 12 jun. 2017.

INEA. Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, Bacia da Baía de Guanabara, Resultados Referentes ao ano de 2014.

INEA. Boletim Consolidado de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, Bacia da Baía de Guanabara, Resultados Referentes ao ano de 2015. Disponível em: <<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zew/mte0/~edisp/inea0114694.pdf>> Acesso em 12 jun. 2017.

INEA. Boletim de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara, outubro de 2016. Disponível em: <<http://200.20.53.3:8081/cs/groups/public/documents/document/zew/mdi2/~edisp/inea0026989.pdf>> Acesso em 12 jun. 2017.

INEA. Boletim de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara Bacia da Baía de Guanabara – INEA, nº 1, 03/2015, 2015.

MANHÃES, A. C. S; ARAUJO, B. M. Análise das Práticas de Reúso dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto do Município do Rio de Janeiro – ETE Penha e ETE Alegria. 66f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2015.

MATTOS, R. A. A. A gestão sustentável de recursos hídricos. Experiência e desafios regionais: o caso do controle das enchentes da bacia hidrográfica do rio Joana - Rio de Janeiro, 2004, 109 p. FEN/UERJ, Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Gestão de Recursos Hídricos, 2004.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Documento Base e Referência. 2003. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/documentos/legis/planonac_rh.pdf> Acesso em 16 de nov. 2016.

MELO, A. Do pântano ao asfalto. Revista de História, 2011. Disponível em: <<http://www.revistadehistoria.com.br/secao/artigos-revista/do-pantano-ao-asfalto>> Acesso em 11 abr. 2016.

METCALF; EDDY, INC. Wastewater Engineering :Treatment, Disposal and Reuse. 3ª ed. Revisado por George Tchobanoglous, 1991.

NITERÓI, LEI Nº 2.630/ 2009. Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública. Prefeitura de Niterói, 2009.

NITERÓI, LEI Nº 2856/2011. Estende as obrigações da Lei nº. 2630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Prefeitura de Niterói, 2011.

OLIVEIRA, P. S.; NETO, J. A. B.; RANGEL, C. M. A. Análise das espécies de fósforo nos sedimentos do sistema fluvial da Bacia do Canal do Mangue – RJ, 2013.

PASSOS, E. J. Dragagem no Canal do Mangue. Off Graphics de O. Côrtes, Botelho & Cia. Rio de Janeiro, 1931.

RIO DE JANEIRO. Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro
RIO ÁGUAS. Apresentação Conselho Consecutivo – Primeira Reunião, 2014.
http://www.rio.rj.gov.br/documents/4282910/4517645/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_Conselho+Consultivo_2014_REV_01.pdf?version=1.0 Acesso em: 09/08/2017.

RIO DE JANEIRO. Boletim de Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara Bacia da Baía de Guanabara – INEA, nº 1, 03/2015

RIO DE JANEIRO. Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE). Programa de Despoluição da Baía de Guanabara – PDBG, 2016. Disponível em

<https://www.cedae.com.br/Portals/0/Site_PDBG_Abril-16.pdf> Acesso em 05 jun. 2016.

ROMANO, R. G.; MARTÍNEZ, J. G.; DUARTE, V. S. Processo de revitalização de rios urbanos – análise comparativa dos projetos Tietê (São Paulo/ SP) e Manuelzão (Bacia do Rio das Velhas/ MG). Universidade Federal do Paraná - PPGMADE. X Encontro Nacional de Águas Urbanas. 2014. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/xenau/apresentacoes/4/17_09_11h36m_roberta.pdf> Acesso em 29 out. 2016

SANT'ANNA Jr., G. L., Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, T. C. C; CÂMARA, J. B. D (Orgs.). GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília: Edições Ibama, 2002.

SANZ L. A.; GAWLIK B. M. Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation – A synoptic overview, 2014.

SÃO PAULO, Resolução Conjunta SVDS/ SMS Nº 09/ 2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETE's) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. Prefeitura Municipal de Campinas, 2014.

SILVA, C. H. R. T. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil. 2012. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/outras-publicacoes/temas-e-agendas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/recursos-hidricos-e-desenvolvimento-sustentavel-no-brasil>> Acesso em 15. nov. 2016.

SILVA, M. M. Comunicação pessoal feita na ETE da Penha, RJ, pela autora durante vista técnica realizada em 25/11/2015.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica / Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006

UNEP, Water and Wastewater Reuse. An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management, 2007.

VIEIRA, M. V. O Programa de Despoluição da Baía de Guanabara. Entraves institucionais e impactos territoriais na região metropolitana do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2009.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. Introdução à Engenharia Ambiental. Revisão técnica Carlos Alberto de Moyá Figueira Netto, Lineu Belico dos Reis. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

VON SPERLING, M. Estudo e Modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: DESA; UFMG; 588p. – (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; V.7), 2007.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA; UFMG. 452p. V.1. 4ª Ed. 2014. Disponível em: <<http://www.editoraufmg.com.br/pages/obra/109/introducao-a-qualidade-das-aguas-e-ao-tratamento-de-esgotos>> Acesso em 01 ago. 2017.

WASHINGTON. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. 2012. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>> Acesso em 05 set. 2016.

WEISHAAR, J. L.; AIKEN G. R.; BERGAMASCHI B. A., FRAM M. S.; FUJII R., MOPPER K. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. Environmental Science & Technology 37, 4702–4708, 2003.

WHO. World Health Organization. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Vol. 1. Policy and regulatory aspects. 2006. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf> Acesso em 05 set. 2016.

ZAGATTO, P. A., BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia Aquática – Princípios e Aplicações. Rima, São Carlos, SP, 472 p., 2008.

ZEE, D. M. W. Baía de Guanabara. Comunicação Oral. Departamento de Oceanografia Física. UERJ. 2015.

APÊNDICE A – Tabelas de armazenamento de dados das amostras brutas

Coleta 1 – 05/08/2015

PARÂMETRO	AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		Data de análise	Standard Methods		
	130	1	132	2	131	3	133	4			134	5
pH	7,34		7,35		7,10		7,02		6,99		05/ago	4500 B
Temperatura (°C)	20		20		20		20		20		05/ago	2550
Turbidez (UNT)	44		62		156		76		53		05/ago	2130 B
Cor verdadeira (UC)	400		480		500		430		400		06/ago	2120 C
Cor aparente (UC)	490		750		760		610		670		06/ago	2120 C
DQO bruta (mg L-1 O2)	164		305		279		145		169		02/set	5220 D
COD (mg L-1 C)	11,3		15,7		9,7		9,9		9,7		24/set	5220 D
SDT (mg L-1)	1176		546		2154		378		66		17/ago	2540 C
SST (mg L-1)	584		86		112		66		80		17/ago	2540 C
Nitrogênio Amoniacal (mg L-1 N)	19		24		13		13		10		12/ago	4500 D
Fósforo Total (mg L-1 P)	1,0		2,1		1,4		1,8		1,8		13/ago	4500-P E
Óleos e Graxas (mg L-1)	25		*		25		26		6		26/out	5520 D

Coleta 2 – 26/10/2015

PARÂMETRO	AMOSTRA PONTO	AMOSTRA PONTO	AMOSTRA PONTO	AMOSTRA PONTO	AMOSTRA PONTO	Data de análise	Standard Methods
	156 1	158 2	157 3	159 4	160 5		
pH	7,05	7,16	7,03	7,12	6,97	26/out	4500 B
Temperatura (°C)	24	24	24	24	24	26/out	2550
Turbidez (UNT)	73	33	44	52	35	26/out	2130 B
Cor verdadeira (UC)	70	110	210	170	80	27/out	2120 C
Cor aparente (UC)	740	650	500	660	500	27/out	2120 C
DQO filtrada (mg L-1 O2)	46	92	64	65	62	13/nov	5220 D
COD (mg L-1 C)	9,5	9,3	46,9	29,6	8,8	13/nov	5220 D
SDT (mg L-1)	1988	816	1298	870	658	13/nov	2540 C
SST (mg L-1)	80	-	94	68	42	11/nov	2540 C
SSV (mg L-1)	48	-	94	56	42	13/nov	2540 C
Nitrogênio Amoniacal (mg L-1 N)	22	20	17	21	16	09/nov	4500 D
Fósforo Total (mg L-1 P)	1,9	0,9	1,5	2,1	1,8	23/nov	4500-P E
Óleos e Graxas (mg L-1)	5	*	73	27	6	15/nov	5520 D
Cloreto (mg L-1)	870	175	475	250	140	11/nov	4500 B
ABS 254	-	0,478	0,260	0,289	0,245	11/nov	5910 B

Coleta 3 – 23/02/2016

PARÂMETRO	AMOSTRA	PONTO	AMOSTRA	PONTO	AMOSTRA	PONTO	AMOSTRA	PONTO	Data de análise	Standard Methods	
	215	1	217	2	216	3	218	4			219
pH	7,1		7,45		7,00		7,05		7,04	23/fev	4500 B
Temperatura (°C)	25		25		25		25		25	23/fev	2550
Turbidez (UNT)	21		29		58		19,8		43	23/fev	2130 B
Cor verdadeira (UC)	60		80		90		80		70	24/fev	2120 C
Cor aparente (UC)	200		380		610		280		330	24/fev	2120 C
DQO bruta (mg L-1 O2)	25		45		87,5		20		57,5	23/mar	2120 C
DQO filtrada (mg L-1 O2)	39		28		29		12		20	23/mar	5220 D
COD (mg L-1 C)	15,3		14,6		16,5		8,8		11,3	14/mar	5220 D
SDT (mg L-1)	792		560		454		584		572	09/mar	2540 C
SST (mg L-1)	116		146		224		96		242	09/mar	2540 C
SSV (mg L-1)	114		130		188		96		232	09/mar	2540 C
Nitrogênio Amoniacal (mg L-1 N)	13		17		11		10		9	24/fev	4500 D
Fósforo Total (mg L-1 P)	1		0,3		1		1		0,5	23/mar	4500-P E
Óleos e Graxas (mg L-1)	18		*		8		22		7	05/abr	5520 D
Cloreto (mg L-1)	171		67		38		62		52	16/mar	4500-CI B
ABS 254 (Abs)	0,122		0,165		0,172		0,124		0,147	23/mar	5910 B

Coleta 4 – 14/06/2016

PARÂMETRO	Unidade	AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		AMOSTRA PONTO		Data de análise	Standard Methods		
		4	1	5	2	6	3	7	4			8	5
pH		6,45		6,67		6,13		6,64		6,27		14/jun	4500 B
Temperatura	°C	22		22		23		23		23		14/jun	2550
Turbidez	UNT	16,1		46		22		26		32		15/jun	2130 B
Cor verdadeira	UC	90		50		20		40		40		15/jun	2120 C
Cor aparente	UC	140		450		190		300		320		15/jun	2120 C
DQO bruta	mg.L ⁻¹ O ₂	25		36		28		32		43		29/jun	2120 C
DQO filtrada	mg.L ⁻¹ O ₂	6		60		7		51		43		29/jun	5220 D
COD	mg.L ⁻¹ C	11,5		77,7		10,0		11,4		10,9		22/jul	5220 D
SDT	mg.L ⁻¹	636		326		1368		490		220		21/jun	2540 C
SST	mg.L ⁻¹	30		114		26		42		78		21/jun	2540 C
SSV	mg.L ⁻¹	30		98		0		42		78		21/jun	2540 C
Nitrogênio Amoniacal	mg.L ⁻¹ N	26		56		23		39		34		14/jun	4500 D
Fósforo Total	mg.L ⁻¹ P	0,1		0,2		0,0		0,1		0,2		14/ago	4500-P E
Óleos e Graxas	mg.L ⁻¹	4		*		3		2		0		05/jul	5520 D
Cloreto	mg.L ⁻¹	234		29		487		185		39		22/jun	4500-CI B
OD	mg.L ⁻¹ O ₂	0,66		0,73		0,62		0,39		0,33		14/jun	4500-O G
ABS 254nm	Abs	0,105		0,182		0,112		0,129		0,165		12/jul	5910 B
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	> 16000		> 16000		> 16000		> 16000		> 16000		14/jun	9223 B
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	> 16000		> 16000		> 16000		> 16000		> 16000		14/jun	9223 B

Coleta 5 – 11/10/2016

PARÂMETRO	Unidade	AMOSTRA	PONTO	Data de análise	Standard Methods
		55	1		
pH		7,05		11/out	4500 B
Temperatura	°C	24		11/out	2550
Turbidez	UNT	18,7		11/out	2130 B
Cor verdadeira	UC	100		12/out	2120 C
Cor aparente	UC	170		12/out	2120 C
DQO bruta	mg L ⁻¹ O ₂	36		20/out	2120 C
DQO filtrada	mg L ⁻¹ O ₂	19		20/out	5220 D
COD	mg L ⁻¹ C	27,2		08/nov	5220 D
SDT	mg L ⁻¹	754		19/out	2540 C
SST	mg L ⁻¹	54		19/out	2540 C
SSV	mg L ⁻¹	54		19/out	2540 C
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹ N	12		18/out	4500 D
Fósforo Total	mg L ⁻¹ P	1		23/nov	4500-P E
Óleos e Graxas	mg L ⁻¹	59		08/nov	5520 D
Cloreto	mg L ⁻¹	94		18/out	4500-CI B
OD	mg L ⁻¹ O ₂	0,90		11/out	4500-O G
ABS 254nm	Abs	0,126		20/out	5910 B
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	390		11/out	9223 B
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	>16000		11/out	9223 B

Coleta 6 – 23/11/2016

PARÂMETRO	Unidade	AMOSTRA	PONTO	Data de análise	Standard Methods
		79	1		
pH		7,18		23/nov	4500-H ⁺ B
Temperatura	°C	24		23/nov	2550
Turbidez	UNT	19,8		23/nov	2130 B
Cor verdadeira	UC	28		25/nov	2120 C
Cor aparente	UC	180		25/nov	2120 C
DQO bruta	mg L ⁻¹ O ₂	32		14/dez	5220 D
DQO filtrada	mg L ⁻¹ O ₂	29		14/dez	5220 D
COD	mg L ⁻¹ C	9,1		30/nov	5220 D
SDT	mg L ⁻¹	570		29/nov	2540 C
SST	mg L ⁻¹	56		29/nov	2540 C
SSV	mg L ⁻¹	54		29/nov	2540 C
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹ N	14		06/dez	4500-NH ³ D
Fósforo Total	mg L ⁻¹ P	1		10/mar	4500-P E
Óleos e Graxas	mg L ⁻¹	12		10/jan	5520 D
Cloreto	mg L ⁻¹	132		30/nov	4500-Cl ⁻ B
OD	mg L ⁻¹ O ₂	0,77		23/nov	4500-O G
ABS 254nm	Abs	0,179		30/nov	5910 B
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	9200		23/nov	9223 B
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	>16000		23/nov	9223 B

APÊNDICE B – Tabelas de armazenamento de dados das amostras tratadas

Coleta 3 – 23/02/2016

JAR TEST: Ponto 1 (amostra bruta 215 -> 21UNT)						
FeCl₃ (mg.L⁻¹)	50	100	150	200	300	400
Amostra	229	230	231	232	233	234
Turbidez (UNT)	0,10	0,08	0,06	7,10	13,60	8,80
Volume de lodo (mL)	32	31	38	20	12	10
pH	7,05	6,65	5,75	3,06	2,6	2,3
Remoção da turbidez	99,52	99,62	99,71	66,19	35,24	58,10

Remoção de Fósforo Total (mg L⁻¹)

Inicial (amostra 215)	0,78
Final (amostra 237)	0,21

Parâmetros	Amostras*									
	215	229	230	231	232	233	234	235	236	237
Amostras	215	229	230	231	232	233	234	235	236	237
Turbidez (UNT)	21	0,10	0,08	0,06	7,10	13,60	8,80	0,45	0,45	0,42
ABS 254	0,122	0,109	0,091	0,057	0,056	0,234	1,008	0,086	0,095	0,094
DQO bruta (mg L⁻¹ O₂)	39	27	20	44	35	58	27	21	28	19
DQO filtrada (mg L⁻¹ O₂)	25	25	13	18	22	16	23	17	13	15
COD (mg L⁻¹ C)	15,3	5,6	5,1	7,6	9,7	9,9	8,9	10,3	8,6	8,5

*Amostras:

229 a 234 = 50, 100, 150, 200, 300 e 400 mg.L⁻¹ FeCl₃, respectivamente

235 = 50 mg.L⁻¹ FeCl₃ aerado 10 min.

236 = 50 mg.L⁻¹ FeCl₃ aerado 20 min.

237 = 50 mg.L⁻¹ FeCl₃ aerado 30 min.

Coleta 4 – 14/06/2016

JAR TEST: Ponto 1 (amostra bruta 4 -> 16,1 UNT)						
FeCl3 (mg.L⁻¹)	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	10,10	10,6	0,62	0,24	0,26	1,01
Volume de lodo (mL)	8	6	12	20	28	25
pH	6,3	6,3	6,1	5,9	4,8	3,3
Remoção da turbidez	37,27	34,16	96,15	98,51	98,39	93,73

Parâmetros	Amostras						
Amostras	(Bruto) 4	9	10	11	12	13	14
FeCl3 (mg.L⁻¹)	0	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	16,1	10,10	10,6	0,62	0,24	0,26	1,01
Cor verdadeira (UC)	90	10	0	10	10	10	20
DQO bruta (mg L-1 O2)	25	66	61	65	67	67	65
DQO filtrada (mg L-1 O2)	6	45	60	61	60	59	59
COD (mg L⁻¹ C)	11,5	13,7	38,9	24,6	50,9	59,8	67,8
Colifor. term.* NMP/100mL**	>16000	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência
Colifor. totais* NMP/100mL**	>16000	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência

* Cloração de 3mg L-1 de hipoclorito de sódio (NaClO) em todas as amostras enviadas para análise de coliformes (pós jar test).

**NMP = número mais provável

Coleta 5 – 11/10/2016

JAR TEST: Ponto 1 (amostra 55 18,7 UNT)						
FeCl3 (mg.L⁻¹)	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	12	11	3	0,24	0,29	12,40
Volume de lodo (mL)	7	10	13	17	20	22
pH	7,3	7,3	7,0	6,6	5,6	3,0
Remoção da turbidez	35,83	41,18	83,96	98,72	98,45	33,69

Parâmetros	Amostras						
Amostras	(Bruto) 55	56	57	58	59	60	61
FeCl3 (mg.L⁻¹)	0	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	18,7	12,00	11	3	0,24	0,29	12,40
Cor verdadeira (UC)	100	34	25	36	23	9	22
DQO bruta (mg L-1 O2)	36	26	24	17	8	4	7
DQO filtrada (mg L-1 O2)	18,61	22,18	19,32	16,11	10,39	7,18	5,75
COD (mg L⁻¹ C)	27,2	34,1	33,3	28,7	21,2	10,0	9,1
Colifor. term.* NMP/100mL**	390		AUSENCIA	AUSENCIA			
Colifor. totais* NMP/100mL**	>16000		AUSENCIA	AUSENCIA			

* Cloração de 3mg L-1 de hipoclorito de sódio (NaClO) em todas as amostras enviadas para análise de coliformes (pós jar test).

**NMP = número mais provável

Coleta 6 – 23/11/2016

JAR TEST: Ponto 1 (amostra 79 19,8 UNT)

FeCl3 (mg.L⁻¹)	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	10,20	10,80	0,77	0,37	0,34	19,10
Volume de lodo (mL)	5	8	13	16	22	7
pH	7,2	7,2	7,1	6,9	6,5	2,8
Remoção da turbidez	48,48	45,45	96,11	98,13	98,28	3,54

Parâmetros	Amostras						
Amostras	(Bruto) 79	80	81	82	83	84	85
FeCl3 (mg.L⁻¹)	0	5	10	25	50	100	150
Turbidez (UNT)	19,8	10,20	10,80	0,77	0,37	0,34	19,80
Cor verdadeira (UC)	28	16	0	0	0	0	0
DQO bruta (mg L-1 O2)	32	15	15	17	10	9	14
DQO filtrada (mg L-1 O2)	29	9	9	4	1	0	1
COD (mg L⁻¹ C)	9,1	10,0	9,0	7,0	6,2	8,4	9,3
Colifor. term.* NMP/100mL**	9200		<1,8	<1,8			
Colifor. totais* NMP/100mL**	>16000		<1,8	<1,8			

* Cloração de 3mg L-1 de hipoclorito de sódio (NaClO) em todas as amostras enviadas para análise de coliformes (pós jar test).

**NMP = número mais provável

APÊNDICE C – Resultados dos Ensaio Toxicológicos
Amostras brutas

Coleta	Ponto	Amostra	<i>Aliivibrio fischeri</i>		<i>Daphnia similis</i>	
			Efeito Máximo (%)	CE 50	Efeito Máximo (%)	CE 50
4 ^a	1	4	36,33	44,27	15	72,84
	2	5				65,08
	3	6	23,32			
	4	7	11,7	40		
	5	8	29,53	10		
5 ^a	1	55	27,45		25	
6 ^a	1	79	24,72		10	

Amostras tratadas

Coleta	Ponto	Concentração de coagulante (mg L ⁻¹)	Amostra	<i>Aliivibrio fischeri</i>		<i>Daphnia similis</i>	
				Efeito Máximo (%)	CE 50	Efeito Máximo (%)	CE 50
4 ^a	Tratado 3	25	11	11,89		20	
	Tratado 4	50	12	0,63		35	
5 ^a	Tratado 2	10	57	31,68		10	
	Tratado 3	25	58		93,96	5	
6 ^a	Tratado 2	10	81	21,75		30	

Tratado 3	25	82	37,06	82,03
-----------	----	----	-------	-------

APÊNDICE D – Planilha de cálculo de IQA

Exemplificação com o cálculo de IQA da coleta 6. Os valores apresentados abaixo são resultados das equações feitas em cada célula na planilha.

Temperatura do líquido (oC):
OD da amostra
(mg L-1)

24
0,8

Parâmetro	Nomenclatura	Unidade	Resultados da análise	Nota qi	Peso w	qi^w	qi^w máximo possível (=100^w)	Porcentagem do qi^w máximo possível (%) (nota/(qi máx possível))
			de água	(0 a 100)				
Colif. termotolerantes	Coli	NMP/100mL	9200	9,2	0,15	1,40	2,00	69,9%
pH	pH		7,18	92,3	0,12	1,72	1,74	99,0%
DQO	DQO	mg L-1	32	2,0	0,10	1,07	1,58	67,6%
Nitrogênio amoniacal	N-NH3	mgN/L	14,00	75,4	0,10	1,54	1,58	97,2%
Fósforo total	PT	mgP/L	1,07	14,4	0,10	1,31	1,58	82,4%
Difer. temperat.	DifT	oC	1,5	94,0	0,10	1,58	1,58	99,4%
Turbidez	Turb	UNT	19,8	62,1	0,08	1,39	1,45	96,3%
Sólidos totais	ST	mg L-1	626	32,0	0,08	1,32	1,45	91,3%
OD	OD	% satur	9,1	6,8	0,17	1,38	2,19	63,3%

IQA = 20,7

Fonte: VON SPERLING, 2014 (Adaptado).