



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Thaís da Silva Moreira Parada

Caracterização ecotoxicológica e físico-química das águas da Bacia do
Rio Morto, Vargem Grande - RJ

Rio de Janeiro

2015

Thaís da Silva Moreira Parada

Caracterização ecotoxicológica e físico-química das águas da Bacia do Rio Morto,
Vargem Grande - RJ



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da poluição urbana e industrial.

Orientadora: Prof^a. Dra. Daniele Maia Bila

Rio de Janeiro

2015

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

P222 Parada, Thaís da Silva Moreira.
Caracterização ecotoxicológica e físico-química das
águas da Bacia do Rio Morto, Vargem Grande - RJ / Thaís
da Silva Moreira Parada. - 2015.
134 f.

Orientador: Daniele Maia Bila.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio
de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Toxicidade – Dissertações.
3. Agua - Qualidade - Dissertações. 4. Bacias hidrográficas
- Aspectos ambientais - Rio de Janeiro (Estado) -
Dissertações. I. Bila, Daniele Maia. II. Universidade do
Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 504.5

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

Assinatura

Data

Thaís da Silva Moreira Parada

Caracterização ecotoxicológica e físico-química das águas da Bacia do Rio Morto,
Vargem Grande - RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da poluição urbana e industrial.

Aprovada em 13 de maio de 2015.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Daniele Maia Bila (Orientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof^a. Dr^a. Simone Maria Ribas Vendramel
Instituto Federal do Rio de Janeiro - IFRJ

Prof^a. Dr^a. Ana Silvia Pereira Santos
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, o qual tem me sustentado todos os dias da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as pessoas que Ele abençoou e que, de alguma forma, ajudaram na concretização desse trabalho.

À minha avó querida. Tenho certeza que, dos Céus, ela está sorrindo por mais esta conquista.

À minha mãe, seu amor incondicional e sua sabedoria me levantaram em todos os momentos de dificuldade.

Ao meu esposo, por cada palavra de ânimo e carinho. Por me amar e estar sempre ao meu lado.

À minha irmã.

Ao meu pai.

Aos meus sogros e ao meu cunhado.

À minha tia Neise, ao pastor Sérgio, sua esposa Vera, e todos os membros da Assembléia de Deus de Realengo, que oram incessantemente por mim.

Aos amigos que fiz no mestrado.

Aos amigos da UERJ.

Aos amigos queridos da minha vida.

À minha orientadora Daniele Maia Bila.

Às professoras Simone Vendramel e Ana Silvia Pereira Santos, por fazerem parte da minha banca.

Ao Professor Geraldo Lippel Sant'anna Jr., que, com todo seu conhecimento e muita paciência, se prontificou a me ajudar em um momento muito complicado, dando uma valiosa contribuição a esse trabalho.

À Prof. Luciene Pimentel da Silva, coordenadora do Projeto Hidrocidades

Ao Sr. Jair, Danielle, Rita, Sidney, Louise, Fernanda, Allan, Bárbara e a toda a equipe do LES.

Ao Eng^o. Wagner Accioly, meu companheiro de coletas.

À Bióloga Gabriele, por todo carinho com que me orientou nos testes com as “pulguinhas”.

Não te mandei Eu? Esforça-te e tem bom ânimo, não pases, nem te espantes,
porque o SENHOR, teu Deus, é contigo, por onde quer que andares.

(Js 1.9)

RESUMO

PARADA, Thaís da Silva Moreira. **Caracterização ecotoxicológica e físico-química das águas da Bacia do Rio Morto, Vargem Grande - RJ.** 2015. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

Neste trabalho foi avaliada a qualidade das águas da Bacia do Rio Morto, localizado na Baixada de Jacarepaguá – Rio de Janeiro, com base em análise físico-químicas e ensaios ecotoxicológicos agudos com *Danio rerio*, *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri* e ensaios ecotoxicológicos crônicos referentes à reprodução com *Daphnia similis*. Foram comparadas as sensibilidades dos organismos-teste, que pertencem a níveis tróficos diferentes, nos quatro pontos selecionados para coleta de amostras de água no Rio Morto e seus principais tributários: Rio Branco, Rio Sacarrão e canal do Morro do Bruno. Além disso, foi implementado no laboratório o método de ensaio crônico com o microcrustáceo *Daphnia similis*. As amostras, em sua maioria, apresentaram parâmetros físico-químicos dentro dos limites permitidos pela legislação nacional para a classe de águas doces em que a Bacia estudada está inserida. Não foram observados efeitos agudos nos organismos-teste, não sendo possível o cálculo da CE50 ou CL50, por conseqüência, o FT ficou fixado em 1. No teste agudo para *Aliivibrio fischeri*, para algumas amostras, foi constatado efeito Hormesis. O mesmo foi verificado em algumas amostras submetidas aos testes crônicos com *Daphnia similis*.

Palavras-chave: Toxicidade; *Danio rerio*; *Daphnia similis*; *Aliivibrio fischeri*; Bacia do Rio Morto.

ABSTRACT

PARADA, Thaís da Silva Moreira. **Ecotoxicological and physico-chemistry characterization in waters of Rio Morto watershed, Vargem Grande - RJ.** 2015. 134p. Master Dissertation (Master in Sanitary and Environmental Engineering) – Faculty of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

The quality of Rio Morto watershed, located in Jacarepagua district, Rio de Janeiro city, was investigated performing physicochemical determinations of water samples, as well as, acute ecotoxicity assays with three organisms (*Danio rerio*, *Daphnia similis*, *Aliivibrio fischeri*) and chronic ecotoxicity assays with *Daphnia similis*. The responses of the three organisms, belonging to different trophic levels, were compared for samples collected from four selected places in River Morto and its tributaries: River Branco, River Sacarrao and Morro do Bruno channel. In addition, the method of determination of chronic ecotoxicity using *Daphnia similis* was successfully implanted in the laboratory. Most samples presented physicochemical parameters that fulfill the requirements of the national standards for the River Morto watershed. Acute ecotoxicity was not observed for the tested organisms, not allowing the determination of the parameters EC50 and LC50 and imposing a FT value equal to one. Acute toxicity assays with *Aliivibrio fischeri* revealed, for some samples, the Hormesis effect. The same was observed for some samples submitted to chronic ecotoxicity determination with *Daphnia similis*.

Keywords: Ecotoxicity; *Danio rerio*; *Daphnia similis*; *Aliivibrio fischeri*; Rio Morto watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Níveis de Organização Biológica e resposta aos efeitos dos poluentes	28
Figura 1.2 - Ilustração da bactéria bioluminescente <i>Aliivibrio fischeri</i>	32
Figura 1.3 - Fotografia de uma placa contendo colônias de bactérias <i>Aliivibrio fischeri</i>	33
Figura 1.4 - Células de <i>Aliivibrio fischeri</i> fluorescentes	33
Figura 1.5 - Fotografia do organismo <i>Daphnia similis</i> ao final do teste crônico	35
Figura 1.6 - Desenvolvimento sexual e assexual (partenogenético) na <i>Daphnia similis</i>	36
Figura 1.7 - Fotografia ilustrativa de um exemplar de <i>Danio rerio</i>	38
Figura 1.8 - Bacia hidrográfica de Jacarepaguá localizada no município do Rio de Janeiro, em destaque, bacia do Rio Morto e seus principais tributários.	46
Figura 1.9 - Área de Vargem Grande, no Estado do Rio de Janeiro	47
Figura 1.10 - Vista aérea da Região por onde o Rio Morto passa	48
Figura 1.11 - Estrada Vereador Alceu de Carvalho - Rio de Janeiro. Canal de Sernambetiba segue paralelo à esta estrada até desaguar no Oceano Atlântico.	49
Figura 1.12 - Canal de Sernambetiba que segue junto à Estrada Vereador Alceu de Carvalho - Rio de Janeiro	50
Figura 2.1 - Pontos de coleta localizados no Maciço da Pedra Branca, Rio Branco, Canal Morro do Bruno e Rio Morto.	53
Figura 2.2 - Pontos de coleta localizados no Maciço da Pedra Branca, Rio Branco, Canal Morro do Bruno e Rio Morto	54
Figura 2.3 - Local onde foram feitas as coletas no ponto 3, antes de secar.	56
Figura 2.4 - Segunda coleta realizada no Ponto 3, em julho de 2014.	57
Figura 2.5 - Ponto de Coleta 3, já seco, em Novembro de 2014. É possível visualizar, em vermelho o casebre ao fundo.	58
Figura 2.6 - Ponto de coleta 03, já seco, a foto foi tirada em novembro de 2014, quando foi realizada a quarta coleta.	58
Figura 2.7 - Ponto de Coleta 5, nessa foto destaca-se a proximidade da Estrada dos Bandeirantes ao Rio Morto	59

Figura 2.8 - O Ponto de coleta 5 fica ao lado da oficina, em azul. Nessa foto destaca-se a proximidade da Estrada dos Bandeirantes ao Rio Morto.....	60
Figura 2.9 - Foto tirada no Ponto 5. É possível visualizar tubos aéreos descartando efluentes diretamente no rio..	61
Figura 2.10 - Foto tirada no Ponto 5, ao lado do local onde foram realizadas as coletas. É possível visualizar tubos aéreos descartando efluentes diretamente no rio.	61
Figura 2.11 - Momento da primeira coleta realizada no Ponto 5 (meio do curso d'água), em junho de 2014.....	62
Figura 2.12 - Momento da oitava coleta realizada no Ponto 5 (coleta a partir da margem), em dezembro de 2014.	63
Figura 2.13 - Ponto de Coleta 7. Foto tirada no momento da primeira coleta, realizada em junho de 2014.	64
Figura 2.14 - Ponto de Coleta 7. Foto tirada no momento da primeira coleta, realizada em junho de 2014.	64
Figura 2.15 - Segunda coleta realizada no ponto 7, em julho de 2014.	65
Figura 2.16 - Ponto 07 seco, foto tirada em novembro de 2014, quando foi realizada a quarta coleta.....	66
Figura 2.17 - Queda d'água no Ponto 8, este ponto está localizado no maciço da Pedra Branca.	67
Figura 2.18 - Continuação do rio após a queda d'água no Ponto 8.	67
Figura 2.19 - Terceira coleta realizada no ponto 8, em setembro de 2014	68
Figura 2.20 - Equipamento Microtox SDI, 500 Analyser.....	73
Figura 2.21 - Ensaio agudo com <i>Daphnia similis</i> dentro da incubadora.....	74
Figura 2.22 - Béqueres com as amostras em diferentes diluições e os organismos-teste, prontos para serem colocados na incubadora.....	76
Figura 2.23 - Béquer pronto para receber a amostra	77
Figura 2.24 - Caixa de luz e béqueres utilizados no teste crônico com <i>Daphnia similis</i>	78
Figura 3.1 – Valores de pH das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto e os valores permitidos, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).	82

Figura 3.2 - Valores de Condutividade das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.....	83
Figura 3.3 – Valores de sólidos dissolvidos totais das amostras de água coletadas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005)..	84
Figura 3.4 – Valores de nitrato das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).	86
Figura 3.5 – Valores de Nitrito das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).	87
Figura 3.6 – Valores de Turbidez das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005)	89
Figura 3.7 – Valores de cor verdadeira das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).	90
Figura 3.8 – Valores de Cor aparente das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.....	91
Figura 3.9 – Valores de COD das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto.....	92
Figura 3.10 – Valores de Óleos e graxas das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.....	93
Figura 3.11 - Total de mortes do organismo teste <i>Daphnia similis</i> ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 8, em comparação ao número de mortes nos controles.	104
Figura 3.12- Total de mortes do organismo teste <i>Daphnia similis</i> ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 5, em comparação ao número de mortes nos Controles	104
Figura 3.13 - Total de filhotes produzidos pelo organismo teste <i>Daphnia similis</i> ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 8, em comparação ao número de filhotes produzidos nos Controles.	105

Figura 3.14 - Total de filhotes produzidos pelo organismo teste <i>Daphnia similis</i> ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 5, em comparação ao número de filhotes produzidos nos Controles.	106
Figura 3.15 – Dados Pluviométricos anuais da estação Barra / Riocentro, que corresponde aos pontos de coleta 3, 5 e 7.	112
Figura 3.16 - Dados Pluviométricos anuais da estação Guaratiba, que corresponde ao ponto de coleta 8.....	112
Figura 3.17 - Dados Pluviométricos mensais da estação Barra / Riocentro, que corresponde aos pontos de coleta 3, 5 e 7.	113
Figura 3.18 - Dados Pluviométricos mensais da estação Guaratiba, que corresponde ao ponto de coleta 8.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Principais, Leis, Resoluções e Normas relativas a este trabalho.	40
Tabela 2.1 - Descrição da localização dos pontos de coleta e data da realização das coletas.	52
Tabela 2.2 - Localização geográfica dos Pontos de Coleta localizados no Maciço da Pedra Branca (Ponto 8), Rio Branco (Ponto 7), Canal Morro do Bruno (Ponto 3) e Rio Morto (Ponto 5).....	55
Tabela 2.3 - Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização das amostras, suas respectivas metodologias e equipamentos utilizados para as análises ..	69
Tabela 3.1 – Padrões de qualidade das águas estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005)	81
Tabela 3.2 – Valores de DQO das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto	85
Tabela 3.3 - Valores de nitrito que não se enquadraram na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), onde o valor máximo estabelecido é de 1 mg/L.	88
Tabela 3.4 - Parâmetros físico-químicos que não se enquadraram na Classe 2 de águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), na qual a Bacia do Rio Morto está inserida.....	95
Tabela 3.5 - Valores de CE50 obtidos no teste de toxicidade aguda com a bactéria <i>Aliivibrio fischeri</i> para as amostras coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8 no período de Junho de 2014 a Janeiro de 2015.....	98
Tabela 3.6 - Intervalos dos valores de porcentagem de efeito de inibição da luminescência em <i>Aliivibrio fischeri</i> , no tempo de 30 minutos.....	98
Tabela 3.7 - Resultados dos testes estatísticos realizados com as amostras coletadas nos Pontos 5 e 8 no período de Junho de 2014 a Janeiro de 2015 empregando-se o Programa TOXSTAT 3.3. Os resultados foram obtidos através do Teste T de Bonferroni.	107
Tabela 3.8 - Resultados do teste estatístico realizado para a primeira coleta (11/06/2014) no Ponto 8 com as diluições 50%, 25%, 12,5% e 6,25% e amostra bruta (100%).....	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
AWWA	<i>American Water Work Association</i>
CE50	Concentração efetiva a 50% dos organismos-testes
CL50	Concentração letal a 50% dos organismos-testes
CENO	Concentração de efeito não observado
CEO	Menor Concentração de efeito observado
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente/RS
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FT	Fator de toxicidade
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente/RJ
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama/Litro
mL	Mililitro
mL/L	Mililitro/Litro
NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
OD	Oxigênio Dissolvido
OECD	<i>Organization for Economic Co-Operation and Development</i>
OG	Óleos e graxas
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
UT	Unidade de toxicidade
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. REFERENCIAL TEÓRICO	21
1.1 Ecotoxicidade: Breve histórico	21
1.2 Ecotoxicologia	25
1.3 Testes ecotoxicológicos	27
1.3.1 Ensaio de ecotoxicidade aguda	31
1.3.2 Ensaio de ecotoxicidade crônica.....	31
1.4 Organismos-teste	31
1.4.1 <i>Aliivibrio fischeri</i>	32
1.4.2 <i>Daphnia similis</i>	34
1.4.3 <i>Danio rerio</i>	37
1.5 O uso da toxicidade no controle da qualidade das águas e efluentes	39
1.6 O caso da Bacia do Rio Morto	45
1.6.1 <u>Importância da Bacia do Rio Morto</u>	47
2. METODOLOGIA	52
2.1 Delineamento experimental	52
2.2 Descrição dos Pontos de Coleta	55
2.2.1 <u>Ponto 3</u>	55
2.2.2 <u>Ponto 5</u>	59
2.2.3 <u>Ponto 7</u>	63
2.2.4 <u>Ponto 8</u>	66
2.3 Sistemas de Coleta e preservação das amostras	68
2.4 Parâmetros físico-químicos	69
2.5 Obtenção dos organismos utilizados nos ensaios de toxicidade	70
2.6 Ensaio de Ecotoxicidade	71
2.6.1 <u>Ensaio de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i></u>	72
2.6.2 <u>Ensaio de toxicidade aguda com <i>Daphnia similis</i></u>	73
2.6.3 <u>Ensaio de toxicidade crônica com <i>Daphnia similis</i></u>	75
2.6.4 <u>Ensaio de toxicidade aguda com <i>Danio rerio</i></u>	79
2.7 Dados pluviométricos	79
2.8 Testes Estatísticos	80
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81

3.1. Qualidade das águas coletadas na Bacia do Rio Morto.....	81
3.1.1 <u>pH</u>	82
3.1.2 <u>Condutividade</u>	83
3.1.3 <u>Sólidos Dissolvidos Totais</u>	84
3.1.4 <u>DQO</u>	85
3.1.5 <u>Nitrato</u>	85
3.1.6 <u>Nitrito</u>	87
3.1.7 <u>Nitrogênio amoniacal</u>	88
3.1.8 <u>Turbidez</u>	89
3.1.9 <u>Cor verdadeira e Cor aparente</u>	90
3.1.10 <u>COD - Carbono Orgânico Dissolvido</u>	92
3.1.11 <u>Óleos e graxas</u>	93
3.1.12 <u>Aparência do Corpo Hídrico</u>	94
3.2 Ensaio de toxicidade aguda	97
3.2.1 <i>Aliivibrio fischeri</i>	97
3.2.2 <i>Daphnia similis</i>	100
3.2.3 <i>Danio rerio</i>	101
3.3 Ensaio de toxicidade crônica com o organismo-teste <i>Daphnia similis</i> ..	103
3.3.1 <u>Testes estatísticos</u>	107
3.4 Dados pluviométricos	111
4. CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS.....	118
ANEXO 1	130
ANEXO 2	133

INTRODUÇÃO

O modelo atual de urbanização implica no excesso de impermeabilização das superfícies, que por si só desencadeia diversos impactos no ciclo hidrológico, inclusive na qualidade das águas. Observa-se ainda, sobretudo nos grandes centros, um crescimento desordenado nas periferias das cidades, inclusive o número de assentamentos informais. O problema se agrava à medida que esta ocupação se dá em terrenos frágeis, onde não existem proprietários, em vertentes de alta declividade, nas margens dos rios e em baixadas. Ao mesmo tempo, a população, ainda que de maneira formal, reside no entorno desses locais e não têm preocupação em fazer investimentos associados ao saneamento ambiental. Isso tem levado, muitas vezes, a um cenário desolador de desordem e comprometimento da qualidade ambiental nas áreas Peri-urbanas das grandes cidades.

A região hidrográfica da baixada de Jacarepaguá no município do Rio de Janeiro, principal região de expansão do município, é um exemplo desta paisagem e, em função de sua relevância foi escolhida como área de estudo deste trabalho.

Não é recente a preocupação em relação à poluição de ambientes aquáticos. No final da Segunda Guerra Mundial, vários eventos de poluição ocorreram com consequências universalmente reconhecidas. Desde então, o interesse do público por substâncias químicas contaminantes ambientais aumentou consideravelmente.

Muitos poluentes são extremamente complexos, e para prever o risco ambiental e avaliar seus possíveis efeitos, é necessária a realização de análises físico-químicas e ecotoxicológicas, com a finalidade de identificar substâncias tóxicas ou suas combinações e sinergias. A avaliação da ecotoxicidade tem se mostrado de suma importância para estabelecer o quadro de qualidade das águas e dos efluentes. Ela fornece informações sobre a toxicidade do meio aquático que, muitas vezes, o conjunto de análises físico-químicas não oferece. Quando a biota é exposta a vários contaminantes, pode apresentar respostas biológicas diferentes das que apresentaria de maneira isolada a cada um deles.

Apesar dos testes de toxicidade terem se tornado extremamente importantes na avaliação da qualidade das águas e do meio ambiente, esses testes não permitem obter uma resposta absoluta sobre o risco que uma determinada amostra apresenta para a população humana, uma vez que é muito difícil extrapolar para os seres humanos, os resultados de toxicidade obtidos para os organismos de laboratório.

As legislações ambientais têm sofrido aprimoramentos para definir limites de lançamentos relativos às máximas concentrações permitidas de substâncias presentes nos efluentes líquidos para seus lançamentos nos corpos hídricos. Entretanto, pode ocorrer que os padrões legais não sejam restritivos o suficiente a ponto de assegurar a não existência de toxicidade a organismos, principalmente quando se considera diferentes níveis na cadeia trófica, que apresentam sensibilidades diferentes entre espécies, sexo, idade, etc.

No estado do Rio de Janeiro, a Norma Técnica 213 R.04 (INEA, 1990) exige o uso de apenas um organismo para o ensaio ecotoxicológico, o peixe *Danio rerio*. A legislação federal, a Resolução do CONAMA 357 (Brasil, 2005) define o uso de dois níveis tróficos (dois organismos de espécies diferentes, que se encontrem em diferentes níveis na cadeia alimentar). O que existe em comum entre as legislações é o acordo sobre o uso do monitoramento físico-químico e biológico conjuntamente.

Foram utilizados neste estudo três organismos-teste representantes da cadeia alimentar, o peixe *Danio rerio*, o microcrustáceo *Daphnia similis* e a bactéria *Aliivibrio fischeri*, além da caracterização físico-química das amostras ambientais, para avaliar o real impacto dos poluentes presentes na biota aquática, o que torna importante este trabalho como contribuição para tomadores de decisão em vista de contribuição à mitigação de impactos.

O objetivo geral desse estudo foi avaliar amostras ambientais coletadas na Bacia do Rio Morto, localizada na Baixada de Jacarepaguá – RJ, quanto a sua caracterização ecotoxicológica, em complementação à caracterização físico-química, e com isso observar a qualidade das águas nessa Bacia.

Para alcançar esse objetivo geral, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a toxicidade para três organismos-teste de diferentes níveis da cadeia trófica (peixe *Danio rerio*, microcrustáceo *Daphnia similis* e bactéria *Aliivibrio fischeri*), de modo a identificar o efeito dos poluentes na área estudada;
- Implementar o método de ensaio crônico com o microcrustáceo *Daphnia similis* no Laboratório de Engenharia Sanitária – LES na Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, com base no método de ensaio: Test No. 211 (OECD, 2012), “*Daphnia magna* Reproduction Test”;
- Verificar a toxicidade crônica das amostras ambientais coletadas na área de estudo através de testes com o organismo-teste *Daphnia similis*.
- Determinar os valores dos parâmetros físico-químicos das amostras e compará-los com os valores determinados na Classe 2 das águas doces, segundo a Resolução vigente CONAMA 357/2005. Verificar se estes são restritivos o suficiente a ponto de não causar danos aos organismos aquáticos, e assim, ao ecossistema em geral;
- Verificar se há correlação significativa entre os parâmetros físico-químicos e a toxicidade para as amostras ambientais.

A dissertação está organizada em capítulos como comentado a seguir:

No **capítulo 1** é apresentado o referencial teórico com os conceitos relacionados à Ecotoxicologia Aquática, incluindo: caracterização dos organismos aquáticos, tipos de ensaios realizados, legislações e normas de padronização referentes ao assunto, importância da área estudada e também alguns trabalhos relevantes a esse estudo.

No **capítulo 2** é apresentada a metodologia utilizada para as coletas e preservação das amostras, caracterização dos pontos de coleta, forma de obtenção dos organismos, cultivo dos organismos, caracterização físico-química, realização dos ensaios.

No **capítulo 3** são descritos e discutidos os resultados referentes aos testes físico-químicos e aos testes ecotoxicológicos agudos realizados com os organismos teste *Danio rerio*, *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri* e crônicos realizados com o organismo teste *Daphnia similis*.

No **capítulo 4** estão apresentadas as conclusões referentes ao que foi encontrado no decorrer e ao final do estudo e recomendações para trabalhos futuros.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Ecotoxicidade: Breve histórico

Com o advento dos pesticidas sintéticos nas décadas de 1930 e 1940, os efeitos do DDT (primeiro pesticida moderno, tendo sido largamente usado após a Segunda Guerra Mundial para o combate aos mosquitos vetores da malária e do tifo) e de outros pesticidas começaram a ser investigados em animais selvagens. Testes de toxicidade aguda com organismos aquáticos começaram a ser realizados com objetivo de estabelecer a relação causa/efeito de substâncias químicas e despejos líquidos (RATTNER, 2009; ZAGATTO & BERTOLLETTI, 2008).

A partir do final da Segunda Guerra Mundial, vários eventos de poluição ocorreram com consequências universalmente conhecidas. Alguns eventos ocorreram nas bacias hidrográficas e provocaram diminuição da população de espécies de aves piscívoras devido à poluição generalizada das águas, e envenenamentos por mercúrio e cádmio (HOFFMAN *et al.*, 2008; MORYARTI, 1988).

Durante as décadas de 50 e 60 foram estabelecidas normas e leis que regulamentavam a ampla variedade de substâncias químicas presentes nas residências, nos locais de trabalho e no ambiente em geral. Durante este período, o interesse do público por substâncias químicas contaminantes ambientais, especialmente os praguicidas, aumentou, principalmente depois do lançamento do livro de Rachel Carson intitulado Primavera Silenciosa, publicado em 1962 (RATTNER, 2009; FERNÍCOLA, 2002).

O termo ecotoxicologia foi citado pela primeira vez por Truhaut, em 1969, como uma extensão natural da toxicologia (ciência dos efeitos de veneno em organismos individuais) para os efeitos dos poluentes nos ecossistemas. Posteriormente, a ecotoxicologia ganhou mais espaço e destaque, *experts* para lidar com essas questões tornaram-se essenciais para a sociedade e várias ciências práticas

fundiram-se, fazendo surgir a ciência da ecotoxicologia. Com o passar dos anos, a ecotoxicologia vem se tornando uma área de atuação extremamente moderna e alinhada com a evolução dos conhecimentos (NEWMAN, 2008; SISINNO & OLIVEIRA-FILHO, 2013).

Em 1970, pesquisadores americanos observaram que os limites estabelecidos para vários agentes tóxicos, isoladamente, não poderiam preservar a qualidade da água necessária para manutenção da vida aquática. A partir dessas observações, o estudo da toxicologia aquática teve seu desenvolvimento acelerado, principalmente depois do estabelecimento de testes de toxicidade crônica, que conduziram a critérios de qualidade de água mais seguros (ZAGATTO & BERTOLLETTI, 2008).

Na década de 1980 teve destaque a poluição por metais pesados relacionados à mineração e fundição, práticas agroquímicas e intoxicação por selênio. Nesta época foram desenvolvidos ensaios de toxicidade de curta duração (testes agudos), a fim de minimizar custos e aumentar a eficiência dos ensaios, já que estes eram realizados nas fases mais sensíveis da vida de alguns organismos. Os testes agudos com diversos organismos foram normatizados e fazem parte das exigências legais dos órgãos ambientais em vários países (RATTNER, 2009; ZAGATTO & BERTOLLETTI, 2008).

No ano de 1980, principalmente nos Estados Unidos da América e na Europa, as agências ambientais começaram a desenvolver a padronização de protocolos e testes de toxicidade utilizando organismos aquáticos. Tal fato decorreu do conhecido “Clean Water Act”, considerado um marco regulatório, que conferiu à Agência de Proteção Ambiental Americana a autoridade para implantar programas de controle da poluição, que incluem requerimentos para fixação de padrões de qualidade de águas superficiais para contaminantes e padrões de qualidade de efluentes industriais. A USEPA (*US Environmental Protection Agency*), em 1984 estabeleceu o uso de organismos para fins de monitoramento da qualidade da água. Na Europa, no mesmo ano, a OECD (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento) lançou protocolos de testes com organismos aquáticos como algas, microcrustáceos e peixes (MAGALHÃES & FILHO, 2008).

Em 1975, no Brasil, a convite da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) juntamente com o Comitê Técnico de Qualidade das Águas da “International Organization for Standardization” (ISO) foram responsáveis por desenvolver as primeiras iniciativas metodológicas, de um programa internacional, visando padronizar os testes de toxicidade em peixes. Desde então, vários outros métodos de ensaios de toxicidade aguda e crônica de curta duração foram desenvolvidos e adaptados, utilizando algumas espécies de organismos, dos quais é válido destacar as algas, microcrustáceos e peixes, bem como testes com sedimentos (MAGALHÃES & FILHO, 2008).

Em 1990, os principais temas estudados foram o desenvolvimento de biomarcadores, desregulação endócrina, modelagem de populações, e os estudos com anfíbios e répteis. Também nessa década, no Brasil, foi intensificada a implementação dos testes ecotoxicológicos para o estabelecimento de padrões de qualidade de água e de lançamento de efluentes líquidos, visando o controle da poluição hídrica. (RATTNER, 2009; ZAGATTO & BERTOLLETTI, 2008)

Com a virada do século, o interesse da ecotoxicologia se diversificou e se intensificou, voltando-se para diferentes áreas: degradação ambiental e saúde pública, contaminação de solo e sedimento, qualidade de água e efluentes, controle de substâncias químicas, gestão de risco ecológico, biomarcadores, genotoxicidade, bioacumulação e biodisponibilidade. A cada ano pesquisas sobre estes assuntos estão sendo aprofundadas (RATTNER, 2009; ESPINDOLA, 2000).

Testes de toxicidade com métodos alternativos estão cada vez mais sendo desenvolvidos, o objetivo destes experimentos é o de reduzir o número de organismos vivos utilizados nos testes atuais. No caso dos peixes, muitos cientistas questionam o mérito técnico e científico dos testes de letalidade para determinação do impacto de compostos no ambiente. Testes agudos com embriões de peixes já foram validados pela OECD, e a tendência é a de que estes tipos de testes se tornem mais comuns com o passar dos anos (ALTTOX, 2014)

Outros exemplos de testes alternativos para substituir os animais em testes de toxicidade aquática são: ensaios de citotoxicidade com células de peixe; ensaios com células de mamíferos utilizando citotoxicidade ou outros parâmetros; ensaios com células bacterianas; ensaios com embrião de peixe; ensaios *in vitro* para disruptor endócrino; ensaios de genotoxicidade (ALTTOX, 2014)

Uma ferramenta utilizada tanto no desenho de fármacos como em toxicologia ambiental é o QSAR (“Quantitative structure-activity relationships”). A fonte acima citada relatou que o Gabinete de Prevenção da Poluição e Tóxicos (OPPT) do US EPA (“*US Environmental Protection Agency*”) tem utilizado o QSAR por mais de duas décadas para verificar efeitos como perigo ecológico e destino e avaliação de novos riscos químicos. Os QSARs podem ser usados para prever a toxicidade aguda e a bioconcentração para peixes, para *Daphnia* e para algas, em certas classes de produtos químicos (ALTTOX, 2014)

Os métodos atuais *in vitro* propostos para a toxicidade aguda em ambiente aquático ainda não são padronizados ou validados. Novas estratégias estão sendo propostas para lidar com limitações dos ensaios baseados em células (SCIENCE, 2015).

A nanotecnologia é um dos ramos da ciência que mais se desenvolve atualmente, fruto dos altos investimentos em pesquisa. A preocupação com relação à toxicidade das nanopartículas se dá, principalmente, pelo fato de que estas estão sendo produzidas e utilizadas em produtos comerciais em larga escala, dessa forma o risco de alcançarem os diferentes compartimentos ambientais (atmosfera, águas e solo) e se tornarem disponíveis é muito grande. Outros fatores importantes a serem considerados são as várias formas como as partículas podem se apresentar após o contato com o ambiente ou organismos vivos, podendo estar presentes tanto em sua forma livre como em aglomerados. Os estudos são realizados com receptores ecológicos de diferentes níveis: bactérias, algas, plantas, vertebrados e invertebrados aquáticos e terrestres. Atualmente o tema da ecotoxicidade das nanopartículas tem sido investigado de forma intensa e gerado muitas publicações (PASCHOALINO *et al.*, 2010; HONGBO *et al.*, 2012).

1.2 Ecotoxicologia

A ecotoxicologia se baseia em conceitos essenciais de ecologia, que têm como objetivo compreender e estudar os efeitos nocivos de substâncias químicas no ambiente e nos organismos nele presentes. Tem um papel de grande destaque, pois visa tanto à proteção do ser humano quanto do meio ambiente, quando estabelece diversos parâmetros que resguardam a ambos. Dessa forma, torna-se uma ferramenta muito importante para o entendimento dos efeitos de substâncias químicas sobre um ecossistema, a partir de influências antrópicas sobre ele, já que somente os resultados das análises físico-químicas não retratam totalmente o impacto ambiental causado pelos poluentes, e ademais, não permitem uma avaliação dos efeitos das misturas de substâncias sobre o ecossistema (NEWMAN, 2008; PESSINI & BARBERI, 2013; FÉRARD, 2013; MAGALHÃES & FILHO, 2008).

A ecotoxicologia lida com doses-resposta de cada organismo, verificando a sensibilidade individual e, assim, dando condições de intervenção tanto para a reversão como para a prevenção de quadros de degradação dos ecossistemas. O principal objetivo dos estudos é descobrir distúrbios estruturais e funcionais induzidos, a curto, médio e longo prazo, por fatores de contaminação (BOUDOU & RIBEYRE, 1997; FOTH, 1999).

Na área da ecotoxicologia aquática, o primeiro aspecto que deve ser considerado nos sistemas aquáticos naturais é que os organismos podem estar expostos a uma mistura de diferentes substâncias ao mesmo tempo (BICKHAM *et al.*, 2000).

A exposição da biota a misturas de contaminantes pode levar a interações toxicológicas não esperadas, estas interações dependem do transporte, distribuição, transformação e destino final dos contaminantes no ambiente. Quando a biota é exposta a dois ou mais contaminantes, pode apresentar respostas biológicas diferentes do que as apresentadas de maneira isolada a cada um deles (BICKHAM *et al.*, 2000; RAND *et al.*, 1995).

As respostas da biota aos contaminantes são distribuídas ao longo do tempo, algumas ocorrem imediatamente após o evento poluidor, outras respondem ao poluente após um longo tempo de estímulo. A contaminação química do meio (efeitos a curto e longo prazo) tem provocado perda da biodiversidade a nível mundial. Os efeitos tóxicos podem se manifestar em diferentes níveis de organização, desde estruturas celulares até indivíduos, populações e comunidades. Os organismos podem compensar o efeito tóxico e sua saúde não ser afetada. Entretanto, exposições prolongadas podem induzir uma sequência de alterações funcionais e estruturais prejudicando suas funções vitais (SINDERMAN, 1996; COSTA & OLIVI, 2008; CHOVANEC *et al.*, 2003).

Por meio do biomonitoramento, é possível verificar o impacto de fatores externos sobre os ecossistemas e seu desenvolvimento ao longo de um período. Dessa forma, podem-se verificar as diferenças entre um local e outro em função das respostas dos organismos, chamados de bioindicadores (ESCHER *et al.*, 1997; MEYER, 2008; LI *et al.*, 2010).

Estes bioindicadores precisam indicar a interação de longo prazo de várias condições ambientais, assim como reagir a uma alteração súbita no ambiente. Em geral, os organismos estão expostos a níveis subletais dos poluentes, estes níveis podem não levar à morte do organismo, mas a longo prazo, causar distúrbios fisiológicos e/ou comportamentais. Quando os organismos estão em local com concentrações muito altas de poluentes, estes podem sofrer efeitos agudos, o que geralmente leva à morte do organismo em pouco tempo (ESCHER *et al.*, 1997; MEYER, 2008; LI *et al.*, 2010).

Ensaio de toxicidade aguda, isoladamente, não são suficientes para antecipar danos aos ecossistemas causados por substâncias ou misturas de substâncias, pois esses testes têm como objetivo estimar a dose ou concentração de um agente tóxico que seria capaz de produzir uma resposta específica mensurável em um organismo-teste ou população, em um período de tempo relativamente curto, geralmente de 24 a 96 h, ainda assim, desempenham papel importante em virtude do baixo custo, simplicidade e maior possibilidade de controle das condições experimentais, fatores importantes na garantia da reprodutibilidade e

confiabilidade dos resultados (SISINNO & OLIVEIRA-FILHO, 2013; COSTA *et al.*, 2008).

As interações de longo prazo de várias condições ambientais podem ser desvendadas utilizando-se organismos vivos ou sistemas *in vitro*. Por meio de sistemas *in vitro*, é possível desenvolver biomarcadores e biossensores específicos, que podem ser aplicados como sistemas de alerta (ESCHER *et al.*, 1997; MEYER, 2008; LI *et al.*, 2010).

Os testes de toxicidade não permitem obter uma resposta absoluta sobre o risco que uma determinada amostra apresenta para a população humana, uma vez que é muito difícil extrapolar para os seres humanos os resultados de toxicidade obtidos para os organismos de laboratório e até mesmo correlacionar os resultados de toxicidade entre organismos de diferentes espécies (COSTA *et al.*, 2008).

As fontes de poluição orgânicas mais importantes de águas superficiais são os resíduos de esgoto doméstico e industrial. Para garantir a preservação da biota em corpos hídricos brasileiros, os ensaios ecotoxicológicos com organismos aquáticos passaram a ser requeridos por força das leis e normas (HOLT, 2000).

1.3 Testes ecotoxicológicos

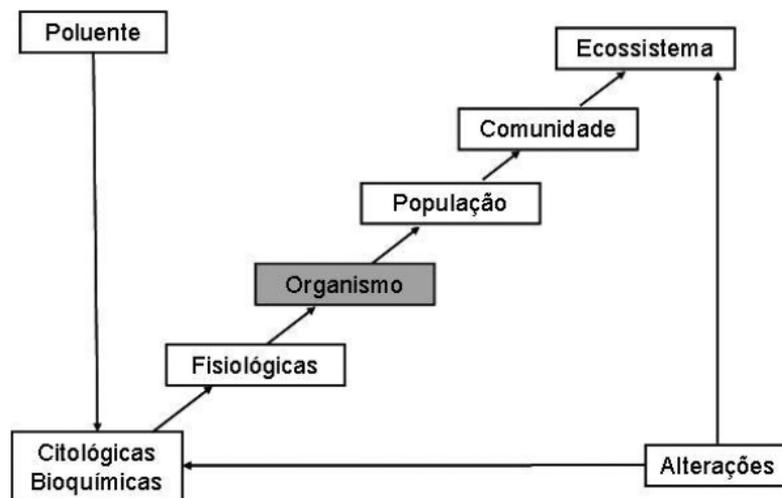
Na década de 1960, foi observado que critérios de qualidade de água baseados em resultados de ensaios de toxicidade aguda eram insatisfatórios, pois estes não conseguiam detectar o risco de substâncias tóxicas a longo prazo, ou concentrações de poluentes muito baixas, que não levavam à morte do organismo. Assim, na década de 1970, foram desenvolvidos os ensaios de toxicidade crônica, com a duração do ciclo de vida completo do organismo, utilizando-se espécies de peixes e invertebrados (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2008).

Os testes ecotoxicológicos têm o objetivo de revelar o grau de toxicidade em determinado organismo, por meio de respostas agudas ou crônicas. Os resultados

podem ser a morte do organismo, mudanças morfológicas, fisiológicas e histológicas, que se manifestam em alterações no crescimento, na reprodução, no metabolismo, em deformações e no comportamento dos organismos (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2008; KNIE *et al.*, 2004).

A Figura 1.1 apresenta os níveis de organização biológica dos organismos. Estes podem sofrer alterações desde indivíduos isolados, até ecossistemas inteiros em resposta aos diferentes tipos e concentrações de poluentes.

Figura 1.1 - Níveis de Organização Biológica e resposta aos efeitos dos poluentes:



Fonte: MAGALHÃES & FILHO, 2008

Muitas vezes, mesmo os afluentes que estão dentro dos padrões (tanto físico-químicos como ecotoxicológicos) estabelecidos pela legislação para lançamentos em corpos de água podem causar distúrbios no ecossistema, apresentando condições inadequadas para manutenção da vida. Isto pode ser causado pela interação entre componentes do efluente, interações entre múltiplas descargas ou fontes de poluição não pontuais e interações com o corpo de água receptor (MAGALHÃES & FILHO, 2008).

Segundo Castilhos *et al.* (2005) existem efeitos que podem alterar o resultado final dos agentes químicos quando estes se unem, levando a respostas maiores ou menores que a soma dos efeitos isolados de cada um deles, a saber:

- Efeito sinérgico: efeito maior que a soma dos efeitos de cada agente em separado;
- Efeitos antagônicos: o efeito de um agente é diminuído, inativado ou eliminado quando se combina com outro agente;
- Efeitos de potencialização: o efeito de um agente é aumentado quando em combinação com um ou outro agente;
- Efeitos aditivos: efeito final dos compostos químicos é igual à soma dos efeitos individuais que aparecem quando cada um é administrado separadamente.

Segundo Costa *et al.* (2008), em experimentos de laboratório são geradas doses-resposta, as quais são expressas empregando-se os seguintes parâmetros:

- CL50 (Concentração Letal Média) – Concentração de amostra no ensaio que causa efeito agudo (mortalidade/imobilidade) a 50% dos organismos no tempo de exposição e condições de teste.
- CE50 (Concentração Efetiva Média) – Concentração de amostra no ensaio que causa efeito agudo a 50% dos organismos no tempo de exposição e condições de teste.
- CENO (Concentração de Efeito Não Observado) - É a maior concentração nominal do agente tóxico que não causa efeito crônico estatisticamente significativo na sobrevivência e reprodução dos organismos, nas condições de teste.
- CEO (Concentração de Efeito Observado) - É a menor concentração nominal do agente tóxico, que causa efeito crônico estatisticamente significativo na sobrevivência e reprodução dos organismos, nas condições de teste.

- FT (Fator de toxicidade) - Menor valor de diluição da amostra na qual não se observa efeito deletério sobre os organismos-teste.

É importante destacar que, além das respostas aos testes ecotoxicológicos citadas acima, existe mais uma. Nesta resposta do organismo ao poluente, acontece o inverso do que geralmente se espera em um teste com poluentes/químicos, e o organismo passa por um estímulo. Esse estímulo é conhecido como efeito *Hormesis*, e pode ser verificado em diferentes organismos. Na bactéria *Aliivibrio fischeri*, *Hormesis* é uma resposta de aumento de luz do organismo a baixos níveis de contaminantes na amostra ao invés de uma inibição de luz. Em testes crônicos de reprodução, os grupos que ficam nas amostras originam mais filhotes do que o grupo controle. Este efeito é considerado como uma autoproteção dos organismos, mas pode ser considerado nocivo, uma vez que os indivíduos passam por uma situação de estresse, e seus metabolismos são acelerados. O efeito *Hormesis* pode ocorrer em machos e fêmeas de numerosas espécies animais (vertebrados e invertebrados), assim como em vegetais e seres unicelulares. É um termo utilizado por toxicólogos para se referir a uma resposta a um agente ambiental caracterizada por uma estimulação de baixa dose ou efeito benéfico. Nos campos da biologia e medicina *Hormesis* é definida como uma resposta adaptativa de células e organismos a uma tensão (geralmente intermitente) moderada (BIGGS, 1996; CALABRESE & BLAIN, 2011; NASCARELLA *et al.*, 2003; CALABRESE & BALDWIN, 2001; MATTSON, 2007). Este assunto será retomado mais a frente neste trabalho.

É importante avaliar as amostras com organismos de níveis tróficos diferentes, pois as sensibilidades dos organismos irão depender da substância tóxica avaliada, salientando-se para o fato de que não há um organismo extremamente sensível a todas as substâncias, e que espécies de um mesmo grupo têm sensibilidades muito próximas (MAGALHÃES & FILHO, 2008; ZAGATTO & BERTOLETTI, 2008).

1.3.1 - Ensaio de Toxicidade Aguda

Os testes ecotoxicológicos agudos demonstram os efeitos rápidos e severos que podem ocorrer quando um agente contaminante entra em contato com o organismo. O estímulo se manifesta em um curto período de tempo, em geral, num intervalo de 0 a 96 horas. Estes efeitos podem ser expressos de diferentes formas (letalidade, imobilidade e perda da luminescência). Estes testes possuem custos mais baixos quando comparados a ensaios crônicos (ZAGATTO E BERTOLETTI, 2008; MAGALHÃES & FILHO, 2008).

1.3.2 - Ensaio de Toxicidade Crônica

Os testes ecotoxicológicos crônicos avaliam efeitos subletais nos organismos (taxas de crescimento, reprodução, alimentação). Estes testes são realizados quando se expõe o organismo-teste ao agente potencialmente tóxico durante o ciclo de vida completo dele, ou, somente às fases mais sensíveis do desenvolvimento. Os testes de toxicidade crônica dependem diretamente dos resultados dos testes de toxicidade aguda, uma vez que as concentrações subletais são calculadas a partir da CL50. Os testes de toxicidade crônica são utilizados também quando os testes de toxicidade aguda não são suficientes para caracterizar um efeito tóxico mensurável (ZAGATTO E BERTOLETTI, 2008; MAGALHÃES & FILHO, 2008).

1.4 Organismos testes

Na Ecotoxicologia aquática, é importante usar organismos que reproduzam da melhor forma ensaios agudos e crônicos de toxicidade com poluentes aquáticos. Essas espécies, tais como algas, bactérias, zooplâncton e peixes são escolhidos por serem abundantes no meio, abrangentemente distribuídas, ecologicamente relevantes e ideais para cultivo em laboratório (DAHMS *et al.*, 2011).

1.4.1 - *Aliivibrio fischeri*

Do ponto de vista taxonômico esse organismo pertence ao **Reino:** Bacteria, **Filo:** Protobacteria, **Classe:** Gammaproteobacteria, **Ordem:** Vibrionales, **Família:** Vibrionaceae, **Gênero:** *Aliivibrio*

Aliivibrio fischeri é uma bactéria marinha, que se ilumina em condições adequadas. A bioluminescência deriva da expressão de uma série de proteínas. Sua cadeia respiratória é ligada ao sistema de luminescência que consome muita energia. Em caso de uma interferência na cadeia respiratória, por exemplo, por causa da exposição a toxinas, diminui a luminescência. É um organismo não patogênico, geralmente cultivado em meio líquido salino. Degrada substâncias orgânicas resultantes de organismos mortos ou de seus metabólitos em substâncias mais simples, é assim classificado como decompositor dentro da cadeia trófica (ZAGATTO & BERTOLETTI, 2008; BAUMGARTNER *et al*, 2011).

A Figura 1.2 apresenta uma bactéria bioluminescente *Aliivibrio fischeri* e suas estruturas.

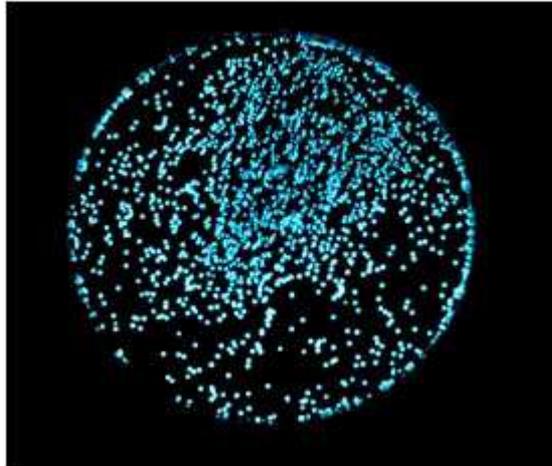
Figura 1.2 - Ilustração da bactéria bioluminescente *Aliivibrio fischeri*.



Fonte: Modificado de www.deviantart.com

A Figura 1.3 apresenta uma foto com placa de colônias de bactérias *Aliivibrio fischeri*. Cada ponto representa uma colônia de 10 a 100 milhões de células, que foram cultivadas numa placa de Petri.

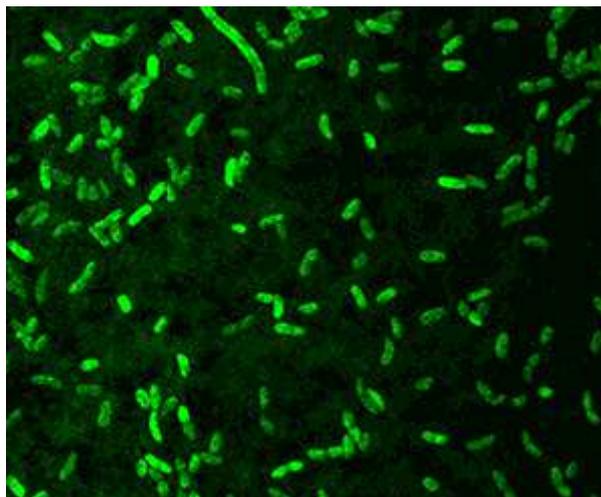
Figura 1.3 - Fotografia de uma placa contendo colônias de bactérias *Aliivibrio fischeri*.



Fonte: http://labs.medmicro.wisc.edu/mcfall-ngai/media/news_fall09.html

A Figura 1.4 apresenta células de *Aliivibrio fischeri* fluorescentes vistas em um microscópio digital.

Figura 1.4 - Células de *Aliivibrio fischeri* fluorescentes.



Fonte: https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Vibrio_fischeri

A utilização desse indivíduo em testes ecotoxicológicos permite a avaliação dos efeitos biológicos através de um método eficaz, rápido, sensível e reprodutível. *Aliivibrio fischeri* permite um ensaio de inibição de bioluminescência, cujo protocolo de teste é simples. Pesquisadores relataram a bioluminescência *Aliivibrio fischeri* como o mais sensível teste para uma vasta gama de produtos químicos em comparação com outros ensaios (PARVEZ *et al.*, 2006).

1.4.2 - *Daphnia similis*

Do ponto de vista taxonômico esse organismo pertence ao **Reino:** Animalia, **Filo:** Crustacea, **Classe:** Branchiopoda, **Ordem:** Cladocera, **Família:** Daphniidae **Gênero:** *Daphnia*.

A ordem *Cladocera* contém 11 famílias, com aproximadamente 600 espécies de microcrustáceos semelhantes e conhecidos coletivamente como pulgas-d'água (RUPPERT, 2005).

As daphnias possuem tronco curto e recoberto por uma carapaça bivalve, bem desenvolvida, comprimida lateralmente e inarticulada, possuem 0,5 a 5,0 mm de comprimento. A cabeça é expandida dorsal e lateralmente, formando um escudo cefálico. Nadam por meio de antenas. O segundo par de antenas é grande e a estrutura mais importante para a natação. O primeiro par de antenas é diminuto. Os segmentos do tronco são fundidos e com cinco ou seis pares de apêndices desiguais (RUPPERT, 2005).

A Figura 1.5 é uma fotografia de um indivíduo *Daphnia similis* adulto (com 21 dias) ao final do teste crônico realizado neste trabalho.

Figura 1.5 - Fotografia do organismo *Daphnia similis* ao final do teste crônico

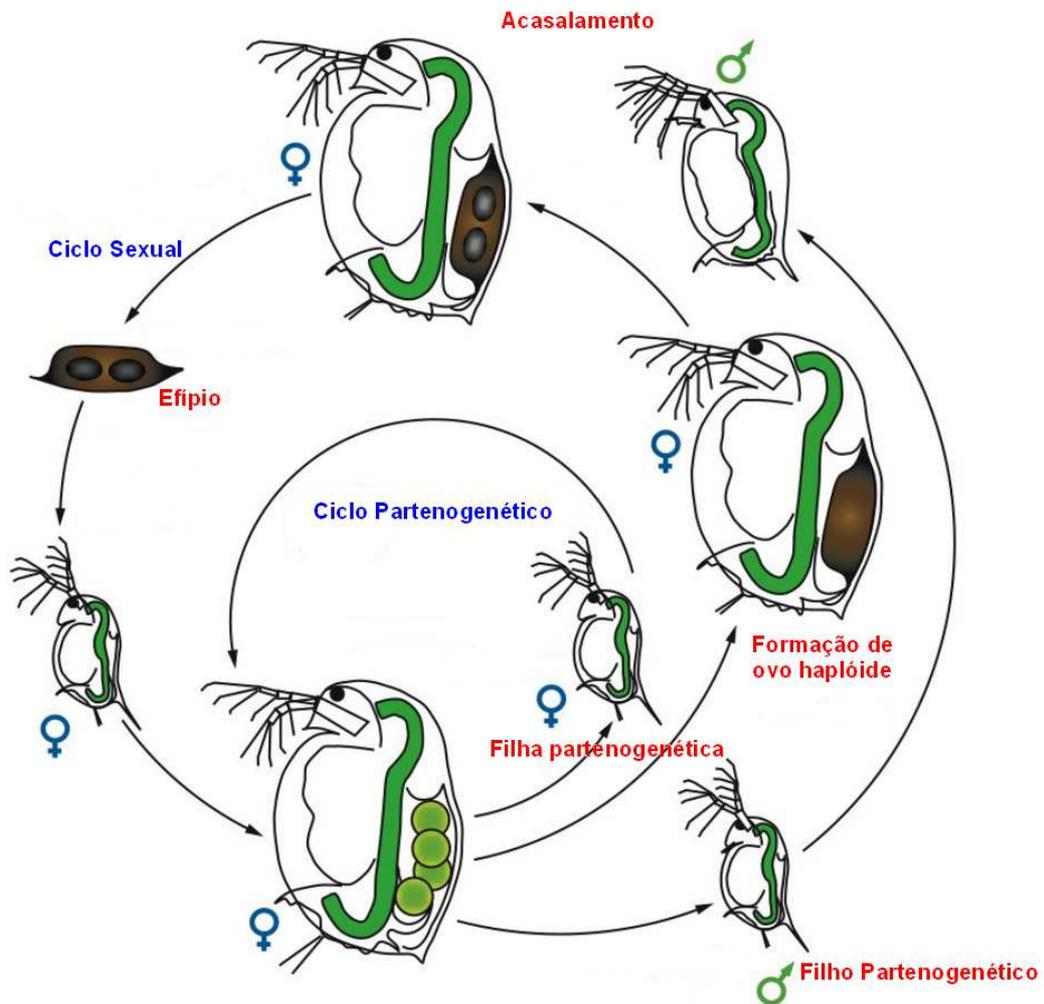


Fonte: Própria autora

As daphnias são filtradoras de detritos orgânicos, incluindo fungos e bactérias, e, assim, classificadas como consumidoras primárias na cadeia trófica. A maioria das daphnias são de água doce e servem de alimento para peixes e são abundantes em ambientes com alto teor de matéria orgânica, onde crescem bactérias, leveduras e microalgas (RUPPERT & BARNES, 2005; ZAGATTO & BERTOLETTI, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

A Figura 1.6 apresenta o desenvolvimento sexual e assexual de *Daphnia similis*. Durante o ciclo partenogenético, as fêmeas produzem ovos diplóides que se desenvolvem diretamente em filhas. A mesma fêmea pode produzir ovos assexuados diplóides que se desenvolvem em filhos. A geração de machos está ligada diretamente às mudanças no ambiente, tais como superpopulação, alteração na temperatura da água e escassez de alimento, e pode ser considerada um efeito / resposta a poluentes (EBERT, 2005).

Figura 1.6 - Desenvolvimento sexual e assexual (partenogenético) na *Daphnia similis*.



Fonte: Modificado de EBERT, 2005

A mesma fêmea pode produzir ovos haplóides que requerem fertilização por machos. Esta fecundação gera ovos rígidos e resistentes, possuindo uma coloração escura, chamados de efípio (EBERT, 2005).

Segundo Ebert (2005), na maioria das espécies, daphnia passa por 4-6 estádios juvenis antes que se inicie a produção de ovos pela primeira vez. A idade em que os primeiros ovos são depositados na câmara de criação é de cerca de 5-10 dias a 20°C, mas isso pode levar mais tempo em condições de má alimentação. Uma fêmea adulta pode produzir uma ninhada de ovos a cada 3 a 4 dias até a sua morte. A fêmea produz uma ninhada de ovos após cada muda. Os ovos são

colocados na câmara de criação, que está localizada por baixo da carapaça dorsal e que é fechada pelos processos abdominais. A aparência da recém-nascida é mais ou menos como a de daphnia adulta, exceto que a câmara de criação ainda não é desenvolvida.

Entre os organismos bioindicadores, o microcústáceo daphnia é um organismo muito usado em ecotoxicologia, apesar de não ser uma espécie nativa no Brasil, vem sendo bastante utilizada em testes de toxicidade, pois é facilmente cultivada em laboratório e atende os critérios estabelecidos pelos procedimentos padrões para a seleção de espécies alternativas, fornecendo dados úteis sobre a toxicidade de substâncias químicas. O uso de *Daphnia magna* começou em 1933, com Einar Naumann. Depois disso, os testes com toxicidade com daphnias de diferentes gêneros têm sido desenvolvidos e usados para uma ampla gama de propósitos, incluindo ensaios de letalidade, reprodução, alimentação e comportamento (MEYER, 2008, COSTA *et al.*, 2008).

1.4.3 - Danio rerio

Do ponto de vista taxonômico esse organismo pertence ao **Reino:** Animalia, **Filo:** Chordata, **Classe:** Actinopterygii, **Ordem:** Cypriniformes, **Família:** Cyprinidae, **Gênero:** *Danio*

É um pequeno ciprinídeo conhecido como peixe-zebra (zebrafish), espécie ovípara, que habita águas doces e paradas, possui coloração marrom claro com laterais azuis e douradas (machos) ou prateadas (fêmeas), com listras alternadas, medindo em média 4,5 cm um adulto. As fêmeas podem acasalar diariamente, produzindo centenas de ovos por dia. Os machos do *Danio rerio* passam por uma fase de hermafroditismo juvenil, que tem o desenvolvimento inicial indiferenciado. A diferenciação sexual acontece em torno do 23^o - 25^o dia e termina no 40^o dia (OWEN *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2013).

As características deste peixe tornam-no um modelo seguro na pesquisa nos tempos atuais. Medindo aproximadamente entre três e quatro centímetros, pode ser facilmente mantido e distribuído nos aquários, necessitando de pouco espaço. Devido às suas necessidades de habitat complexas, a fauna de peixes é um indicador crucial da integridade ecológica dos sistemas aquáticos em diferentes escalas (BRENTANO, 2006; MARKET *et al.*, 2003).

Danio rerio são onívoros, alimentando-se principalmente de zooplâncton e insetos, desta forma são classificados como consumidores terciários na cadeia trófica (SPENCE *et al.*, 2008).

As comunidades de peixes respondem significativamente e previsivelmente a quase todos os tipos de perturbações antrópicas, incluindo eutrofização, acidificação, poluição química, regulação do fluxo, alteração de habitat físico e fragmentação, a exploração humana e introdução de espécies (LI *et al.*, 2010).

A Figura 1.7 apresenta o organismo *Danio rerio*. Esta espécie de peixe é usada em larga escala para testes ecotoxicológicos em diversas fontes de poluentes e produtos químicos.

Figura 1.7 - Fotografia ilustrativa de um exemplar de *Danio rerio*



Fonte: <http://acquariofiliaconsapevole.it>

1.5 O uso da toxicidade no controle da qualidade das águas e efluentes

O desenvolvimento de técnicas analíticas tem permitido caracterizar os efluentes físico-quimicamente. Mudanças nas legislações recentes demandam melhor avaliação dos riscos ambientais e impactos à saúde decorrentes de todas as substâncias lançadas e da toxicidade das misturas das substâncias (CHARLES *et al.*, 2011).

Os limites da Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) foram estabelecidos baseados nos valores adotados em outros países, principalmente no Hemisfério Norte, e estes limites muitas vezes não são indicativos de poluição para os rios do Brasil, já que não foram consideradas a influência da temperatura e nem das variações sazonais e regionais no Território Nacional sobre a toxicidade em corpos d'água doce. O risco para a biodiversidade associado à aplicação de modelos desenvolvidos para regiões temperadas precisam ser avaliadas em face da realidade tropical (REIS, 2009; SILVA, 2010).

As regiões tropicais e temperadas são ecologicamente diferentes. As temperaturas mais elevadas, maior estresse hídrico para animais e plantas, atividades mais rápidas de oxi-redução, e fatores modificadores antropogênicos (por exemplo, eutrofização e desertificação) são alguns dos fatores que distinguem os ecossistemas tropicais. O desenvolvimento da ecotoxicologia nos trópicos é dependente de ferramentas apropriadas que reconheçam as complexidades biológicas locais. O ideal seria o uso de "novas" espécies de testes que sejam mais ecologicamente relevantes para os trópicos, ou a realização de testes em condições que reflitam ambientes tropicais (SILVA, 2010).

Como existem inúmeras leis, normas e resoluções que tratam da qualidade das águas e testes de ecotoxicidade no País e no exterior, e como é fácil o acesso a estas, na Tabela 1.1, estão compiladas as principais leis e normas sobre esse tema.

Tabela 1.1 - Principais, Leis, Resoluções e Normas relativas a esse trabalho.

	Ano	Título	Complemento
Resolução Federal CONAMA 357 (Brasil, 2005)	2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.	Cap.3 – Seção I, §3º. A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas. O enquadramento dos corpos hídricos deve ser realizado de acordo com o uso mais restritivo deste corpo. Desta forma, o enquadramento não deve considerar o estado atual do rio, e sim, estabelecer metas e objetivos da qualidade da água a ser, obrigatoriamente, alcançada ou mantida em um segmento de corpo hídrico, de acordo com os usos preponderantes pretendidos ao longo do tempo.
Resolução CNRH 91 (Brasil, 2008)	2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, quando os mesmos ainda não foram enquadrados pelo órgão ambiental.	Esta Resolução estabelece que, até que o enquadramento seja definido, as águas doces superficiais deverão ser enquadradas na Classe II.
NBR 15088 (ABNT, 2006)	2006	Método de Ensaio com peixes.	Esta Norma especifica um método para avaliação da toxicidade aguda de amostras de efluentes líquidos, águas continentais superficiais ou subterrâneas e substâncias químicas solúveis ou dispersas em água, para <i>Danio rerio</i> e <i>Pimephales promelas</i>
NBR 12713 (ABNT, 2009)	2009	Método de Ensaio com <i>Daphnia spp</i> (Crustácea, Cladocera).	Esta Norma especifica um método para avaliação da toxicidade aguda de amostras de efluentes líquidos, águas continentais superficiais ou subterrâneas e substâncias químicas solúveis ou dispersas em água, para <i>Daphnia similis</i> e <i>Daphnia magna</i> .
NBR 15411-3 (ABNT, 2012)	2012	Determinação do efeito inibitório de amostras aquosas sobre a emissão da bioluminescência de <i>Vibrio fischeri</i> (ensaio de bactéria luminescente).	Este ensaio é realizado com bactérias liofilizadas. As mesmas permanecem congeladas e são ativadas somente no momento da realização dos testes.
OECD (2012), Test No. 211	2012	Refere-se ao método para a determinação do efeito de produtos químicos na produção da descendência de <i>Daphnia magna</i> . A duração do ensaio é de 21 dias.	Neste teste os resultados são obtidos pelo número total de descendentes vivos produzidos por animal progenitor que não morre acidentalmente ou inadvertidamente durante o teste e o número de descendentes vivos produzidos por animal progenitor sobrevivente vivendo no final do teste são relatados.

Continuação da Tabela 1.1 - Principais, Leis, Resoluções e Normas relativas a esse trabalho.

Portaria 017 (FATMA, 2002)	2002	Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para os organismos <i>Daphnia magna</i> e <i>Aliivibrio fischeri</i> para efluentes de diferentes origens no Estado de Santa Catarina.	Dentre os efluentes que constam na Portaria, estão incluídos: Metal mecânica, alimentícia, esgotos domésticos e/ou hospitalares e resíduos urbanos.
RESOLUÇÃO 081 (CEMA, 2010)	2010	Fixa critérios e padrões de emissão relativos à toxicidade aguda e crônica de efluentes líquidos para lançamento em águas superficiais no Estado do Paraná.	Esta Resolução exige testes com organismos de três níveis tróficos diferentes para efluentes com despejo em corpos hídricos de água doce: <i>Aliivibrio fischeri</i> ; <i>Daphnia magna</i> ou <i>Ceriodaphnia dubia</i> ; <i>Scenedesmus subspicatus</i> .
NT 213 R. 04 (INEA, 1990)	1990	Estabelece critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais, utilizando testes de toxicidade com organismos aquáticos vivos, de modo a proteger os corpos d'água da ocorrência de toxicidade aguda ou crônica de acordo com a NT-202 e DZ-209, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP	Segundo a NT 213 R. 04 (INEA, 1990), não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais, em qualquer corpo receptor, com uma UT superior a 8 (oito), obtida em ensaios de toxicidade aguda realizados com peixes <i>Danio rerio</i> . Esta norma é aplicável a lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos industriais em águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, através de quaisquer meios de lançamento, inclusive a rede pública de esgoto.

Como a literatura acerca do assunto ecotoxicidade é extremamente abundante, somente algumas publicações que tratam da utilização dos organismos teste abordados neste trabalho, a título de ilustração, serão comentados a seguir:

Mendonça *et al.* (2008) tinham como objetivo verificar a toxicidade de águas residuárias. Para isso, foram coletadas amostras de 17 empresas localizadas na bacia do Rio Trancão (Portugal), os setores industriais escolhidos foram: alimentar, gráfico, laboratório, metalo-mecânico, oficinas, papel, químico, reciclagem e tratamento de superfície. Foram feitas 4 coletas em 2003 e 2004. Os testes de toxicidade foram feitos com cinco organismos, dentre eles estão a bactéria *Aliivibrio fischeri* e o microcrustáceo *Daphnia magna* (testes agudo e crônico). Os resultados foram os seguintes: 77% das empresas estudadas apresentaram amostras de águas residuárias tóxicas, destas, 29% apresentaram águas residuárias muito tóxicas. Dentre os parâmetros químicos, somente os sólidos suspensos totais, nitratos, e os metais Cr, Cu, Zn e Pb mostraram estar correlacionados com parâmetros ecotoxicológicos. Por fim, os autores concluíram que existem correlações entre a composição química e a ecotoxicidade de águas residuárias, mas não em todos os casos, já que, nesse trabalho, a indicação de potenciais problemas pela avaliação química nem sempre se traduziu em efeitos nos organismos ensaiados. O inverso também foi verificado, algumas amostras tiveram efeitos nos organismos não havendo indicação de dano pela avaliação química.

Rodrigues & Pawlowsky (2006) realizaram testes agudos com *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri* com vinte e duas amostras de resíduos pré-classificados, sendo dezessete como classe II A- não inertes e uma como classe II B- inertes. Também foram analisadas quatro amostras de drenado dos aterros de resíduos classe II A e classe II B. De acordo com as análises realizadas, os autores verificaram que todas as amostras apresentaram toxicidade para *Aliivibrio fischeri*, no entanto, para *Daphnia similis*, apenas uma amostra não foi considerada tóxica por apresentar FT igual a 1 (significa que a amostra bruta não causou efeito agudo nos indivíduos). Além disso, foi verificado que algumas amostras causaram efeito tóxico maior para *Aliivibrio fischeri*, outras para *Daphnia similis* e outras apresentaram a mesma toxicidade a ambos os organismos, indicando a diferença de sensibilidade entre os dois organismos.

Wirtz & Ratte (1999) fizeram testes crônicos com *Daphnia magna* para verificar por meio de testes (de reprodução e crescimento da população) qual o ensaio de criação era mais adequado para detectar efeitos sobre o nível da população. O composto escolhido para os testes foi um dispersante que é geralmente utilizado na produção de corantes, assim como no processo de tingimento têxtil. Primeiramente, foi verificado que a dose de 16,5 mg/L do dispersante causou a morte de 50% dos organismos do ensaio (CL50). Com esses dados, foram feitos outros testes com concentrações diferentes do dispersante. Nos testes de reprodução, o dispersante induziu a um aumento no número de descendentes de mais de duas ordens de grandeza nas concentrações de até 10,2 mg/L. No entanto, este aumento induzido em número de prole foi acoplado com a diminuição da qualidade da descendência (tamanho menor, menor peso seco, maior mortalidade, menos filhotes). Já nos testes de crescimento da população, cujo objetivo era descobrir o tamanho médio da população, o tamanho de neonatos foi significativamente reduzido a concentrações de 0,1 mg/L.

Lucheta *et al.* (2010) avaliaram a qualidade do rio Gravataí que fica no Rio Grande do Sul, da nascente até a foz, com emprego de testes com *Daphnia magna*. Amostras de sedimento de cinco pontos ao longo do Rio foram investigadas. Foram realizadas 15 coletas no período de 2006 a 2009. Foi observado efeito crônico em 88% das amostras e 23% de efeito agudo. O trabalho concluiu que, embora os padrões físico-químicos de qualidade neste rio geralmente estejam em conformidade com as normas legais, existem contaminantes presentes em pequenas doses, que causam o efeito crônico, e que variações na sobrevivência e reprodução relacionados com a época ou regime de chuvas foram observados apenas em algumas ocasiões.

Jardim *et al.* (2008) realizaram um estudo no Rio Corumbataí, que fica em São Paulo (Brasil). Nesse trabalho foram utilizados testes ecotoxicológicos agudos e crônicos com amostras de água e sedimento, para *Daphnia magna* e *Daphnia similis*. Duas amostragens de água e sedimento foram realizadas em sete pontos localizados a montante e a jusante de áreas de descarga de esgoto em quatro municípios (Analândia, Corumbataí, Rio Claro e Piracicaba). As coletas foram feitas em 2003 e 2004. Nos resultados, foi detectada toxicidade aguda para *Daphnia*

similis das amostras de água e sedimento da estação Piracicaba, na foz do rio Corumbataí. A toxicidade crônica foi identificada na água e no sedimento de todas as estações de coleta, exceto na nascente do rio, influenciando a sobrevivência, crescimento e fecundidade dos organismos-teste. Os efeitos sobre a fecundidade foram mais evidentes nas três estações de coleta que estão mais próximas da foz do rio. Efeitos crônicos em crescimento e fecundidade foram observados em todos os pontos de amostragem, exceto à montante do Rio Corumbataí, sugerindo que o sedimento nestes locais é potencialmente tóxico para esses organismos-teste. Os autores concluíram que a toxicidade que foi observada, se deu não somente pelos impactos antrópicos causados pelo esgoto bruto, mas também pelos resíduos industriais despejados no rio.

Oliveira-Filho *et al.* (2011) fizeram testes de toxicidade aguda em peixes da espécie *Danio rerio* no Lago Paranoá, em Brasília. Este lago foi escolhido por ser um lugar impactado diretamente pelo lançamento de efluentes de uma estação de tratamento de esgotos. Foram colhidas amostras de quatro pontos durante seis meses nos anos de 2007 e 2008. Nos testes realizados, não foram constatadas mortes de *Danio rerio*. Nesse estudo não foi possível a realização do cálculo de CE50, já que não houve mortes do organismo-teste nos ensaios realizados.

Grosso *et al.* (2008) fizeram um estudo nas águas do Rio Tietê, em São Paulo. Este rio é extremamente poluído, pois nele são despejados esgotos e efluentes industriais. Investigou-se a toxicidade em *Danio rerio* de 6 amostras de água do rio. Foram medidos, em um tempo de 5 a 20 minutos, a mortalidade e parâmetros comportamentais, tais como número de vezes que iam até a superfície para respirar e tremores. Verificou-se que não havia correlação entre óbito e toxicidade comportamental, e que todas as amostras de água coletadas promoveram diferentes reações ecotoxicológicas nos peixes testados. A análise mostrou que em todas as amostras houve óbito, e que este ocorreu entre 15 e 20 minutos. Nesse trabalho não foi citado valor de CE50.

Dias (2008) fez um trabalho para avaliar os efeitos resultantes de diferentes tipos de descargas orgânicas na espécie de peixe *Danio rerio*. Para a simulação das descargas, utilizou-se um efluente sintético, que reproduz, aproximadamente, a

composição de uma água residuária doméstica. Foram determinadas as CL50, por meio de testes semi-estáticos, sob condições laboratoriais controladas, ao longo de 96 horas. Outros testes também foram realizados, simulando o avanço de uma descarga ao longo do rio. Os resultados permitiram concluir que a intensidade de resposta varia diretamente com a concentração da descarga no meio. Os autores concluíram que para baixas concentrações a resposta é pouco acentuada, o que pode levar os peixes a permanecerem em situações de contaminação potencial com eventuais efeitos acumulativos.

1.6 O caso da Bacia do Rio Morto

Segundo Rosa (2002), a área da bacia de Jacarepaguá é de 301,40 km² dos quais cerca de 120 km² estão abaixo da cota 100m, constituindo então a referida baixada onde se encontram três lagunas principais, Tijuca, Jacarepaguá e Marapendi. No extremo oeste da bacia existe uma rede de drenagem na forma de espinha de peixe, a qual é formada pelo canal da Sernambetiba (Rio Morto) e canais secundários.

A Figura 1.8 apresenta o mapa do município do Rio de Janeiro onde é possível visualizar a bacia hidrográfica de Jacarepaguá, onde está situada a bacia do Rio Morto.

Figura 1.8 - Bacia hidrográfica de Jacarepaguá localizada no município do Rio de Janeiro, em destaque, bacia do Rio Morto e seus principais tributários.

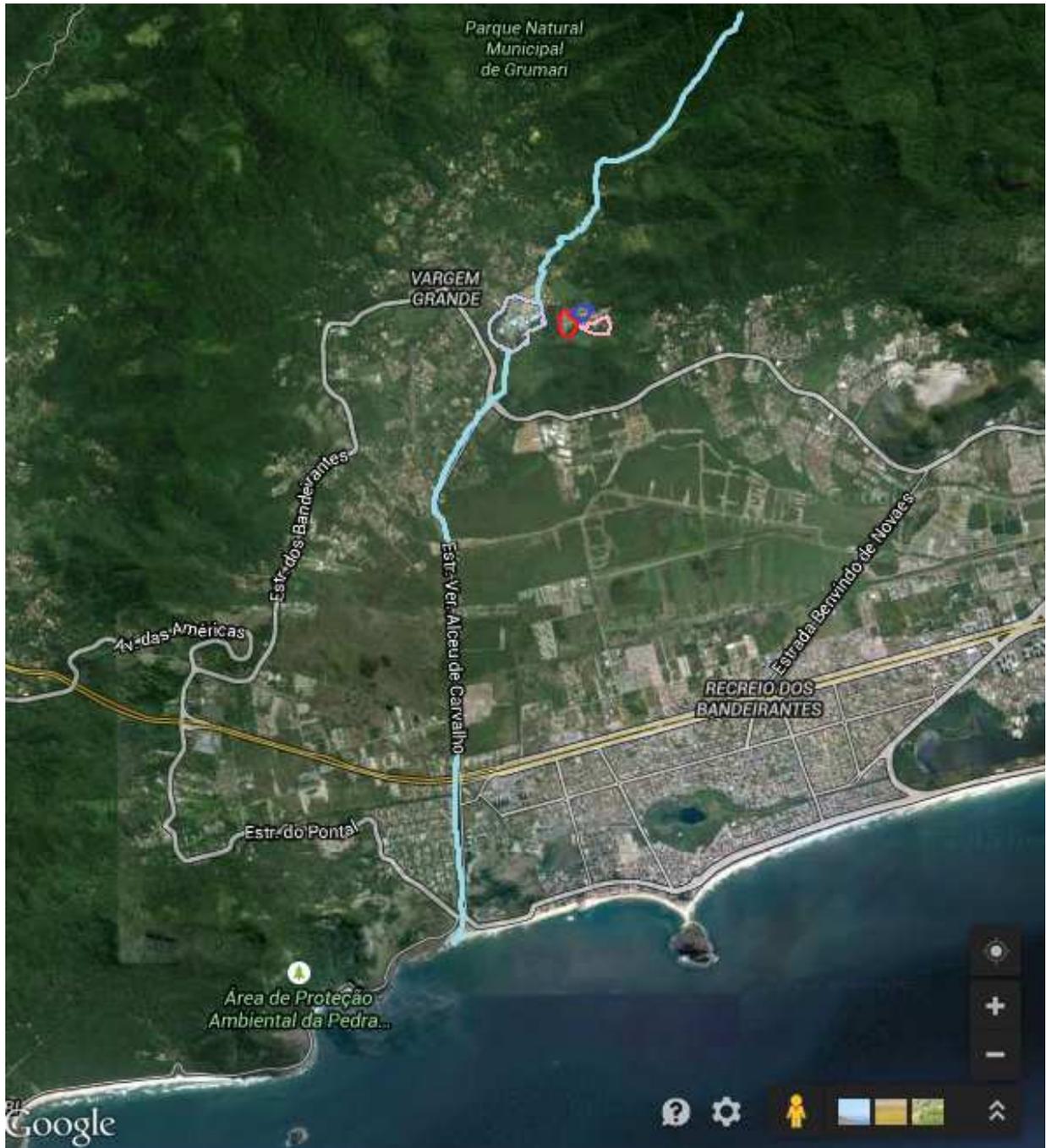


Fonte: Modificado de <http://slideplayer.com.br/slide/391407/>

Dentro da região hidrográfica da Baixada de Jacarepaguá, que foi tomada como objeto de estudo, foi selecionada na região uma pequena bacia hidrográfica de aproximadamente 9 km² representativa do contexto sócio-físico-ambiental local. Esta Bacia está localizada na região de Vargem Grande, no município do Rio de Janeiro. (GRHIP, 2015).

A Figura 1.9 apresenta o mapa do estado do Rio de Janeiro. É possível visualizar a área ocupada por Vargem Grande, que fica próxima à Vargem Pequena e Recreio dos Bandeirantes.

Figura 1.10 - Vista aérea da Região por onde o Rio Morto passa.



Fonte: Google Earth, 2015

A Figura 1.11 apresenta um mapa onde é possível visualizar o deságue do Rio Morto no Canal de Sernambetiba, e a foz do Canal de Sernambetiba no Oceano Atlântico, na Praia da Macumba.

A Figura 1.12 apresenta o Canal de Sernambetiba, que se forma a partir do encontro do rio Vargem Grande e Rio Morto e têm sua foz na Praia da Macumba, esta, voltada para o Oceano Atlântico e intensamente utilizada para lazer coletivo nos finais de semana (AMARAL *et al.*, 2013).

Figura 1.12 - Canal de Sernambetiba que segue junto à Estrada Vereador Alceu de Carvalho - Rio de Janeiro.



Fonte: Própria autora

Os impactos ambientais existentes na bacia do rio Morto são provenientes de uma junção dos seguintes fatores: condições naturais da bacia, incluindo-se relevo, clima e com este o regime de chuvas da região, e condições sócio-ambientais com a carência de infra-estrutura urbana para atender a população residente e as ocupações irregulares na região (SILVA, 2010).

A área de estudo é conhecida pelo seu sistema de drenagem composto por pequenos rios de volume reduzido. Aliado a isto, a bacia possui um relevo bastante acidentado, o que influencia nos fatores climáticos e hidrológicos. A temperatura e a precipitação sofrem influência das altitudes da bacia e a velocidade de escoamento é altamente influenciada pela declividade do terreno e dos cursos d'água (SILVA, 2010).

Por se tratar de um local de clima tropical úmido, típico do Hemisfério Sul, a maior ocorrência de chuvas se concentra em períodos de verão. Assim, verifica-se nesta época, a maior incidência de cheias e transbordamento dos rios da bacia, trazendo consigo doenças relacionadas à falta de uma rede de coleta de esgoto aos moradores, além de prejuízos aos recursos hídricos como o assoreamento progressivo das lagunas e canais, estimulado pelas pequenas declividades existentes, que reduzem a capacidade de acumulação e regulação naturais destes reservatórios (ROSA, 2002; SILVA, 2010).

Segundo a Rio-Águas, órgão da PMRJ responsável pela gestão de recursos hídricos do município, são realizados serviços de manutenção no Rio Morto com objetivo de prevenir enchentes e alagamentos. Periodicamente é realizada limpeza do espelho d'água e remoção de gigogas, com a ajuda de uma retroescavadeira sobre uma balsa, contemplando uma extensão de 1350 metros do rio, entre a sua foz e a Estrada dos Bandeirantes (www.rio.rj.gov.br).

O acelerado processo de favelização nas principais metrópoles do país, como é o caso visto na área de estudo desse trabalho, é um dos responsáveis pela grande deterioração dos rios, lagos e lagoas urbanas. Além das implicações relacionadas com a degradação dos recursos hídricos deve-se ressaltar a ligação entre a existência de grande contingente de cidadãos vivendo sem saneamento e a proliferação de doenças, sobretudo doenças infecciosas e parasitárias. É importante destacar que o estado do Rio de Janeiro tem muitos rios que não podem ser usados para consumo devido à falta de educação e à má gestão, que, aliadas, levam à poluição das águas. Para evitar falta de água potável para consumo da população, é necessário cuidar da qualidade das águas disponíveis, e não da sua quantidade, pois os graves danos ambientais prejudicam a qualidade de vida de toda a sociedade, sem distinguir ocupantes dos espaços formais e informais (GRANDELLE, 2015; CERQUEIRA & SILVA, 2007).

2. METODOLOGIA

2.1 Delineamento experimental

O presente trabalho foi desenvolvido no período de junho de 2014 a janeiro de 2015, na Bacia do Rio Morto, localizada em Vargem Grande, baixada de Jacarepaguá, no município do Rio de Janeiro, através de investigações físico-químicas e de toxicidade em 4 pontos de coleta, abrangendo tanto o corpo d'água de estudo, bem como alguns tributários de interesse, tais como o Rio Sacarrão, Rio Branco e Canal Morro do Bruno.

Esse trabalho utilizou como base, estudos desenvolvidos por Mizutori (2009), que avaliou 9 pontos de coleta na área. Porém, 2 pontos foram perdidos, pois os locais onde eram coletadas as amostras foram fechados, restando sete pontos. Para o monitoramento, nesse trabalho, foram selecionados, entre estes sete pontos, quatro locais para coleta de amostras de água, conforme descritos na Tabela 2.1 a seguir:

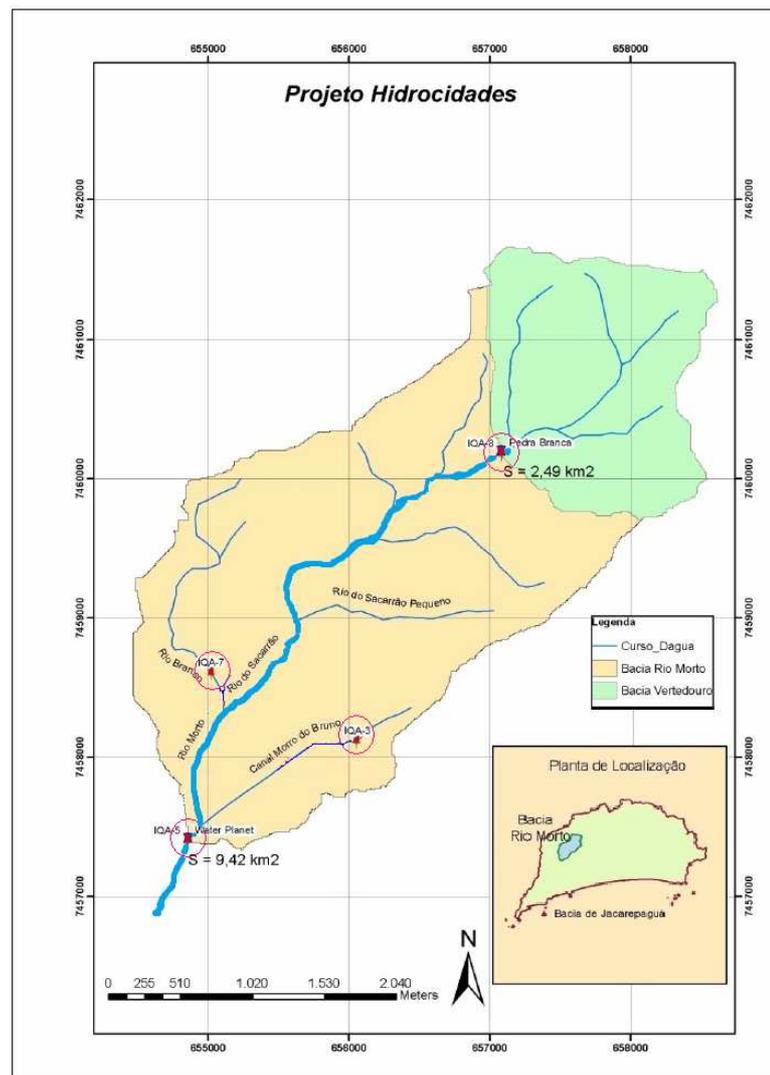
Tabela 2.1 - Descrição da localização dos pontos de coleta e data da realização das coletas.

Ponto	Descrição da Localização do ponto	Data das coletas realizadas para cada ponto
3	Nascente que dá origem ao Canal Morro do Bruno	11/06, 17/07 e 01/09.
5	Rio Morto (União do Rio Sacarrão, Rio Branco e Canal Morro do Bruno)	11/06, 17/07, 01/09, 14/11, 18/11, 28/11, 02/12, 09/12, 06/01 e 09/01.
7	Rio Branco	11/06, 17/07 e 01/09.
8	Maciço da Pedra Branca	11/06, 17/07, 01/09, 14/11, 18/11, 28/11, 02/12, 09/12, 06/01 e 09/01.

As coletas nos pontos 5 e 8 foram realizadas no período de junho de 2014 a janeiro de 2015, sendo totalizadas dez amostragens. Para os pontos 3 e 7, as coletas foram realizadas no período de junho de 2014 a setembro de 2014, pois estes pontos secaram devido à falta de chuvas, sendo totalizadas três amostragens.

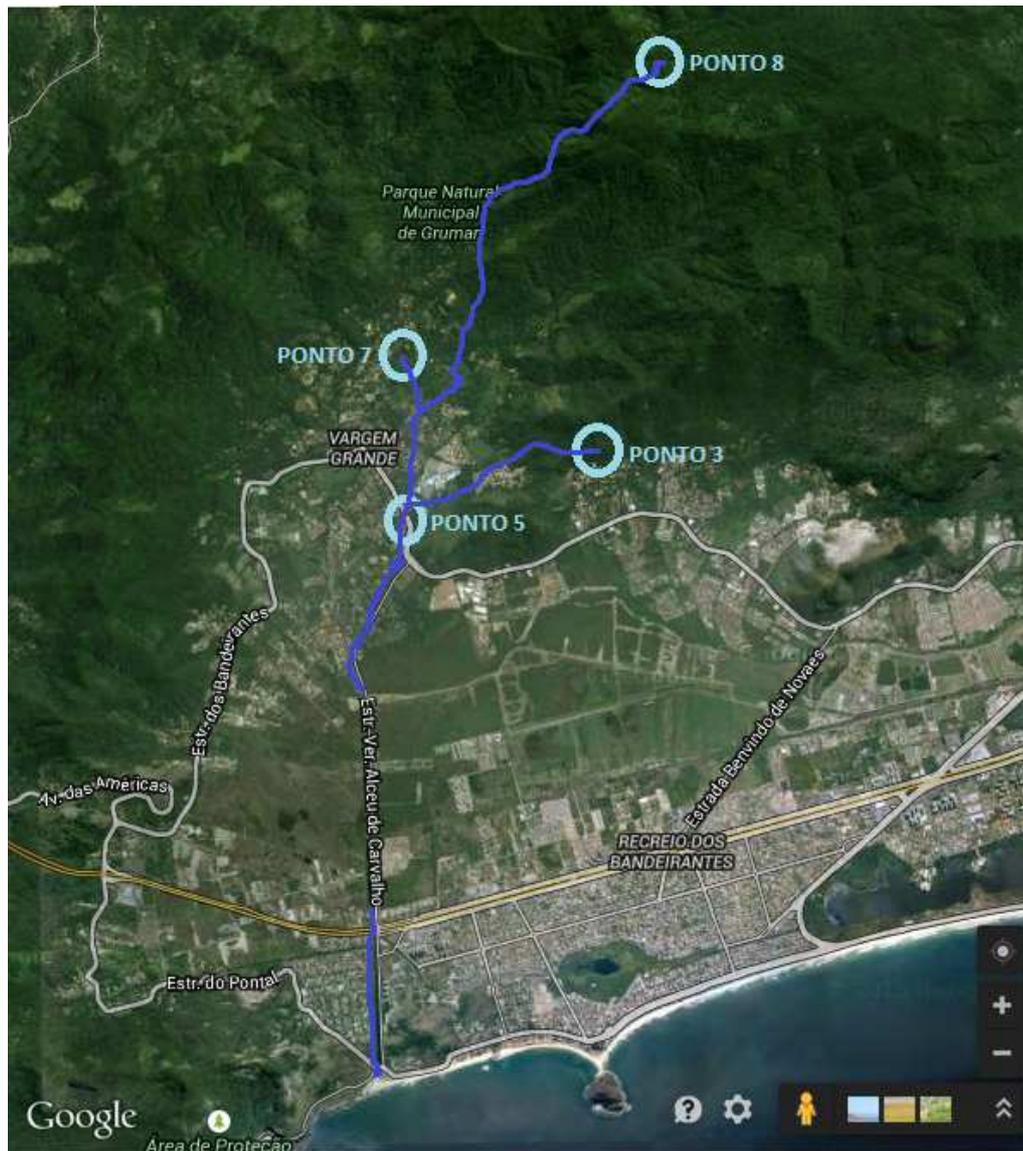
A Figura 2.1 apresenta um mapa com a marcação dos pontos onde foram realizadas as coletas que deram origem aos resultados deste trabalho. Os pontos de Coleta estão situados no Maciço da Pedra Branca (Ponto 8), Rio Branco (Ponto 7), Canal Morro do Bruno (Ponto 3) e Rio Morto (Ponto 5).

Figura 2.1 - Pontos de coleta localizados no Maciço da Pedra Branca, Rio Branco, Canal Morro do Bruno e Rio Morto.



A Figura 2.2 apresenta novamente os pontos onde foram realizadas as coletas para realização deste trabalho, nesta figura é possível visualizar a área urbanizada e a área de mata que ainda está preservada.

Figura 2.2 - Pontos de coleta localizados no Maciço da Pedra Branca, Rio Branco, Canal Morro do Bruno e Rio Morto.



Fonte: Google Earth, 2015

A Tabela 2.2 apresenta a localização geográfica dos pontos de coleta. Estas localizações foram obtidas através de GPS, por Mizutori (2009).

Tabela 2.2 - Localização geográfica dos Pontos de Coleta localizados no Maciço da Pedra Branca (Ponto 8), Rio Branco (Ponto 7), Canal Morro do Bruno (Ponto 3) e Rio Morto (Ponto 5).

Localização Geográfica dos Pontos de Coleta			
Ponto	Latitude	Longitude	Altitude (m)
3	22° 58' 40,2" S	043° 28' 58,7" W	40
5	22° 57' 05,0" S	043° 29' 22,6" W	13
7	22° 58' 22,3" S	043° 29' 16,6" W	17
8	22° 57' 32,8" S	043° 28' 04,4" W	303

Fonte: Modificado de Mizutori, 2009

2.2 Descrição dos Pontos de Coleta

2.2.1 - Ponto 3

O ponto 3 representa o Canal Morro do Bruno. Neste ponto existe uma nascente que está localizada a montante do condomínio residencial na Estrada da Cascatinha.

A moradia mais próxima deste ponto, um casebre de madeira com apenas um cômodo, cerca de 20 metros a jusante do local de coleta, é habitada por um senhor e seis (6) cães. É importante destacar que o ponto de amostragem fica a montante do local onde o senhor costuma utilizar para beber, tomar banho, cozinhar e descartar o esgoto doméstico.

Não parece haver nenhuma fonte pontual de contaminação a montante do ponto 3, e observa-se pequenas quedas d'água, o que favorece a oxigenação da água.

A Figura 2.3 apresenta o Ponto de Coleta 3. Esta foto foi tirada na 1ª Coleta realizada, em junho de 2014. Foram realizadas somente três coletas pois, a partir de novembro, o Ponto 3 secou devido à falta de chuvas.

Figura 2.3 - Local onde foram feitas as coletas no Ponto 3, antes de secar.



Fonte: Própria autora

A Figura 2.4 ilustra o momento da 2ª coleta realizada em julho de 2014 no Ponto 3.

Figura 2.4 - Segunda coleta realizada no Ponto 3, em julho de 2014.



Fonte: Própria autora

As Figuras 2.5 e 2.6 apresentam o ponto de Coleta 3, já seco, em novembro de 2014. Foram realizadas três coletas pois, em novembro, não foi mais possível coletar amostras, já que até janeiro o ponto permaneceu seco.

Figura 2.5 - Ponto de Coleta 3, já seco, em novembro de 2014. É possível visualizar em vermelho, o casebre ao fundo.



Fonte: Própria autora

Figura 2.6 - Ponto de coleta 03, já seco, a foto foi tirada em novembro de 2014, quando foi realizada a quarta coleta.



Fonte: Própria autora

2.2.2 - Ponto 5

O Ponto 5 refere-se à união entre o Rio Sacarrão, o Rio Branco e o Canal Morro do Bruno. Este trecho é paralelo à estrada dos Bandeirantes, que possui muitos estabelecimentos comerciais como restaurantes, pequenas oficinas, lojas de manutenção de eletrodomésticos entre outros.

As Figuras 2.7 e 2.8 apresentam o local onde foram efetuadas as 10 coletas, realizadas no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Figura 2.7 - Ponto de Coleta 5, nessa foto destaca-se a proximidade da Estrada dos Bandeirantes ao Rio Morto.



Fonte: Própria autora

Figura 2.8 - O Ponto de coleta 5 fica ao lado da oficina, em azul. Nessa foto destaca-se a proximidade da Estrada dos Bandeirantes ao Rio Morto.



Fonte: Própria autora

O Ponto 5 é o local mais a jusante na Bacia do Rio Morto. Foi escolhido por ficar junto a uma estação de monitoramento da extinta Fundação de Superintendência Estadual de Rios e Lagos (SERLA), a estação de monitoramento foi desativada em 2009.

Nas Figuras 2.9 e 2.10 é possível observar, no Ponto 5, tubos aéreos pertencentes às lojas e residências situadas na estrada dos Bandeirantes que lançam efluentes sem tratamento diretamente no corpo hídrico.

Figura 2.9 - Foto tirada no Ponto 5. É possível visualizar tubos aéreos descartando efluentes diretamente no rio.



Fonte: Própria autora

Figura 2.10 - Foto tirada no Ponto 5, ao lado do local onde foram realizadas as coletas. É possível visualizar tubos aéreos descartando efluentes diretamente no rio.



Fonte: Própria autora

A prática de lançamento de efluentes sem tratamento no Rio Morto não é exclusividade dos assentamentos informais, já que diversas casas e estabelecimentos comerciais localizados na estrada dos Bandeirantes adotam esta prática.

As Figuras 2.11 e 2.12 apresentam o momento de duas coletas realizadas no Ponto 5.

Figura 2.11 - Momento da primeira coleta realizada no Ponto 5 (meio do curso d'água), em junho de 2014.



Fonte: Própria autora

Figura 2.12 - Momento da oitava coleta realizada no Ponto 5 (coleta a partir da margem), em dezembro de 2014.



Fonte: Própria autora

2.2.3 - Ponto 7

O ponto 7 está localizado em frente ao condomínio vale da pedra branca e representa o Rio Branco. Este rio passa pela lateral do condomínio e segundo o síndico, todas as residências possuem fossa séptica.

No entorno do ponto de coleta é possível observar moradias, tanto de classe média quanto de pessoas carentes. Neste ponto não há sinais de queda d'água e as casas são construídas próximas as margens do rio.

As Figuras 2.13 e 2.14 apresentam o local de Coleta no ponto 7. As coletas neste ponto foram realizadas logo depois que o rio Branco passa por baixo da rua que dá acesso ao condomínio vale da pedra branca.

Figura 2.13 - Ponto de Coleta 7. Foto tirada no momento da primeira coleta, realizada em junho de 2014.



Fonte: Própria autora

Figura 2.14 - Ponto de Coleta 7. Foto tirada no momento da primeira coleta, realizada em junho de 2014.



Fonte: Própria autora

A Figura 2.15 ilustra a ação da segunda coleta de amostra realizada no Ponto 7, em julho de 2014. No total foram realizadas três coletas neste ponto, no período de junho de 2014 a setembro de 2014. Depois dessa coleta não foi possível realizar novas coletas, pois o Ponto 7 secou, devido à falta de chuvas.

Figura 2.15 - Segunda coleta realizada no ponto 7, em julho de 2014.



Fonte: Própria autora

A Figura 2.16 apresenta o ponto 7 seco, devido à falta de chuvas que ocorreu no ano de 2014 e início de 2015. A foto foi tirada no momento da quarta coleta, realizada em novembro de 2014.

Figura 2.16 - Ponto 07 seco, foto tirada em novembro de 2014, quando foi realizada a quarta coleta.



Fonte: Própria autora

2.1.4 - Ponto 8

O Ponto 8 está localizado a montante da captação da CEDAE, no maciço da Pedra Branca, onde há um tanque de decantação e mais a jusante uma estação de cloração. A escolha deste ponto se deve à expectativa de que ele represente o corpo hídrico antes de qualquer impacto antrópico.

As Figuras 2.17 e 2.18 apresentam o local de coleta no ponto 8. Este ponto está situado no maciço da Pedra Branca, a 303 metros de altitude. Para chegar a este ponto é necessário fazer uma trilha de 30 minutos a pé, por dentro do Parque

da Pedra Branca. Nesse local observam-se quedas d'água e as margens estão bem preservadas, também é possível visualizar a tubulação utilizada para a captação de água na Figura 2.18.

Figura 2.17 - Queda d'água no Ponto 8, este ponto está localizado no maciço da Pedra Branca.



Fonte: Própria autora

Figura 2.18 - Continuação do rio após a queda d'água no Ponto 8.



Fonte: Própria autora

A Figura 2.19 apresenta o momento da terceira coleta de amostras no ponto 8, em setembro de 2014.

Figura 2.19 - Terceira coleta realizada no ponto 8, em setembro de 2014.



Fonte: Própria autora

2.3 Sistemas de Coleta e preservação das amostras

As amostras coletadas para realização dos testes físico-químicos foram armazenadas em galões de plástico de 10 litros e mantidas em caixas de isopor com gelo gel durante o transporte. As amostras foram transferidas para garrafas de plástico descartáveis de 1 litro e 500 ml no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES-UERJ), onde foram preservadas em geladeira para realização dos testes físico-químicos e congeladas, para a realização dos testes de toxicidade com organismos.

As amostras coletadas para quantificação de óleos e graxas foi realizada com um vidro de boca larga, na superfície do rio, e mantidas em caixas de isopor com gelo gel durante o transporte. No Laboratório, foram preservadas em geladeira.

Os ensaios, tanto de ecotoxicidade quanto os físico-químicos, foram realizados no laboratório acima citado.

2.4 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos foram realizados segundo descritos no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2012).

A Tabela 2.3 apresenta os parâmetros físico-químicos que foram realizados nas vinte e seis amostras coletadas no período de junho de 2014 a janeiro de 2015 para a realização desse estudo e os equipamentos utilizados para tal.

Tabela 2.3 - Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização das amostras, suas respectivas metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

Parâmetros físico-químicos	Métodos	Equipamentos utilizados
pH	Método 4500 –H+ B	pHmetro Quimis modelo Q 400 AS
Condutividade (µS/cm)	Método 2510 B	Condutímetro microprocessado Quimis modelo Q 405M
		Condutímetro Tecnonon modelo mca 150
DQO (mg O ₂ /L)	Método 5220 D	Reator para digestão de DQO Hach DRB 200
		Espectrofotometro Hach DR 2800
Nitrato (mg/L)	Método 4500-NO ₃ – D	UV Spectrophotometer Shimadzu UV 1800
Nitrito (mg/L)	Método 4500-NO ₂ – B	Espectrofotômetro Hach DR 2800
Turbidez (UTN)	Método 2130 B	Turbidímetro Tecnonon modelo TB 1000
Cor verdadeira e aparente (UC)	Método 2120 D	Espectrofotômetro Hach DR 2800

Continuação da Tabela 2.3 - Parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização das amostras, suas respectivas metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

COD (mg/L)	Método 5310	TOC - V CPN Shimadzu total organic carbon analyzer
Óleos e graxas (mg/L)	Método 5520 B	Bateria de extração por solvente modelo Q 308 - 16B
		Balança Denver modelo AA250
Nitrogênio Amoniacal (Mg NH ₃ /L)	Método 4500-NH3 D	Multiparâmetro Orion modelo 290 A+
Série sólidos (mg/L)	Métodos 2540 B, 2540 C, 2540 D, 2540 E, 2540 F, 2540 G	Balança Denver AA-250
		Placa de aquecimento Quimis Q 313 F11
		Estufa de secagem universal Fabbe-Primar modelo 219
		Forno mufla Quimis modelo Q 318 M24

Série sólidos: Sólidos Totais (ST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), sólidos voláteis fixos (SVF), sólidos sedimentáveis (SD), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDF).

2.5 Obtenção dos organismos utilizados nos ensaios de toxicidade

Os organismos foram adquiridos por diferentes formas:

As bactérias luminescentes *Aliivibrio fischeri* foram adquiridas comercialmente em forma liofilizada, por uma empresa revendedora certificada (Ambriex), sendo transportadas para o laboratório em isopor com gelo seco. Ao chegar ao laboratório,

foram armazenadas no freezer a -20°C até o momento do uso. Não foi necessário o cultivo em laboratório

Os microcrustáceos *Daphnia similis* foram cultivados no laboratório, segundo metodologia descrita em NBR 12713 (ABNT, 2009). No cultivo de *Daphnia similis* no laboratório foram usados frascos de 2L com água preparada, chamada de água de cultivo (água mineral com ajustes de parâmetros). Além dos ajustes de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e dureza, a cultura foi mantida com a temperatura controlada ($20^{\circ}\text{C} \pm 2$), em fotoperíodo (16 horas de luz e 8 horas de escuro) e com iluminação controlada (500-1000 lux). Cada frasco foi composto por 50 organismos, em média.

Os peixes *Danio rerio* foram comprados, em tamanhos adequados (em torno de 2 cm), sem a presença de deformações, sempre por um mesmo fornecedor com certificação. *Danio rerio* não foi cultivado no LES, mas passou por um período de aclimação de sete dias antes dos ensaios. A água foi preparada com parâmetros ajustados ideias para sobrevivência, tais como pH, oxigênio dissolvido, condutividade, dureza e temperatura. Assim, era observada a presença ou não de mortalidade nesse período a fim de descarte ou uso do novo lote de peixes.

2.6 Ensaios de Ecotoxicidade

Foram realizados ensaios ecotoxicológicos agudos com três organismos de níveis tróficos diferentes: a bactéria luminescente *Aliivibrio fischeri*, o peixe *Danio rerio*, e o microcrustáceo *Daphnia similis*, em todas as amostras coletadas.

Foram realizados também ensaios de toxicidade crônica com o microcrustáceo *Daphnia similis* nas amostras coletadas nos Pontos 5 e 8.

2.6.1 - Ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*

Para a realização dos ensaios com *Aliivibrio fischeri* foi utilizada a Norma Técnica NBR 15411-3 (ABNT, 2006) e o protocolo “Basic Test” do manual do equipamento Microtox da SDI.

Foi determinada a taxa de inibição metabólica de bactérias marinhas liofilizadas à amostra pura (100%) durante determinado período. Para determinar o efeito tóxico da amostra, o *software* fez a comparação com a amostra controle em função da luz emitida, que é menor quanto maior a toxicidade da amostra. A solução de reconstituição (solução utilizada para ressuspensão das bactérias) foi pipetada na câmara de resfriamento e o diluente nos compartimentos a 15° C, e assim permanecia estabilizando a temperatura por 15 minutos.

Primeiramente, ocorria a leitura no tempo zero, que era uma leitura da luminescência das bactérias sem a presença da amostra. Após essa primeira leitura, a amostra bruta era então transferida para as cubetas onde estavam as bactérias. As leituras foram realizadas nos tempos de 5, 15 e 30 minutos, porém, somente as leituras no tempo de 30 minutos foram utilizadas nos resultados. Neste teste não foram feitas diluições da amostra. Para a validação do ensaio com bactérias luminescentes, a porcentagem de inibição de luz no controle não deveria exceder 20%.

Os resultados de toxicidade foram expressos com valores de toxicidade relativa da amostra, esta é expressa como a porcentagem de inibição de luminescência comparada ao controle.

A Figura 2.20 apresenta o equipamento Microtox SDI, 500 Analyser; utilizado nos ensaios agudos com a bactéria *Aliivibrio fischeri*.

Figura 2.20 - Equipamento Microtox SDI, 500 Analyser.



Fonte: Própria autora

2.6.2 - Ensaio de toxicidade aguda com *Daphnia similis*

Os ensaios agudos com *Daphnia similis* foram realizados segundo a Norma NBR 12713 (ABNT, 2009). Foram obtidos indivíduos jovens, neonatos (6-24 horas de idade) de *Daphnia similis* provenientes de uma cultura de fêmeas, cultivadas no Laboratório de Engenharia Sanitária - LES. Estes organismos foram expostos às amostras, durante 48 horas, em incubadora com temperatura controlada a $20^{\circ}\text{C}\pm 2$, em fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro. No dia anterior ao ensaio, todos os béqueres da cultura eram limpos, e os filhotes retirados. Na manhã seguinte, os neonatos eram separados dos adultos e mantidos em meio de cultivo por, no mínimo, 6h, até o início do teste.

Foram colocados 5 organismos em cada tubo aferidos a 10 mL em quatro replicatas, assim como a amostra-controle (água de cultivo com condições ideais para a manutenção e reprodução das daphnias). Antes do teste, foi preciso medir o

pH, o oxigênio dissolvido, a condutividade e a dureza da água de cultivo e alguns parâmetros da amostra bruta (pH, condutividade e oxigênio dissolvido).

Ao fim do ensaio, foi determinado o número de organismos imóveis e medidos o oxigênio dissolvido e o pH final das amostras. Para validação dos dados, a mortalidade/mobilidade do grupo controle não deveria exceder 10%. Os testes foram realizados com quatro diluições das amostras: 50%, 25%, 12,5% e 6,25%, além da amostra bruta (100%).

Os resultados de toxicidade foram expressos em tóxicos ou não tóxicos, já que os testes foram realizados somente com amostras brutas (sem diluições).

A Figura 2.21 apresenta os tubos de ensaio utilizados no teste agudo realizado com *Daphnia similis* na incubadora. Neste teste, em cada tubo de ensaio contém 5 indivíduos, e são feitas 4 réplicas de cada diluição e da amostra-controle.

Figura 2.21 - Ensaio agudo com *Daphnia similis* dentro da incubadora.



Fonte: Própria autora

2.6.3 - Ensaio de toxicidade crônica com *Daphnia similis*

Os ensaios crônicos com *Daphnia similis* foram realizados baseados no método de ensaio: Test No. 211 (OECD, 2012). Foram obtidos indivíduos jovens, neonatos (6-24 horas de idade) de *Daphnia similis* provenientes de uma cultura de fêmeas. O objetivo do teste crônico para *Daphnia similis* é avaliar a reprodução no período de 21 dias. Estes organismos foram expostos a amostra bruta (sem diluição) e suas diluições (50%, 25%, 12,5% e 6,25%), durante 21 dias, em temperatura $20^{\circ}\text{C}\pm 2$, em fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro.

No dia anterior ao ensaio, todos os béqueres da cultura foram limpos, e os filhotes retirados. Na manhã seguinte, os neonatos foram separados dos adultos e mantidos em meio de cultivo por, no mínimo, 6h, até o início do teste.

Foram colocados 1 organismo em cada béquer com 20mL da amostra bruta, assim como suas diluições e a amostra-controle (água de cultivo com condições ideais para a manutenção e reprodução das daphnias). Antes do teste, foi preciso medir o pH, o oxigênio dissolvido, e a temperatura da amostra-controle, assim como das amostras.

A Figura 2.22 apresenta os béqueres com as amostras em diferentes diluições para a realização do teste crônico. A cada dois dias as amostras eram renovadas e os organismos eram transferidos para seus respectivos béqueres.

Figura 2.22 - Béqueres com as amostras em diferentes diluições e os organismos-teste, prontos para serem colocados na incubadora.



Fonte: Própria autora

Cada béquer tinha uma identificação, para que, no momento da troca das daphnias adultas, as mesmas fossem colocadas exatamente em seus respectivos testes. A Figura 2.23 ilustra um béquer pronto para receber a amostra. A identificação era feita de acordo com o número da réplica (de 1 a 10, já que eram realizadas 10 réplicas), a porcentagem da diluição e o número de cadastro da amostra (cadastro no LES). A identificação da réplica era extremamente importante, já que os filhotes eram contabilizados de acordo com cada progenitora individualmente.

Figura 2.23 - Béquer pronto para receber a amostra.



Fonte: Própria autora

As amostras foram renovadas toda segunda, quarta e sexta-feira. As amostras ficavam congeladas no freezer em garrafas individuais de 500ml até o dia anterior à renovação da amostra, quando uma garrafa era retirada para descongelar em temperatura ambiente. Os béqueres eram preenchidos a 20ml com as amostras e suas diluições, assim como a amostra-controle. A daphnia adulta era então transferida para o béquer com a amostra nova, exatamente a mesma amostra, mesma diluição e mesma numeração da réplica. Sempre que era feita a renovação da amostra eram contabilizadas as mortes/mobilidades dos adultos e a quantidade de filhotes em cada béquer. As mobilidades eram contabilizadas da seguinte forma: O béquer era agitado lentamente e a daphnia visualizada por alguns segundos, caso ela expressasse qualquer movimento, era transferida para o béquer com a amostra renovada, caso ela não expressasse movimento, era contabilizada como imobilidade/mortalidade.

A Figura 2.24 apresenta a caixa de luz utilizada para visualizar *Daphnia similis* durante o teste crônico. Como os organismos são muito pequenos, a caixa de luz auxiliava na visualização dos mesmos. Também é possível visualizar a identificação feita nos béqueres.

Figura 2.24 - Caixa de luz e béqueres utilizados no teste crônico com *Daphnia similis*.



Fonte: Própria autora

Ao fim de cada renovação de amostra do ensaio, a mobilidade/mortalidade foi determinada pelo número de organismos imóveis e a capacidade de reprodução, pelo número total de filhotes obtidos nos cultivos individuais. Foram também medidos o oxigênio dissolvido e o pH final das amostras. Para assegurar a validade do teste é necessário que o controle do mesmo apresente pelo menos 80% de sobrevivência das daphnias adultas, ou seja, 80% das daphnias com longevidade de 21 dias (TERRA E FEIDEN, 2003).

As quatro diluições foram feitas somente para as amostras das Coletas: 1 (11/06/2014), 3 (01/09/2014) e 4 (14/11/2014), para os pontos 8 e 5; e coleta 5 (18/11/2014) somente para o ponto 5. Nas coletas 2 (17/07/2014), 6 (28/11/2014), 7 (02/12/2014), 8 (09/12/2014), 9 (06/01/2015) e 10 (09/01/2015) os testes crônicos foram realizados somente com amostra bruta (100%).

Os resultados desse teste foram expressos em tóxicos ou não tóxicos.

2.6.4 - Ensaio de toxicidade aguda com *Danio rerio*

O ensaio com peixes foi realizado segundo metodologia descrita na norma NBR 15088 (ABNT, 2004).

Após o período de aclimação e aprovação do lote, foram colocados 10 peixes, com média de tamanho de 2 cm, em cada béquer de amostra bruta, (sem réplica) e 10 peixes no controle. O volume total de amostra em cada béquer era de 1L, os béqueres utilizados eram de 5L.

O teste foi realizado em temperatura ambiente (23°C a 27°C), em bancadas no LES separadas exclusivamente para a realização desses testes, por 48 horas. Os parâmetros pH, oxigênio dissolvido e temperatura foram medidos no início do teste, 24 e 48 horas depois. Os peixes não foram alimentados durante o teste, e ao final observou-se a mortalidade total. No fim do ensaio, para validação dos dados, a mortalidade do grupo controle não deveria exceder 10%. Neste teste não foram feitas diluições da amostra.

Para *Danio rerio*, os resultados foram apresentados como tóxico ou não tóxico, já que os testes foram realizados somente com amostras brutas (sem diluições).

2.7 Dados pluviométricos

Foram utilizados dados pluviométricos de estações da Prefeitura do Rio de Janeiro. Estes dados estão disponíveis no site <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. As estações consideradas foram: Guaratiba para o Ponto 8 e Barra / Riocentro para os pontos 3, 5 e 7. Foram analisados os dados dos últimos dez anos, para que pudesse ser feita a média mensal, e comparação com o ano de 2014.

2.8 Testes Estatísticos

As análises de dados realizados para expressar os resultados da reprodução nos testes crônicos com *Daphnia similis* foram calculadas com o Programa computacional TOXSTAT 3.3. Os resultados expressos apresentam o CEO - Menor Concentração de Efeito Observado e o CENO - Maior concentração de Efeito não Observado.

O Programa estatístico TOXSTAT é fornecido pela Universidade de Wyoming. Neste programa são considerados os dados de cada concentração do ensaio que não afetam a sobrevivência. No programa são inseridos os resultados da reprodução de cada organismo do Controle, assim como das amostras testadas.

Dentro do programa existe a opção de escolher diferentes tipos de testes. O teste escolhido para o cálculo dos dados nesse trabalho foi o teste T de Bonferroni. Pelo Teste T de Bonferroni, é possível estabelecer uma comparação entre os valores de reprodução das amostras testadas e os valores de reprodução dos controles para cada teste realizado. Esse teste apresenta precisão de respostas quando os números de repetição são diferentes e fornece alto grau de discriminação, informando, caso exista, os valores de CEO e CENO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho serão apresentados e discutidos neste capítulo, de modo a caracterizar a qualidade e a ecotoxicidade das águas fluviais na bacia do Rio Morto em Vargem Grande, Jacarepaguá, Rio de Janeiro.

3.1 Qualidade das águas coletadas na Bacia do Rio Morto

Para caracterização da qualidade das águas foi adotada a abordagem baseada na comparação dos valores dos parâmetros observados com os que constam da classificação em classes de uso, segundo a resolução vigente no país: CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

Como ainda não existe uma classificação feita nos rios desta bacia, pelo órgão Ambiental, este trabalho seguirá a Resolução Nº 91 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2008). Esta Resolução estabelece que, até que a autoridade outorgante estabeleça a classe correspondente, poderá ser adotada, para as águas doces superficiais, a classe 2.

A Tabela 3.1 indica os valores dos parâmetros físico-químicos referentes à Classe 2 das águas doces, segundo a Resolução vigente, CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

Tabela 3.1 – Padrões de qualidade das águas estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

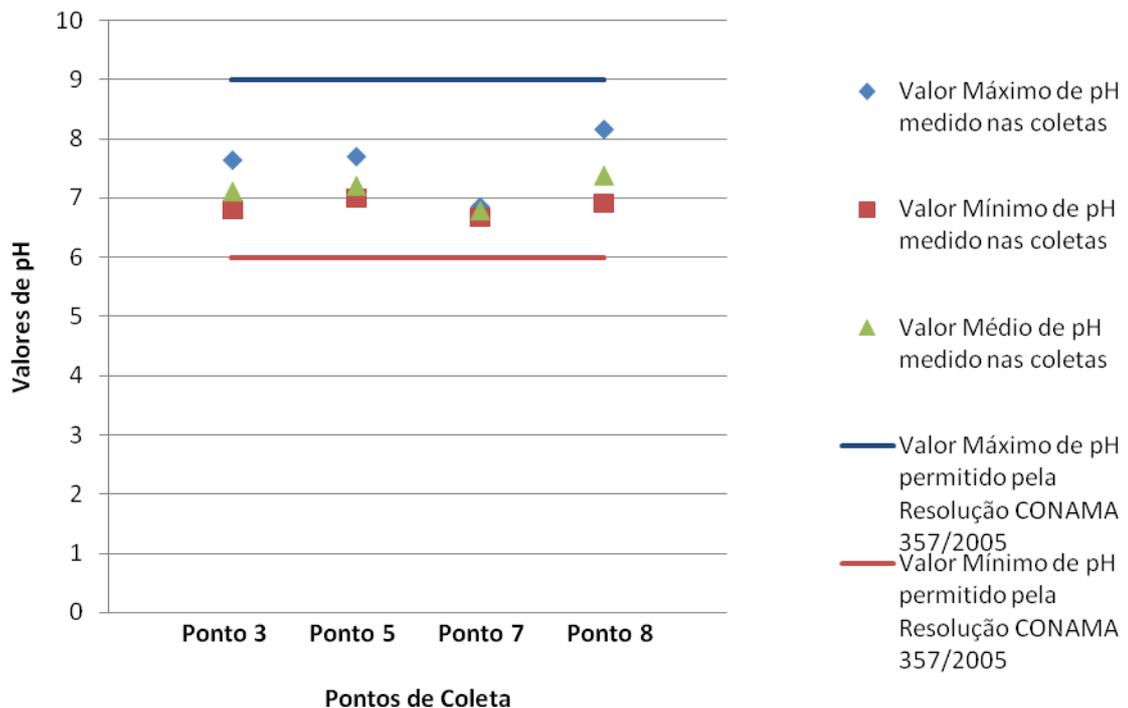
Cor Verdadeira	Turbidez	SDT	Nitrato	Nitrito	pH	Óleos e graxas
75 UC	100 UTN	500 mg/L	10 mg/L	1 mg/L	6 a 9	Virtualmente ausentes

O Anexo I apresenta os valores dos parâmetros físico-químicos obtidos referentes às coletas nos Pontos 3, 5, 7 e 8, inseridos na Bacia do Rio Morto e em seus principais contribuintes, Rio Sacarrão, Rio Branco e Canal Morro do Bruno, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

3.1.1 pH

A Figura 3.1 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de pH nas amostras de água coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), o valor máximo permitido para pH na Classe 2 das águas doces é 9 e o valor mínimo é 6.

Figura 3.1 – Valores de pH das amostras de água coletadas na Bacia do Rio Morto e os valores permitidos, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

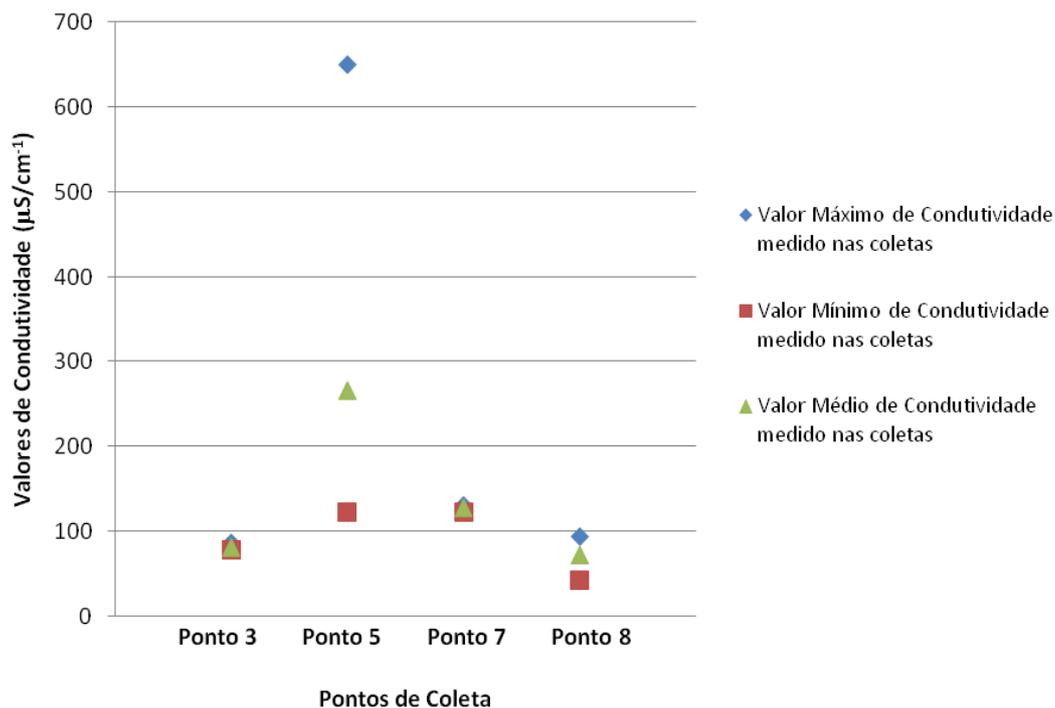


O parâmetro pH mostrou pouca alteração entre os quatro pontos analisados, nas 26 amostras coletadas, todas tiveram resultado de pH dentro do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). A importância desse parâmetro é significativa pois oferece indícios sobre a qualidade hídrica, o tipo de solo percorrido pela água e o tipo de poluição química da mesma, se ácida ou básica. O pH influencia diretamente na fisiologia de diversas espécies e indiretamente contribui para a precipitação de elementos tóxicos como metais pesados, assim como pode exercer efeitos na solubilidade de alguns nutrientes.

3.1.2 – Condutividade

A Figura 3.2 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de Condutividade nas amostras de água coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Figura 3.2 - Valores de Condutividade das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.

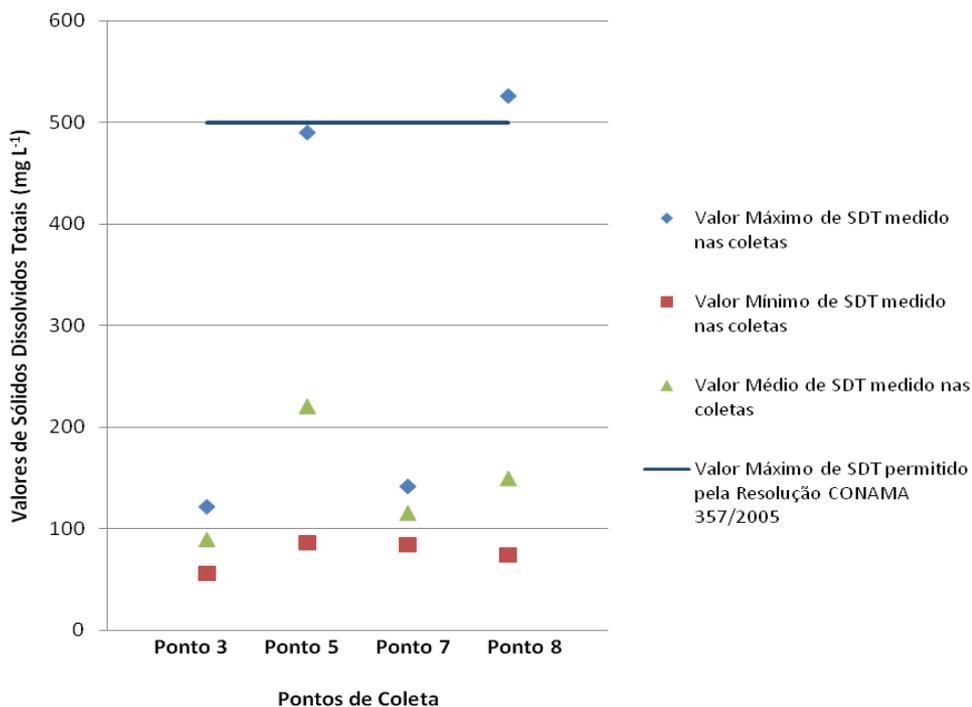


A Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) não estabelece um valor máximo para condutividade, porém, estes dados podem representar uma medida indireta da concentração de poluentes. Todos os resultados para condutividade das 10 coletas realizadas no ponto 5 e nas 3 coletas realizadas no ponto 7 deram acima de $100\mu\text{S}/\text{cm}$, em geral, níveis superiores a $100\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados (CESTESB, 2015).

3.1.3 – Sólidos Dissolvidos Totais SDT

A Figura 3.3 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de sólidos dissolvidos totais nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), o máximo permitido para o parâmetro SDT para a Classe 2 das águas doces é de $500\text{mg}/\text{L}$.

Figura 3.3 – Valores de sólidos dissolvidos totais das amostras de água coletadas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).



Somente na última coleta, no ponto 8, o parâmetro SDT atingiu o valor 526mg/L, sendo este resultado maior do que o permitido, segundo o enquadramento do rio na Classe 2 de águas doces na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). O parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais é importante, uma vez que quanto maior a quantidade de sólidos na água, maior o valor da condutividade (CETESB, 2015).

3.1.4 – DQO

Nesse estudo não foi possível determinar a DQO de todas as amostras coletadas. Como a DQO medida foi muito baixa, não foi possível avaliar com precisão os resultados com a metodologia disponível no LES.

A Tabela 3.2 apresenta os valores de DQO que foram possíveis de serem determinados. Somente foi possível alcançar resultado do valor de DQO no ponto 3, na 1ª coleta realizada em 11/06/2014 e no ponto 5, nas coletas 5 e 9, realizadas em 18/11/2014 e 06/01/2015, respectivamente.

Tabela 3.2 - Valores de DQO das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.

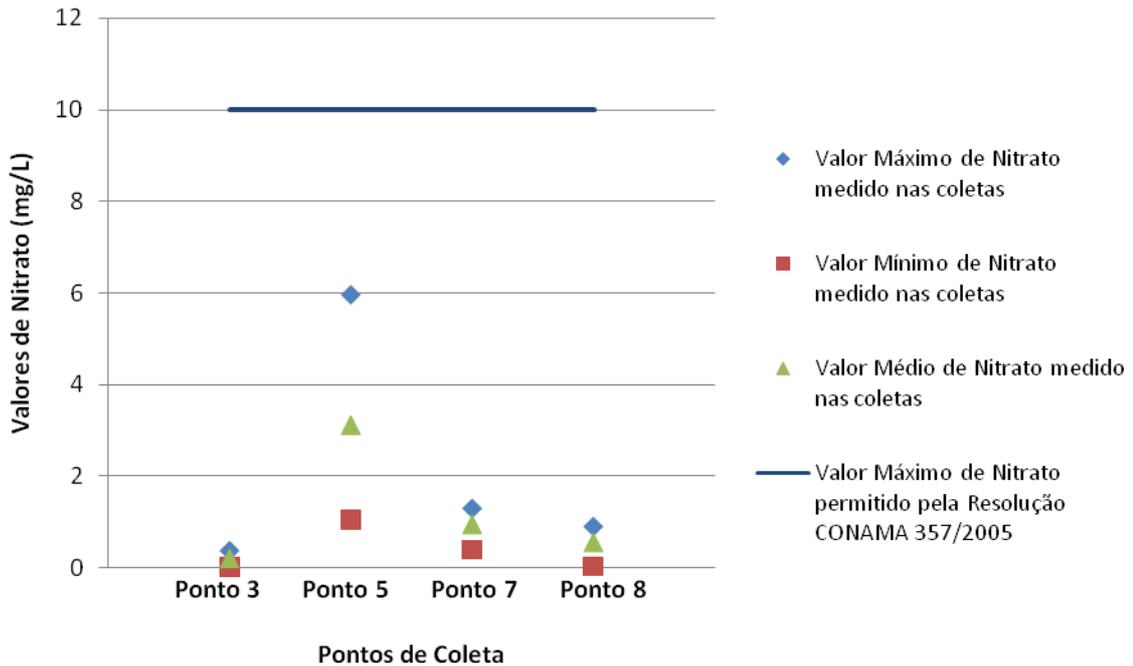
Coleta	Data	Ponto de Coleta	Valor de DQO
1	11/06/2014	3	6mg O ₂ /L
5	18/11/2014	5	2,5mg O ₂ /L
9	06/01/2015	5	10mg O ₂ /L

3.1.5 – Nitrato

A Figura 3.4 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de nitrato nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA

357/2005 (Brasil, 2005), o máximo permitido para o parâmetro na Classe 2 das águas doces é de 10 mg/L.

Figura 3.4 – Valores de nitrato das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).



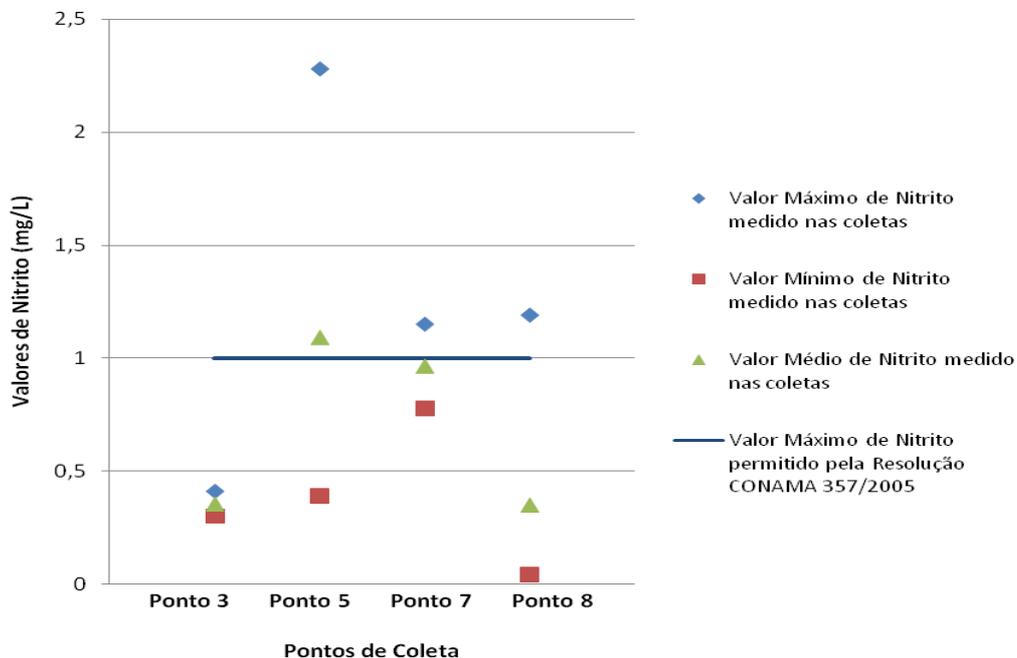
Os resultados do parâmetro nitrato encontraram-se abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). O nitrato está inserido em uma série de nitrogênio, que inclui também nitrito, nitrogênio Orgânico e nitrogênio Amoniacal. Estes valores são importantes, pois, através desta série, é possível associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. Nas zonas de autodepuração natural em rios, encontra-se na zona de degradação predominância de nitrogênio orgânico; na zona de decomposição ativa a predominância é de nitrogênio amoniacal; na zona de recuperação a predominância é de nitrito e na zona de águas limpas a predominância é de nitrato. Isso quer dizer que, caso seja coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância de nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal, o foco de poluição se encontra próximo; se

prevalecerem o nitrito e o nitrato, o foco de descargas de esgotos se encontra distante (CETESB, 2015).

3.1.6 – Nitrito

A Figura 3.5 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de nitrito nas amostras de água coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), o máximo permitido para o parâmetro na Classe 2 das águas doces é de 1 mg/L.

Figura 3.5 – Valores de Nitrito das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).



Nitrito, em algumas ocasiões, deu valor maior do que o permitido segundo a resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), de acordo com a classificação do rio na Classe 2 de águas doces. Isso significa que, nestes momentos, há possibilidade desses pontos estarem inseridos em um provável local de zona de recuperação.

A Tabela 3.3 apresenta os valores de nitrito maiores que o permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). As amostras que não foram enquadradas foram coletadas no Ponto 5, nas coletas 9 e 10, realizadas em 06/01/2015 e 09/01/2015, respectivamente; no Ponto 7, na 1ª coleta realizada em 11/06/2015 e no Ponto 8, também na 1ª coleta realizada em 11/06/2015.

Tabela 3.3 - Valores de nitrito que não se enquadraram na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), onde o valor máximo estabelecido é de 1 mg/L.

Coleta	Data	Ponto de Coleta	Valor de Nitrito
9	06/01/2015	5	2,28 mg/L
10	09/01/2015	5	1,23 mg/L
1	11/06/2015	7	1,15 mg/L
1	11/06/2015	8	1,19 mg/L

Em apenas um caso (Coleta 9 no Ponto 5), o nível de nitrito excedeu significativamente o limite fixado. As demais amostras indicadas na Tabela 3.3 apresentaram níveis de nitrito que excedem o limite em percentuais inferiores a 25%.

3.1.7 – Nitrogênio Amoniacal

Os valores de nitrogênio Amoniacal nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015 ficaram abaixo de 1 (o limite de quantificação do método realizado para essa análise, no LES, vai de 1 a 1000mg/L). Por isso, não foi possível obter valores para este parâmetro.

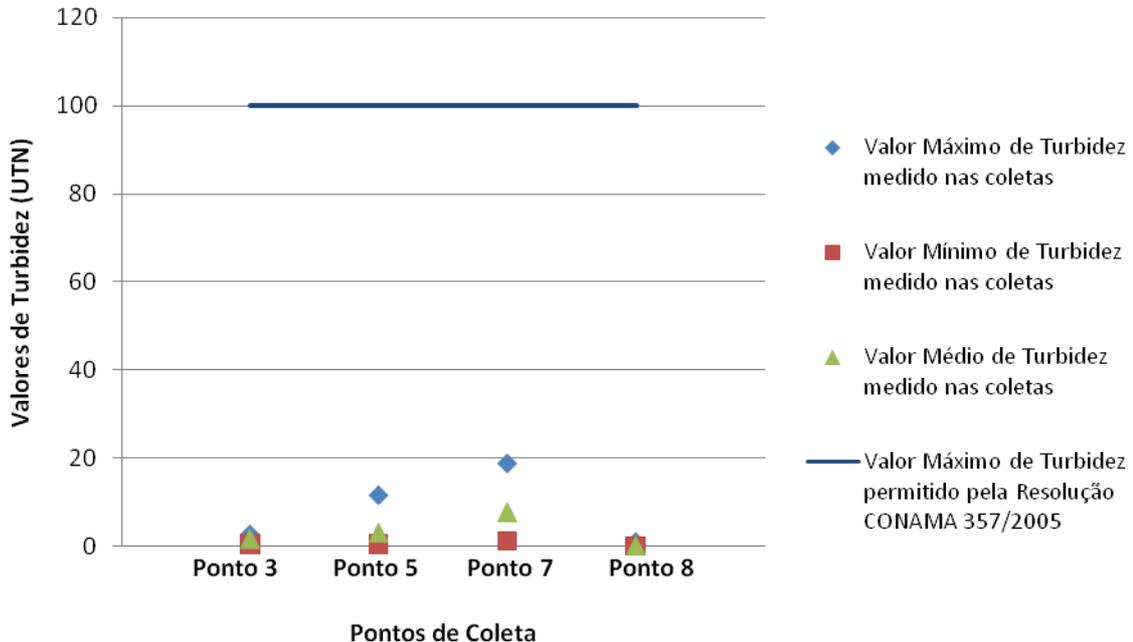
Esse é um resultado interessante, na medida em que o nitrogênio Amoniacal, especialmente na forma não ionizada, é tóxico para a fauna aquática, mesmo

quando em baixas concentrações. O pH observado próximo da neutralidade, por sua vez, assegura que a forma não ionizada é praticamente inexistente.

3.1.8 – Turbidez

A Figura 3.6 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de turbidez nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), o máximo permitido para turbidez na Classe 2 das águas doces é de 100 UTN.

Figura 3.6 – Valores de Turbidez das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

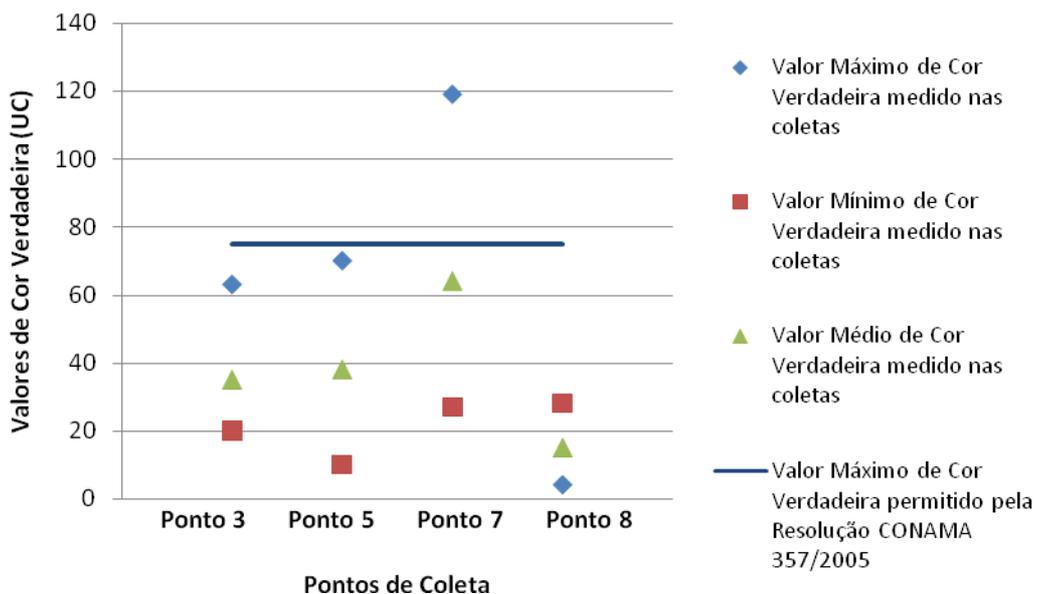


Todos os resultados de turbidez se encontraram dentro do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). O parâmetro turbidez é importante, uma vez que o aumento desta reduz as taxas de fotossíntese influenciando na produção primária (algas), e, conseqüentemente, o oxigênio dissolvido na água.

3.1.9 - Cor verdadeira e Cor aparente

A Figura 3.7 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de Cor Verdadeira nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), o máximo permitido para Cor verdadeira na Classe 2 das águas doces é de 75 UC.

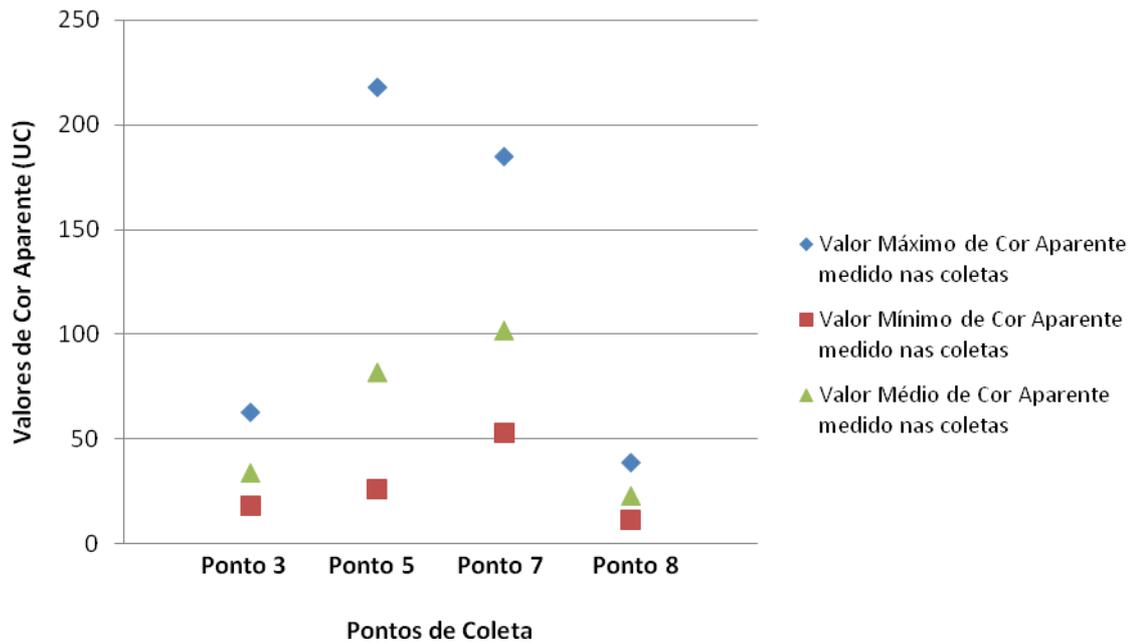
Figura 3.7 – Valores de cor verdadeira das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto e o valor máximo permitido, para este parâmetro, pela Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).



Somente na 1ª Coleta, realizada em 11/06/2014, no ponto 7 a cor verdadeira atingiu valor de 119 UC, sendo este resultado maior do que o permitido, segundo a classificação do rio na Classe 2 de águas doces.

A Figura 3.8 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de cor aparente nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Figura 3.8 – Valores de Cor aparente das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.

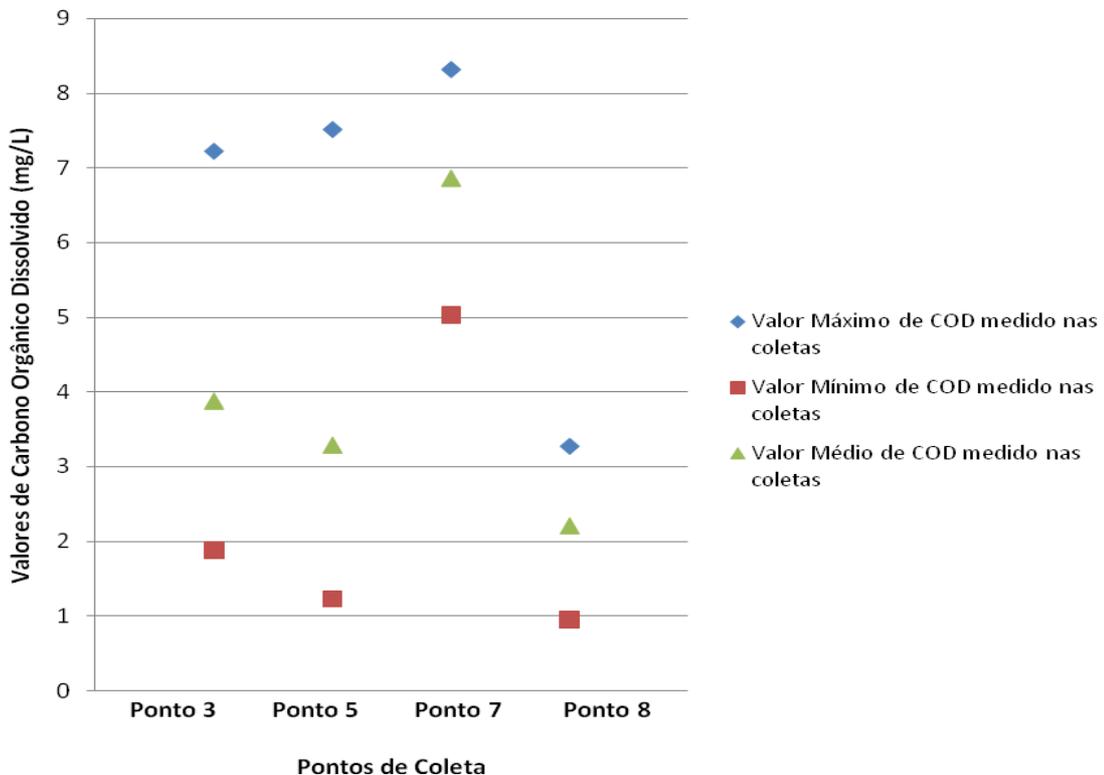


Não existe um valor estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) para cor aparente. Apesar disso, o resultado dessa análise é importante, pois a cor aparente se refere à determinação de cor em amostras com turbidez (com material coloidal ou em suspensão).

3.1.10 – COD - Carbono Orgânico Dissolvido

A Figura 3.9 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de carbono orgânico dissolvido nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Figura 3.9 – Valores de COD das amostras de água coletas na bacia do Rio Morto.



Não existe um valor estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) para COD, porém, o resultado dessa análise é importante, pois o carbono orgânico em água doce origina-se da matéria orgânica. Sua importância ambiental deve-se ao fato de servir como fonte de carbono para bactérias, além de ser um indicador útil do grau de poluição do corpo hídrico (CETESB, 2015).

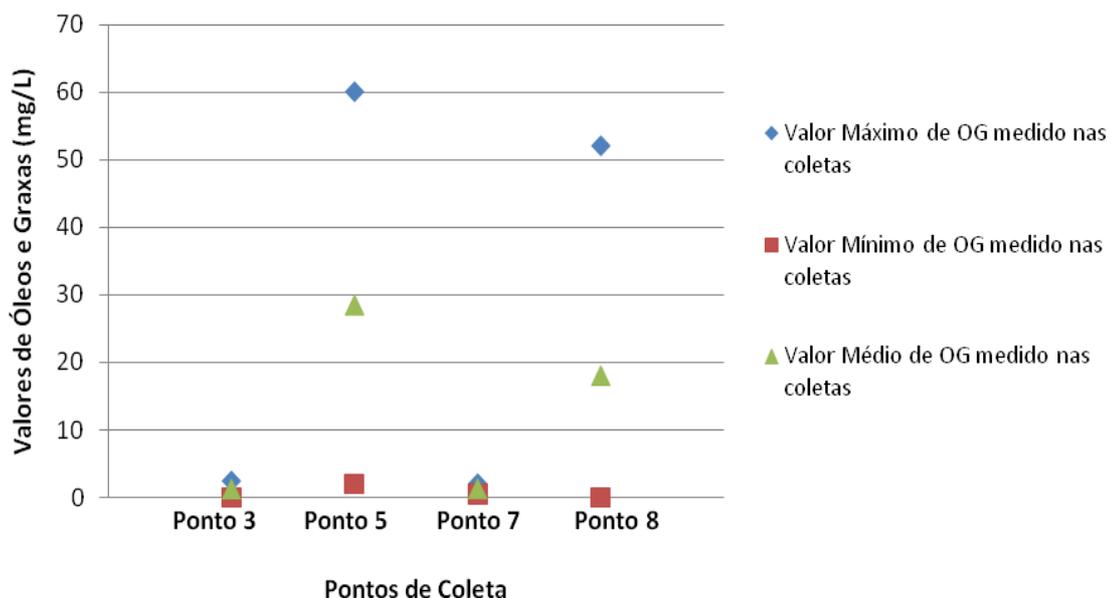
Os valores de COD encontrados nesse trabalho provavelmente tiveram sua origem de matéria orgânica natural (material em decomposição), já que os valores encontrados foram relativamente baixos.

Os valores relativamente baixos de COD (na faixa de 1 a 8,5 mg/L), deveriam corresponder a valores de DQO maiores do que os indicados na Tabela 3.2. É sabido da literatura, que a razão DQO/COD em águas naturais, geralmente se situa entre 3 e 7. Logo, os valores encontrados para DQO nesse trabalho, possivelmente sofreram alguma alteração, que pode ter sido gerada durante o transporte das amostras, estocagem no laboratório ou até mesmo erro de análise.

3.1.11 - Óleos e graxas

A Figura 3.10 apresenta os valores máximo, mínimo e a média dos valores de óleos e graxas nas amostras de água coletadas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na bacia do Rio Morto no período de junho de 2014 a janeiro de 2015. Segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), óleos e graxas devem ser visualmente ausentes para a Classe 2 de águas doces.

Figura 3.10 – Valores de Óleos e graxas das amostras de água coletas na Bacia do Rio Morto.



No momento das coletas realizadas no Ponto 5 (nas 10 coletas), foi possível visualizar óleos no decorrer do rio Morto. Nos pontos 3, 7 e 8, visivelmente, não foi

possível visualizar OG, mas de acordo com as análises feitas em laboratório, há presença de OG nas amostras, provavelmente provenientes de óleos minerais.

De acordo com Mizutori (2009), a montante do Ponto 8 existem alguns sítios com plantações e durante muitos anos havia uma suinocultura que foi desativada pelo IEF (Instituto Estadual de Florestas) após denúncias. Os sítios, apesar de desapropriados após a criação do Parque Estadual da Pedra Branca (Lei Estadual 2377/1974) ainda não foram indenizados pelo Estado e por isso mantêm suas atividades e propriedades. Possivelmente, a origem dos óleos no ponto 8 provém desses sítios, que ainda estão sendo utilizados, inclusive para criação de animais.

3.1.12 – Aparência do corpo hídrico

Segundo a Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005), os resíduos sólidos objetáveis devem ser virtualmente ausentes; as substâncias que conferem gosto ou odor devem ser virtualmente ausentes e os materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais, devem ser virtualmente ausentes.

Foram constatados nas coletas, visualmente, no Ponto 5, resíduos sólidos, odor fétido, muitos materiais flutuantes e espuma. Por esses motivos o parâmetro aparência reprovou as amostras, fazendo com que nesse ponto o rio não estivesse em conformidade com a classificação na Classe 2 de águas doces da Resolução CONAMA 357/2005.

Nos Pontos 3, 7 e 8 não foram visualizados materiais que comprometessem o parâmetro aparência.

A Tabela 3.4 apresenta um resumo dos resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos nas amostras coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015, e os parâmetros que não se enquadraram na classe 2 das águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), na qual a bacia do Rio Morto está classificada.

Tabela 3.4 – Parâmetros físico-químicos que não se enquadraram na Classe 2 de águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), na qual a Bacia do Rio Morto está inserida.

	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Coleta 7	Coleta 8	Coleta 9	Coleta 10
	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014	14/11/2014	18/11/2014	28/11/2014	02/12/2014	09/12/2014	06/01/2015	09/01/2015
Ponto 3 - Canal Morro do Bruno	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 5 - Rio Morto	Aparência Óleos e graxas	Nitrito Aparência Óleos e graxas	Nitrito Aparência Óleos e graxas							
Ponto 7 - Rio Branco	Nitrito Cor verdadeira	*	*	-	-	-	-	-	-	-
Ponto 8 - Rio Sacarrão (Pedra Branca)	Nitrito	*	*	*	*	*	*	*	*	SDT

(-) Coleta não realizada

(*) Parâmetros analisados que atendem a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005)

No ponto 3 não houve quesito que não estivesse conforme a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), dessa forma, este ponto, nos momentos das coletas, poderia ser enquadrado na Classe 2 de águas doces.

No ponto 5, os parâmetros que não apresentaram conformidade com a legislação, nos momentos das coletas, foram aparência do corpo hídrico e óleos e graxas. Em todas as coletas foram observados materiais flutuantes e óleos ao longo do rio. Nas duas últimas coletas, realizadas em janeiro de 2015, o parâmetro nitrito também não apresentou conformidade com a legislação nas amostras coletadas. Nestes momentos, com base nas amostras, o rio não poderia ser classificado nem como Classe 4, já que a presença de materiais flutuantes é restritiva para o uso das águas nas 4 classes de água doces.

No Ponto 7, na 1ª coleta realizada em 11/06/2014, os parâmetros nitrito e cor verdadeira não apresentaram conformidade com a legislação.

No Ponto 8, na 1ª coleta realizada em 11/06/2014, o parâmetro nitrito apresentou concentrações acima do padrão preconizado. Na 10ª coleta realizada em 09/01/2015, o parâmetro SDT apresentou resultado acima do padrão estabelecido. Levando em conta que as águas provenientes deste ponto são utilizadas para consumo humano, as mesmas deveriam ser classificadas como Classe Especial, uma vez que há desinfecção antes da distribuição para a população. De qualquer forma, com exceção dos dois parâmetros citados acima, as amostras atenderam os padrões na Classe 2 de águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

Assim como no estudo realizado por Mizutori (2009), esse trabalho também apresentou resultados fora do padrão para o quesito aparência do corpo hídrico. No entanto, Mizutori (2009) condenou amostras provenientes dos pontos 3, 7 e 8, por possuírem materiais flutuantes. Nesse trabalho, realizado no período de coleta de junho de 2014 a janeiro de 2015, esse mesmo quesito só reprovou as amostras provenientes do Ponto 5, pois nos demais pontos de coleta não foram observados materiais que reprovassem as amostras pelo quesito aparência.

Um dado muito importante que foi analisado por Mizutori (2009) e que não pôde ser avaliado nesse trabalho foi o parâmetro Coliformes termotolerantes. No ponto 8, apesar dos parâmetros físico-químicos estarem dentro do limite permitido pela Resolução 357/2005 (Brasil, 2005), os resultados de coliformes foi extremamente alto, uma preocupação, já que estas águas são distribuídas para a população.

3.2 Ensaio de toxicidade aguda

3.2.1 - *Aliivibrio fischeri*

A perda da luminescência da bactéria *Aliivibrio fischeri* significa que a presença de substâncias tóxicas do meio interfere negativamente no sistema enzimático das mesmas, sendo o processo respiratório o principal alvo de ação.

Os resultados dos ensaios com a bactéria *Aliivibrio fischeri* para CE50 das amostras coletadas não foram possíveis de serem determinados pelo equipamento, já que a maior concentração (amostra bruta, ou seja, 100%) não alcançou o efeito máximo de 50% de inibição. Porém, seu efeito de inibição não foi nulo, sendo variável no tempo de exposição de 30 minutos. A Tabela 3.5 apresenta os resultados de toxicidade aguda para a bactéria *Aliivibrio fischeri*.

Tabela 3.5 - Valores de CE50 obtidos no teste de toxicidade aguda com a bactéria *Aliivibrio fischeri* para as amostras coletadas nos Pontos 3, 5, 7 e 8 no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

<i>Aliivibrio fischeri</i>					
		Ponto 3	Ponto 5	Ponto 7	Ponto 8
Coleta	Data	CE50	CE50	CE50	CE50
1	11/06/2014	NC	NC	NC	NC
2	17/07/2014	NC	NC	NC	NC
3	01/09/2014	NC	EH	EH	NC
4	14/11/2014	-	NC	-	EH
5	18/11/2014	-	NC	-	EH
6	28/11/2014	-	EH	-	NC
7	02/12/2014	-	NC	-	NC
8	09/12/2014	-	NC	-	NC
9	06/01/2015	-	NC	-	NC
10	09/01/2015	-	NC	-	NC

(-) - Coleta não realizada

NC - Não Calculado CE50

EH - Efeito hormesis

Mesmo não sendo possível o cálculo de CE50 para a bactéria *Aliivibrio fischeri*, uma baixa porcentagem de efeito de inibição da luminescência no tempo de 30 minutos foi obtida, conforme Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Intervalos dos valores de porcentagem de efeito de inibição da luminescência em *Aliivibrio fischeri*, no tempo de 30 minutos.

Ponto de coleta	Porcentagem de Inibição da luminescência
Ponto 3	Entre 4,05% e 6,36%
Ponto 5	Entre 0,35% e 19,81%
Ponto 7	Entre 6,03% e 24,42%
Ponto 8	Entre 1,13% e 18,8%

Foram determinados também valores nulos de efeitos de inibição de luz em algumas amostras, porém o equipamento gerou um relatório com resultados

denominado *Hormesis*: Ponto 5, nas coletas 3 e 6, realizadas em 01/09/2014 e 28/11/2014, respectivamente. Ponto 7, na coleta 3, realizada em 01/09/2014. Ponto 8 nas coletas 4 e 5, realizadas em 14/11/2014 e 18/11/2014.

O efeito conhecido como *Hormesis*, pode ser verificado em diferentes organismos. Na bactéria *Aliivibrio fischeri*, *Hormesis* é uma resposta de aumento na luminescência do organismo a baixos níveis de contaminantes na amostra ao invés de uma diminuição na luminescência. Este efeito é considerado como uma proteção dos organismos, e pode ser considerado nocivo, pois se a bactéria produzir muita luz, ela estará consumindo um excesso de energia, e assim, o metabolismo será acelerado, o que pode afetar sua sobrevivência, de alguma forma. (BIGGS, 1996; CALABRESE & BLAIN, 2011; NASCARELLA et al., 2003; CALABRESE & BALDWIN, 2001).

Assim, não é possível encontrar toxicidade aguda na amostra quando o resultado é *Hormesis*, mas sugere-se que seja feito um teste crônico, para avaliar se existe toxicidade a longo prazo.

Semelhantemente aos resultados apresentados nesse trabalho, Cassidy (2010), obteve efeitos para os quais foi possível visualizar estimulação da luminescência da bactéria *Aliivibrio fischeri*. Foi realizado um estudo a fim de avaliar a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Cértima em Portugal pelos ensaios ecotoxicológicos com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri*. Nesse trabalho, o cálculo da CE50 foi realizado considerando os tempos de 5, 15 e 30 minutos. Foram realizadas duas campanhas de coletas em novembro 2009 e abril de 2010, em três pontos distintos. Na 1ª campanha, apenas em um local foi observada toxicidade com valor de CE50 de 6,95% em 15 minutos. Nos outros dois locais, além de não ter sido observada toxicidade, foi possível verificar uma estimulação da luminescência da bactéria. Ademais, na campanha realizada em abril de 2010, nos três locais amostrados, foi possível observar estimulação da luminescência da bactéria (efeito *Hormesis*).

3.2.2 - Daphnia similis

Nos 26 testes realizados para esse trabalho, não foi possível determinar a CE50 para *Daphnia similis*, pois não houve toxicidade nas amostras coletadas, o que corresponde ao FT igual a 1 para todos os pontos durante o período de estudo.

Os resultados dos testes com *Daphnia similis* evidenciaram que não houve toxicidade aguda nos diferentes pontos. Estes resultados são semelhantes ao do estudo realizado por Luciano (2008) que avaliou a qualidade da água do reservatório da Barragem do Rio São Bento e Serrinha. O autor verificou não haver toxicidade aguda nos diferentes pontos, uma vez que em todos os testes de toxicidade não houve indivíduos imóveis.

No estudo realizado por de Deus & Guimarães (2007) no Ribeirão Itaim, situado no estado de São Paulo, não se observou toxicidade aguda, pois a mortalidade dos indivíduos de *Daphnia similis* foi inferior a 50% em todos os ensaios. Também não foi observada toxicidade aguda para o organismo-teste *Daphnia magna* no trabalho realizado por Henrique & Brentano (2007) no Rio Papaquara. Este rio compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Ratonés, um dos principais cursos d'água da Ilha de Santa Catarina.

Já no trabalho realizado por Carvalho et al. (2009) em rios que integram a bacia hidrográfica do Ribeirão Itaqueri, localizado em Taubaté – estado de São Paulo, os resultados obtidos revelaram mortalidade de *Daphnia similis* para 55,5% das mostras de água, ou seja, 55,5% das amostras foram tóxicas. Nesse trabalho não foi citado valor de CE50.

3.2.3 - Danio rerio

Nos 26 testes realizados para esse trabalho, não foi possível determinar a CL50 para *Danio rerio*, pois não houve toxicidade nas amostras coletadas, o que corresponde ao FT igual a 1 para todos os pontos durante o período de estudo.

Os resultados dos ensaios de toxicidade realizados com o organismo *Danio rerio* evidenciaram que não houve toxicidade aguda nos diferentes pontos, tal como observado no estudo realizado por Oliveira-Filho *et al.* (2011), que realizaram ensaios de toxicidade aguda em peixes da espécie *Danio rerio* com amostras coletadas no Lago Paranoá, em Brasília. Nos ensaios realizados, não foram constatadas mortes dos organismos-teste, dessa forma não foi possível o cálculo de CL50.

Dias (2008) avaliou os efeitos de diferentes tipos de descargas orgânicas na espécie de peixe *Danio rerio*. Para a simulação das descargas, utilizou-se um efluente sintético, que reproduz, aproximadamente, a composição de uma água residuária doméstica. Os resultados permitiram concluir que a intensidade de resposta para os testes variou diretamente com a concentração da descarga no meio. Os autores concluíram que, para baixas concentrações de descarga, a resposta foi pouco acentuada, o que pode levar os peixes a permanecerem em situações de contaminação potencial com eventuais efeitos acumulativos por um tempo prolongado, podendo levar a alterações prejudiciais aos organismos a longo prazo.

De acordo com o estudo de Dias (2008) é possível observar que, mesmo em ambientes impactados por poluentes, os organismos podem permanecer sem apresentar alterações por longos períodos. Dessa forma, não é garantido afirmar que na área de estudo (Vargem Grande) não há toxicidade para *Danio rerio*. Somente é possível afirmar que, nas amostras coletadas, não houve toxicidade aguda para este organismo, o que não descarta a hipótese de eventuais danos a longo prazo, caso fossem realizados testes crônicos com este organismo.

Em todos os 26 ensaios agudos realizados nesse trabalho com os organismos-teste *Aliivibrio fischeri*, *Daphnia similis* e *Danio rerio*, com amostras de água da Bacia do Rio Morto - Vargem Grande, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015 não foi possível o cálculo da CE50 ou CL50. Por isso, o FT ficou fixado em 1 para todos os ensaios.

Os resultados obtidos nesse trabalho com os ensaios agudos enfatizam a importância dos ensaios com organismos-teste de níveis tróficos diferentes para a caracterização toxicológica de águas superficiais, uma vez que, em um sistema complexo como um rio, podem existir diversas fontes de contaminação, e a resposta de cada um dos organismos às amostras pode variar dependendo de sua classificação na cadeia alimentar.

Conforme evidenciado nesse trabalho, o organismo *Aliivibrio fischeri* se mostrou um pouco mais sensível do que o organismo *Daphnia similis*, uma vez que, mesmo não sendo possível o cálculo de CE50, ainda assim foi verificada resposta de inibição de luminescência nos testes realizados com a bactéria. Esta resposta foi calculada com o software do programa que está acoplado ao equipamento Microtox.

A inibição de luminescência em *Aliivibrio fischeri*, mesmo quando não foi possível o cálculo da CE50, foi confirmado por Hamada et al. (2010). Estes autores publicaram um trabalho realizado em uma estação de tratamento de esgotos - ETE Suzano. Esta estação está situada a 52 km da cidade de São Paulo e opera desde 1982, pelo processo de lodos ativados, em nível secundário e com grau de eficiência superior a 90% na remoção de carga orgânica. O objetivo foi verificar a eficiência da Estação para redução da toxicidade do efluente lançado no Rio Tietê no período de 2005 a 2008. Para isso, foram utilizados dois organismos-teste: *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri*. Os resultados mostraram que para *Daphnia similis* a toxicidade foi reduzida totalmente após o tratamento, enquanto que ensaios com *Aliivibrio fischeri* resultaram em toxicidade remanescente. A eficiência média da Estação para redução da toxicidade do efluente foi de 57,90%. Segundo os autores, dos dois organismos-teste utilizados, a bactéria luminescente *Aliivibrio fischeri* foi ligeiramente mais sensível quando comparada com *Daphnia similis*.

Já no estudo realizado por Mendonça (2005), foi possível verificar a diferença das sensibilidades *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri*. Este autor fez um estudo de monitoramento nas águas da bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, em Pernambuco, com os organismos-teste citados. Os resultados obtidos mostraram que, das 108 amostras analisadas, vinte e três apresentaram toxicidade aguda e os valores de FT variaram, para *Aliivibrio fischeri*, ficaram entre 1 e 8 e para *Daphnia similis*, ficaram entre 1 e 4. Dos nove locais onde foram coletadas amostras, três apresentaram toxicidade aguda para *Aliivibrio fischeri* e duas apresentaram toxicidade aguda para *Daphnia similis*, enquanto que quatro estações não apresentaram toxicidade aguda, evidenciando que os organismos-teste responderam diferentemente a cada ponto amostrado. Esse resultado confirma a importância dos testes com organismos de diferentes níveis tróficos.

3.3 Ensaio de toxicidade crônica com o organismo-teste *Daphnia similis*

Os ensaios de toxicidade crônica com o organismo-teste *Daphnia similis* foram realizados somente com as amostras coletadas nos pontos 8 e 5. O Ponto 8 foi escolhido devido à expectativa de que representasse a qualidade das águas antes de qualquer interação antrópica, já o Ponto 5 foi escolhido por se referir à qualidade das águas depois de receber despejos sanitários de casas de baixa e de alta renda, assim como de estabelecimentos comerciais, este ponto está localizado logo antes das águas desagüarem no canal de Sernambetiba.

As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam o total de mortes do organismo teste *Daphnia similis* ao final de 21 dias. Nas figuras estão apresentados o total de mortes nos controles e nos pontos 8 e 5, nos 10 testes realizados para cada ponto com amostra bruta. O período de realização das coletas de amostras foi entre junho de 2014 e janeiro de 2015.

Figura 3.11 - Total de mortes do organismo teste *Daphnia similis* ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 8, em comparação ao número de mortes nos controles.

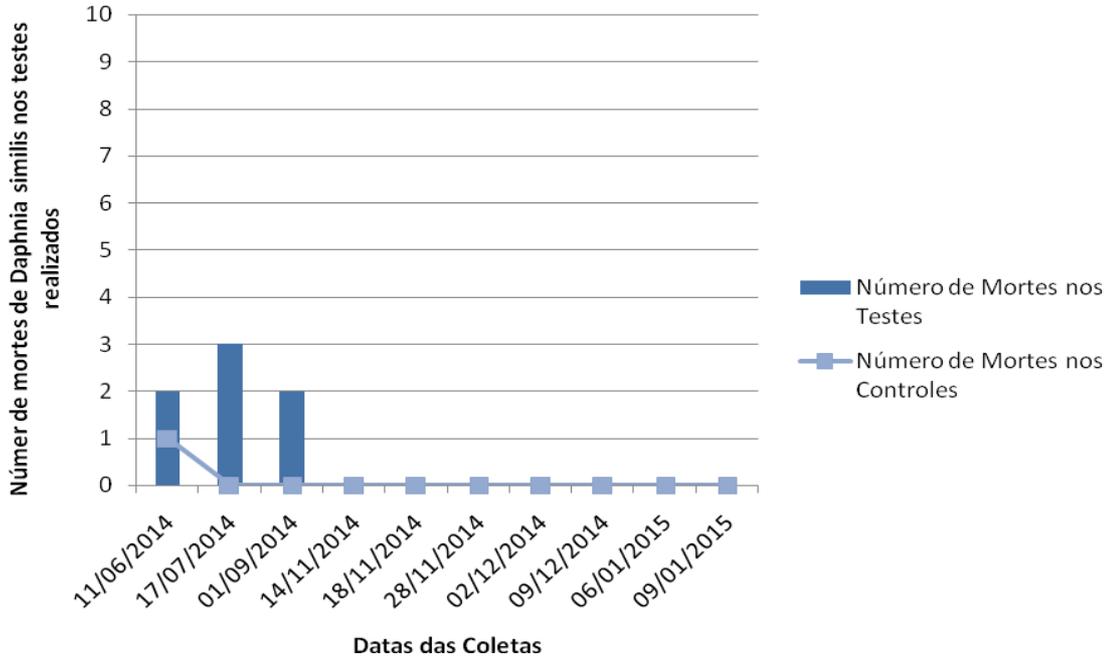
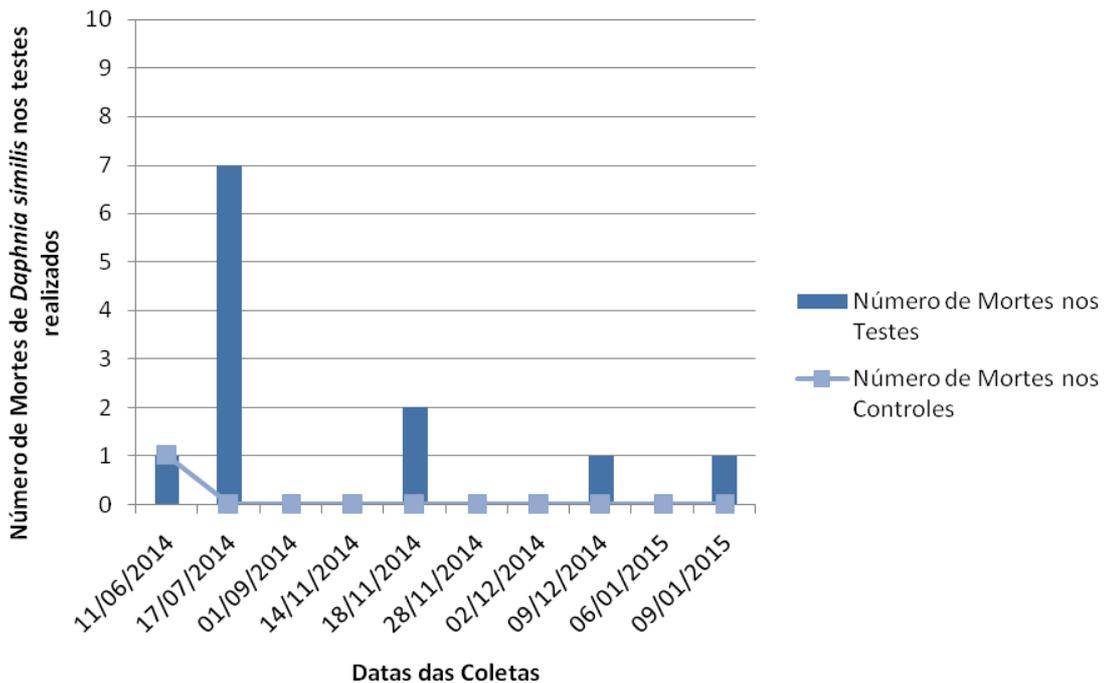


Figura 3.12 - Total de mortes do organismo teste *Daphnia similis* ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 5, em comparação ao número de mortes nos Controles



Apesar de ter havido uma morte no controle, esse teste não foi inviabilizado, já que, para assegurar a validade do teste é necessário que o controle do mesmo apresente pelo menos 80% de sobrevivência das daphnias adultas, ou seja, poderia ter havido até 2 mortes no controle, que mesmo assim o teste seria válido.

No único teste em que houve mortes acima de 50%, (coleta 2, realizada em 17/07/2014 no ponto 5) o CL50 não pôde ser calculado, pois não foi possível a realização de testes com diluições para essa coleta.

As Figuras 3.13 e 3.14 apresentam o total de filhotes produzidos pelo organismo teste *Daphnia similis* ao final de 21 dias. Nas figuras estão apresentados o total de filhotes produzidos nos controles e nos pontos 8 e 5, nos 10 testes realizados para cada ponto com amostra bruta. O período de realização das coletas de amostras foi entre junho de 2014 e janeiro de 2015.

Figura 3.13 - Total de filhotes produzidos pelo organismo teste *Daphnia similis* ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 8, em comparação ao número de filhotes produzidos nos Controles.

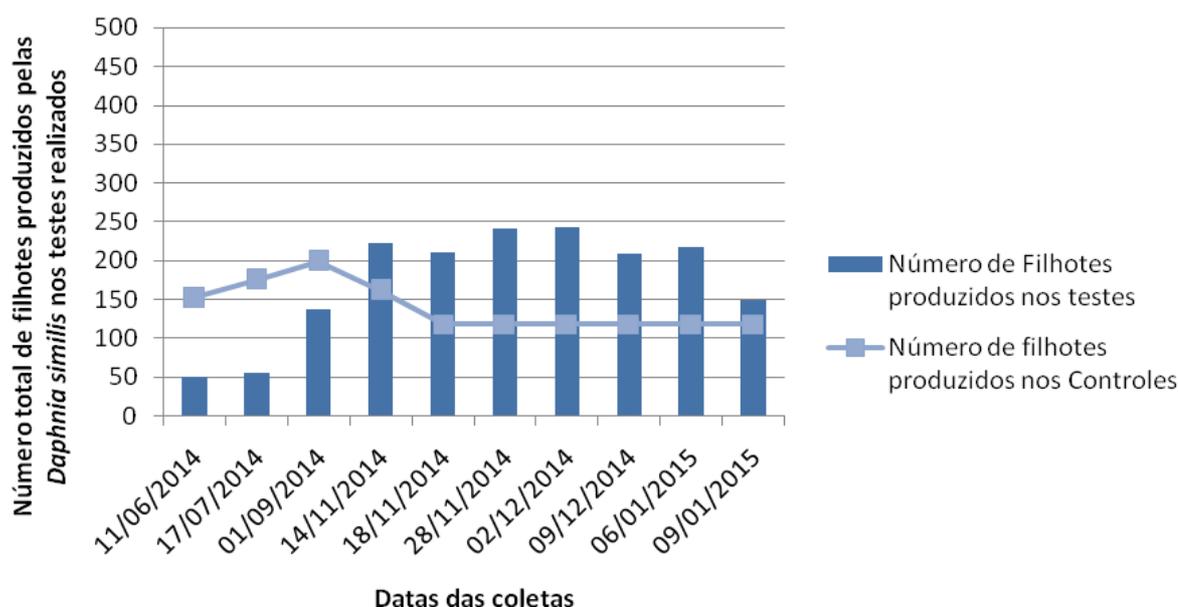
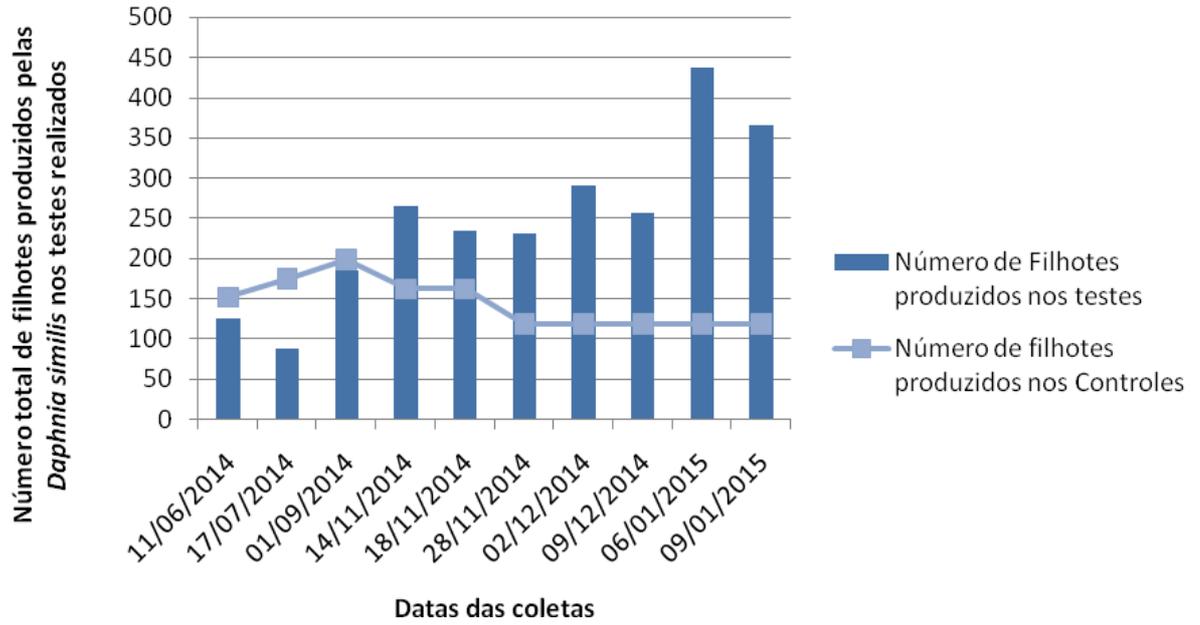


Figura 3.14 - Total de filhotes produzidos pelo organismo teste *Daphnia similis* ao final do teste crônico realizado com as amostras coletadas no ponto 5, em comparação ao número de filhotes produzidos nos Controles.



3.3.1 - Testes estatísticos

Na Tabela 3.7 estão apresentados os resultados obtidos nos testes estatísticos realizados com as amostras sem diluição (amostra bruta) das 10 coletas realizadas nos Pontos 5 e 8 no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Tabela 3.7 - Resultados dos testes estatísticos realizados com as amostras coletadas nos Pontos 5 e 8 no período de junho de 2014 a janeiro de 2015 empregando-se o Programa TOXSTAT 3.3. Os resultados foram obtidos através do Teste T de Bonferroni.

	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5
Data da Coleta	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014	14/11/2014	18/11/2014
Ponto 5	NT	EH	NT	EH	EH
Ponto 8	Tóxico	Tóxico	NT	EH	EH

	Coleta 6	Coleta 7	Coleta 8	Coleta 9	Coleta 10
Data da Coleta	28/11/2014	02/12/2014	09/12/2014	06/01/2015	09/01/2015
Ponto 5	EH	EH	EH	EH	EH
Ponto 8	EH	EH	EH	EH	EH

NT – Não Tóxico
EH – Efeito hormesis

De acordo com os resultados dos testes estatísticos, foi possível verificar que nas amostras coletadas em 11/06/2014 (1ª coleta) e 01/09/2014 (3ª coleta), no Ponto 5, a amostra bruta não se mostrou tóxica, por isso, o número de descendentes de *Daphnia similis* nas amostras foi estatisticamente igual ao número de descendentes de *Daphnia similis* no controle.

Conforme os resultados dos testes estatísticos, foi possível verificar que nas amostras coletadas em 11/06/2014 (1ª coleta) e 17/07/2014 (2ª coleta), no ponto 8, a amostra bruta foi tóxica, por isso, o número de descendentes de *Daphnia similis* nas amostras foi estatisticamente menor do que o número de descendentes de *Daphnia similis* no controle. Quando a amostra é tóxica, o ideal é a realização do teste com

diluições, para verificar o valor de CEO. Conforme citado na Metodologia, a realização dos testes com diluições da 2ª coleta não foi possível de ser realizado, por isso, na Tabela 3.7 são apresentados os valores do teste realizado com diluições somente para a 1ª coleta. Na amostra coletada em 01/09/2014 (3ª coleta), no ponto 8, a amostra bruta não se mostrou tóxica, por isso, o número de descendentes de *Daphnia similis* foi estatisticamente igual ao número de descendentes no Controle.

A Tabela 3.8 apresenta os resultados do teste estatístico realizado com a amostra da primeira coleta realizada em 11/06/2014 no Ponto 8, com as diluições, para verificação do CEO. Frisa-se que a amostra bruta se mostrou tóxica para o organismo *Daphnia similis* no tocante à reprodução.

Tabela 3.8 - Resultados do teste estatístico realizado para a primeira coleta (11/06/2014) no Ponto 8 com as diluições 50%, 25%, 12,5% e 6,25% e amostra bruta (100%).

Concentração	Resultado
100%	Tóxico
50%	Tóxico
25%	Tóxico
12,50%	Tóxico
6,25%	Tóxico

Mesmo o valor mais baixo de diluição (6,25%) da amostra do Ponto 8 da Coleta 1 foi tóxica, por isso, o número de descendentes de *Daphnia similis* nas amostras foi estatisticamente menor do que o número de descendentes de *Daphnia similis* no Controle.

É possível que estas amostras tenham sido tóxicas à reprodução das daphnias devido aos sítios com plantações à montante do ponto 8, e a suinocultura, praticada por muitos anos. Conforme comentado anteriormente, os sítios, apesar de desapropriados após a criação do Parque Estadual da Pedra Branca (Lei Estadual 2377/1974) ainda não foram indenizados pelo Estado e por isso mantêm suas atividades e propriedades.

É importante destacar que, apesar dos resultados estatísticos dos demais testes realizados com as quatro diluições (50%, 25%, 12,5% e 6,25%) e a amostra bruta, que foram feitas somente para as amostras das coletas: 1 (11/06/2014), 3 (01/09/2014) e 4 (14/11/2014), para os pontos 8 e 5; e coleta 5 (18/11/2014) somente para o ponto 5 não incluírem informações adicionais, já que as amostras brutas não apresentaram toxicidade na reprodução do organismo *Daphnia similis*, os mesmos se encontram no ANEXO II.

Conforme os resultados estatísticos dos testes realizados visando a reprodução de *Daphnia similis*, foi verificado, de acordo com a Tabela 3.6, que nas coletas realizadas em 17/07/2014 (2ª coleta), 14/11/2014 (4ª coleta), 18/11/2014 (5ª coleta), 28/11/2014 (6ª coleta), 02/12/2014 (7ª coleta), 09/12/2014 (8ª coleta), 06/01/2015 (9ª coleta) e 09/01/2015 (10ª coleta), no Ponto 5 e nas coletas realizadas em 14/11/2014 (4ª coleta), 18/11/2014 (5ª coleta), 28/11/2014 (6ª coleta), 02/12/2014 (7ª coleta), 09/12/2014 (8ª coleta), 06/01/2015 (9ª coleta) e 09/01/2015 (10ª coleta), no Ponto 8, a amostra bruta apresentou o efeito Hormesis. Isso significa que o número de descendentes de *Daphnia similis* nas amostras foi estatisticamente maior do que o número de descendentes de *Daphnia similis* no Controle.

É importante destacar que o aumento na reprodução dos organismos não implica na ausência de substâncias tóxicas no meio, pois estas podem estar presentes em concentrações muito baixas, que podem ser bioacumuláveis ao longo do tempo. Esse efeito no aumento da reprodução dos organismos das amostras em relação ao controle pode ser uma estratégia de manutenção da população por parte dos organismos testados para compensar a perturbação ambiental sentida pelos progenitores.

Para confirmar o efeito Hormesis em daphnia, Stanley *et al.* (2013) realizaram um estudo para examinar os potenciais mecanismos de resposta ao efeito Hormesis de *Daphnia magna* para o trinitrotolueno energético (TNT). Os organismos-teste foram expostos a TNT durante 21 dias, e um aumento significativo no comprimento e número de neonatos adulto foi identificado em baixas concentrações, enquanto que os efeitos tóxicos foram identificados em altas concentrações de TNT. Este estudo

comprovou que o efeito hormesis é possível de acontecer em daphnias quando as mesmas são expostas a baixos níveis de agentes químicos.

O mesmo tipo de resposta encontrado nesse trabalho foi observado em outros estudos, como o de Mattei *et al.* (2006) que avaliou a qualidade do rio Tibre, na Itália. A amostragem da água foi realizada em quatro locais, de montante para jusante do rio Tibre. O número médio de juvenis nascidos por fêmea após 21 dias variou nas diferentes estações do ano. Na primavera, a fecundidade das fêmeas foi reduzida de 72,29 juvenis / feminino no controle para 36 juvenis / feminino nas amostras. No verão, a fecundidade das fêmeas foi reduzida de 72,26 juvenis / feminino no controle para 9 juvenis / feminino nas amostras. Enquanto que no inverno, houve o efeito hormesis sobre a fecundidade dos organismos, de 71 juvenis / feminino do controle para 95,1 juvenis / feminino nas amostras. O estudo realizado por Mattei *et al.* (2006) corrobora as respostas encontradas nesse trabalho, uma vez que os resultados na reprodução dos organismos variou ao longo do ano.

Outro exemplo de estudo no qual foi observada a redução na fecundidade de *Daphnia similis* é o trabalho realizado por Morais *et al.* (2011). Estes autores fizeram um estudo no Rio Itaguapé, que fica no estado de São Paulo. Nesse estudo foram selecionados cinco pontos de amostragem ao longo do rio (1, 2, 3, 4 e 5), sucessivamente desde a foz em direção à nascente. Foram realizadas 12 coletas entre 2007 e 2008. Nos testes realizados com *Daphnia similis* foi constatada toxicidade aguda no verão e outono nos pontos 1, 2 e 3. A toxicidade crônica foi constatada em todas as estações do ano nos pontos 1 e 2, e na primavera e outono, em todos os pontos. Nesse estudo foi concluído que, existia uma relação provável entre o número de coliformes termotolerantes e a ocorrência de toxicidade crônica, pois, quando a quantidade de bactérias desse grupo foi baixa (inverno) ocorreu toxicidade crônica apenas nos pontos 1 e 2. Em contrapartida, com a elevação das bactérias no mês de maio, notou-se toxicidade crônica em todos os pontos.

Outros tipos de testes crônicos com organismos testes do gênero daphnia são amplamente realizados com outros tipos de amostras de rios, tal como sedimentos. Esse tipo de teste apresenta respostas bastante confiáveis, já que as daphnias são organismos filtradores, que “pastam” no sedimento. Um exemplo é o trabalho feito

por Terra et al. (2010) que fizeram testes agudos e crônicos com *Daphnia magna* no Rio Caí, que fica no Rio Grande do Sul. Esses testes foram feitos com sedimentos de quatro locais de coleta no período entre março de 2005 e junho de 2009. Foi encontrada toxicidade aguda para *Daphnia magna* em 18% das amostras. A toxicidade crônica foi mais freqüente, e detectada em 95% dos ensaios.

Mais um exemplo de estudo utilizando sedimentos, no qual foi verificada toxicidade em amostras coletadas em rios, foi o estudo realizado por Jardim *et al.* (2008). Os autores tinham por objetivo a avaliação da toxicidade aguda e da toxicidade crônica das amostras de água e sedimento, para *Daphnia magna* e *Daphnia similis* em sete locais ao longo do Rio Corumbataí, no estado de São Paulo. Foram realizadas duas coletas em novembro de 2003 e março de 2004. Foi detectada toxicidade aguda para *Daphnia similis* em seis locais de coleta. Em ambas as coletas, foram detectados efeitos crônicos, influenciando a sobrevivência, crescimento e fecundidade dos organismos-teste, indicando a presença de agentes tóxicos, cuja ação foi acentuada por períodos prolongados de exposição. Os efeitos sobre a fecundidade foram mais evidentes nas três estações de coleta mais próximas da foz do rio.

3.4 Dados pluviométricos

A escassez de chuvas que ocorre desde o ano passado (2014), na cidade do Rio de Janeiro, pode ter influenciado nos resultados obtidos neste trabalho, já que esta escassez foi um fato incomum. Por isso, foi feita uma investigação para que fosse possível visualizar os danos causados pela escassez de chuvas.

As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam os dados anuais dos dados pluviométricos do ano de 2005 ao ano de 2014, nas estações referentes aos pontos: Barra/Riocentro para os pontos 3, 5 e 7 e Guaratiba para o ponto 8.

Figura 3.15 – Dados Pluviométricos anuais da estação Barra / Riocentro, que corresponde aos pontos de coleta 3, 5 e 7.

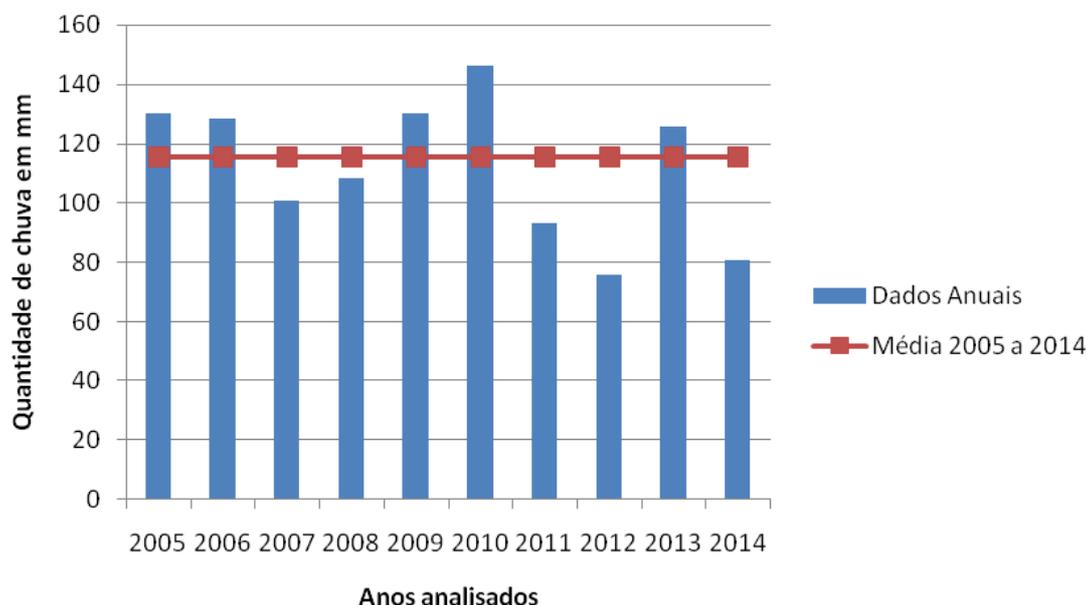
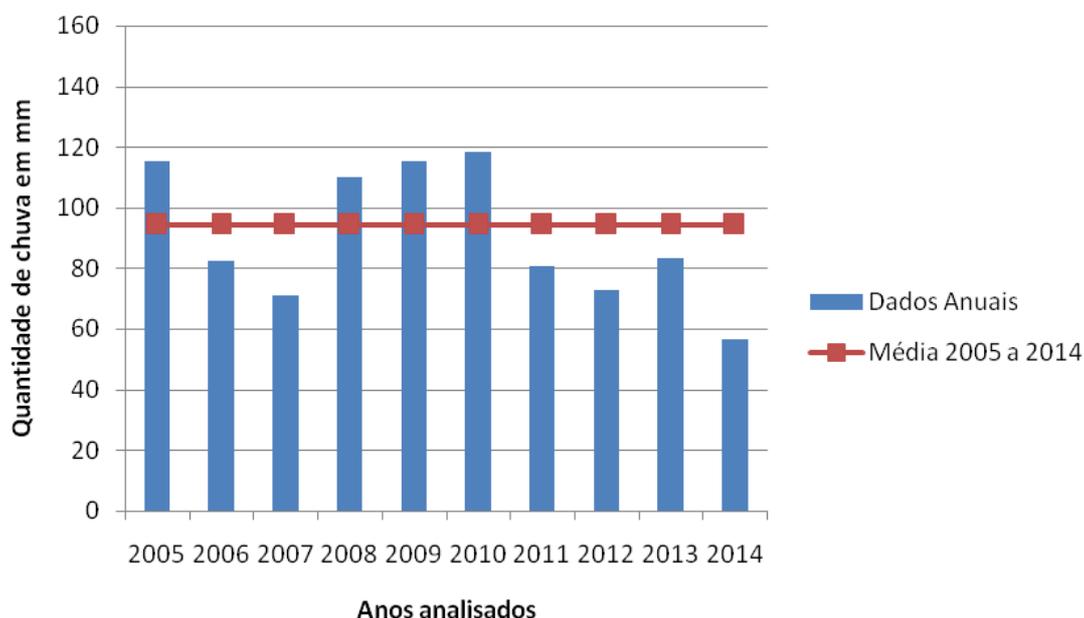


Figura 3.16 - Dados Pluviométricos anuais da estação Guaratiba, que corresponde ao ponto de coleta 8.



De acordo com os dados obtidos com as estações da Prefeitura do Rio de Janeiro, foi possível visualizar que, no ano de 2014, os valores dos índices pluviométricos referente aos pontos de coleta ficaram abaixo da média histórica. Isso aconteceu também nos anos 2011, 2012 e 2013, com exceção da Estação Barra /

Riocentro no ano de 2013, cujo valor do índice pluviométrico ficou acima da média histórica.

As Figuras 3.17 e 3.18 apresentam os resultados pluviométricos mensais do ano de 2014, em comparação às médias mensais dos anos de 2005 a 2013, nas estações Barra / Riocentro que correspondem aos pontos de coleta 3, 5 e 7 e Guaratiba que corresponde ao ponto de coleta 8.

Figura 3.17 - Dados Pluviométricos mensais da estação Barra / Riocentro, que corresponde aos pontos de coleta 3, 5 e 7.

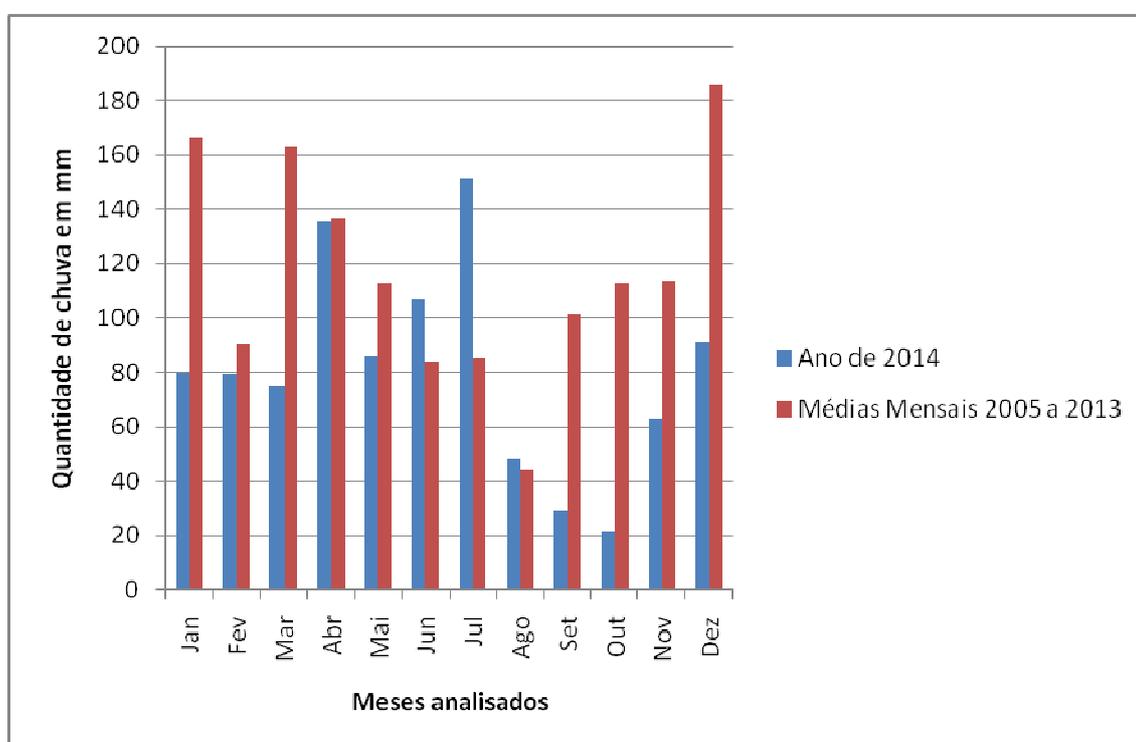
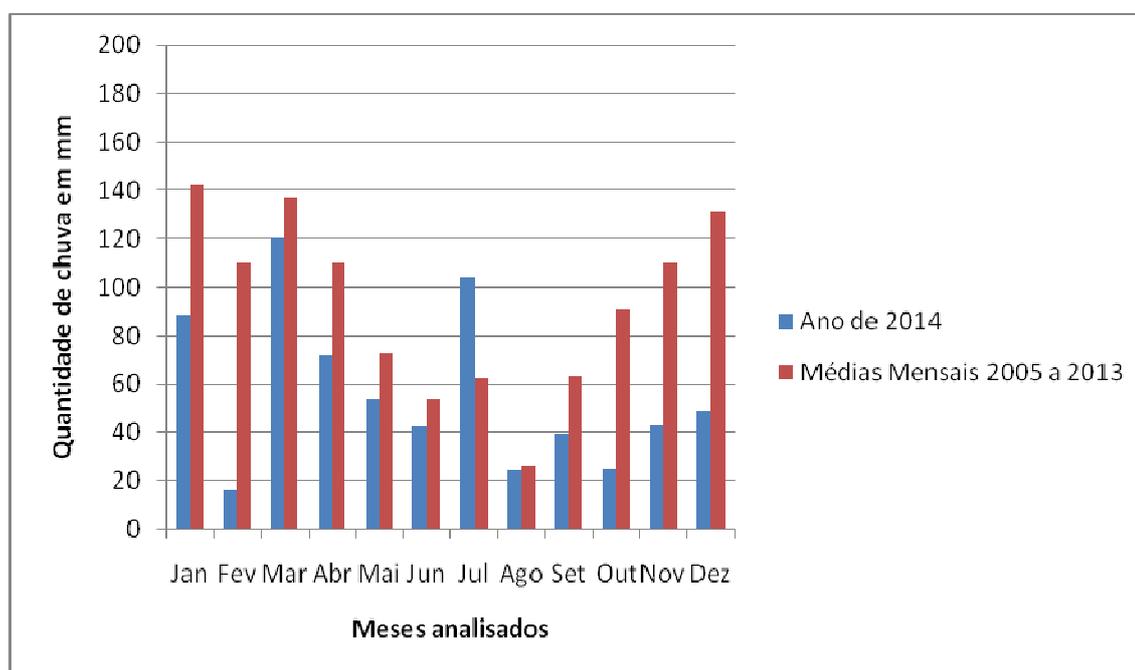


Figura 3.18 - Dados Pluviométricos mensais da estação Guaratiba, que corresponde ao ponto de coleta 8.



De acordo com os dados obtidos com as estações da Prefeitura do Rio de Janeiro, foi possível constatar que, no ano de 2014, na estação Barra/ Riocentro referente aos pontos de coleta 3, 5 e 7 nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro apresentaram valores de índice pluviométrico abaixo da média histórica. Na estação Guaratiba, referente ao ponto de coleta 8, no ano de 2014, nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro apresentaram valores de índice pluviométrico abaixo da média histórica. Em contrapartida, os meses de junho, julho e agosto, do ano de 2014, na estação Barra/ Riocentro, referente aos pontos de coleta 3, 5 e 7, apresentaram valores de índice pluviométrico acima da média histórica. Já na estação Guaratiba, referente ao ponto de coleta 8, no ano de 2014, somente o mês de julho apresentou valores de índice pluviométrico acima da média histórica.

Com a diminuição do índice pluviométrico no ano de 2014, e os resultados físico-químicos como turbidez, condutividade e sólidos dissolvidos totais (que aumentaram significativamente nas coletas realizadas em janeiro de 2015), é possível afirmar que, se esse trabalho tivesse sido realizado em outros anos, onde o

índice pluviométrico se mantivesse na média histórica, os resultados poderiam ter sido diferentes. Não foi possível a realização das 10 coletas nos Pontos 3 e 7 do local de estudo, já que os pontos secaram depois da terceira coleta realizada em setembro/2014. Devido à falta de chuvas, nos pontos amostrados 5 e 8 existe a chance de uma maior concentração da carga de poluentes, já que os mesmos não puderam ser dispersos da mesma forma que seriam se o ciclo de chuvas estivesse regular.

No início de 2015 foi divulgado pela ONG SOS Mata Atlântica (Organização Não-Governamental criada em 1986) um estudo sobre a qualidade das águas superficiais no Rio de Janeiro. No período de março de 2013 a fevereiro de 2014, amostras de águas superficiais foram coletadas em 15 pontos na área urbana do Município do Rio de Janeiro, estes resultados foram apresentados em 2014. Outro levantamento, com amostras de águas, foi realizado nos mesmos pontos, no período de março de 2014 a fevereiro de 2015 e apresentado em 2015. Quando estes dois relatórios foram comparados, os indicadores aferidos revelaram uma piora na qualidade da água. No levantamento apresentado no ano de 2015, foi constatado um aumento de amostras com qualidade ruim, de 40% para 66,7%, quando comparado ao levantamento apresentado em 2014.

A conclusão que os coordenadores chegaram foi de que a falta da água na região sudeste é agravada pela indisponibilidade decorrente da poluição e não apenas da falta de chuvas. O levantamento realizado revelou a precária condição ambiental dos rios urbanos monitorados e, somados aos impactos da seca, reforçam a necessidade urgente de investimentos em saneamento básico. A importância de preservação destas águas se dá pelo fato de que, uma vez enquadrados nos índices ruim e péssimo, estes rios não podem ser utilizados para abastecimento humano e produção de alimentos, diminuindo bastante a oferta de água na área urbana da cidade (GRANDELE, 2015).

4. CONCLUSÕES

Não foi observada toxicidade aguda para os três organismos-teste (*Danio rerio*, *Daphnia similis* e *Aliivibrio fischeri*) para todas as 26 amostras testadas;

Dentre os ensaios realizados, somente o ensaio de toxicidade com a bactéria *Aliivibrio fischeri* pôde determinar a porcentagem de efeito, mesmo quando não foi possível o cálculo da CE50; em 5 deles foi determinada a resposta biológica *hormesis*;

Foi possível implementar com sucesso o método de ensaio crônico com o organismo teste *Daphnia similis* no Laboratório de Engenharia Sanitária – LES da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ;

Dentre os 20 ensaios crônicos realizados com *Daphnia similis*, em 15 deles foi determinada a resposta biológica *hormesis*, indicando a importância dos ensaios crônicos, já que no ensaio agudo realizado com o mesmo organismo não foi possível observar qualquer tipo de resposta toxicológica;

A bacia estudada, no período de análise e nos trechos avaliados, não sofreu impacto significativo, resultado este fornecido pelas análises de diferentes parâmetros físico-químicos. Por meio dos testes realizados foi comprovado que, apesar dos indícios de impactos antrópicos sofridos pelo ambiente aquático, em geral, esses parâmetros atenderam aos limites para cursos d'água da Classe 2 segundo a Resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005). Em poucas amostras os parâmetros físico-químicos de qualidade da água de rios da Classe 2 não foram atendidos;

Os ensaios toxicológicos não puderam ser correlacionados com os parâmetros físico-químicos determinados. Estudos futuros com outros organismos teste podem vir a apresentar efeito toxicológico, assim como métodos de testes toxicológicos com sedimentos de rios, que se mostraram confiáveis e facilmente reprodutíveis. A cromatografia e a determinação de metais provavelmente poderão vir a explicar a

causa do Efeito *hormesis* observado nos organismos *Aliivibrio fischeri* e *Daphnia similis*.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 12713. *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com Daphnia SP (Crustacea, Cladocera)*, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15411. *Ecotoxicologia Aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de Vibrio fischeri (Ensaio de bactéria luminescente)*, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15088. *Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com peixes*, 2006

ABESSA, D. M. S., MORAIS, L. G., PERINA, F. C., DAVANSO, M. B., BURUAEM, L. M., MARTINS, L. M., SIGOLO, J. B., RODRIGUES, V. G. G. *Toxicidade de águas e sedimentos em um rio afetado por atividades mineradoras pretéritas*. O Mundo da Saúde, São Paulo, vol. 36 n.4, p.610-618, 2012.

APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. New York: 21th ed., 2012

ALTTOX.ORG. Disponível em: <http://alttox.org/mapp/toxicity-endpoints-tests/ecotoxicity/>, acessado em 27/03/2015.

BAUMGARTNERA, V., HOHLA, C., SCHWACKB, W. Rolling — A new application technique for luminescent bacteria on high-performance thin-layer chromatography plates. [Journal of Chromatography A](#), vol. 1218, n.19, p.2692-2699, 2011.

BAZANT, J. S. Interdependencia de la expansión urbana y el medio ambiente circundante. Causas de su degradación. CUADERNOS DE VIVIENDA Y URBANISMO. ISSN 2027–2103. vol. 4, n. 8, p. 198-223, 2011.

BICKHAM, J. W.; SANDHU, S.; HEBERT, P.D.N.; CHIKHI, L.; ATHWAL, R.. *Effects of chemical contaminants on genetic diversity in natural populations: implications for biomonitoring and ecotoxicology*. Mutation Research 463, p. 33–51, 2000.

BOUDOU, A. & RIBEYRE, F. *Aquatic ecotoxicology: from the ecosystem to the cellular and molecular levels*. Environmental Health Perspective. vol. 105, n. 1, p. 21–35, 1997.

BRAGA, B., HESPAHOL, I., CONEJO, J. G. L., MIERZWA, J. C., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável*. Editora: Pearson Prentice Hall, 2ª edição, Brasil, 2005.

BRENTANO, D. M. *Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com Daphnia magna: Avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário*. Dissertação de mestrado, Universidade de Santa Catarina - UFSC, 2006

BUONGERMINO, C. R. P., BOHRER-MOREL, M. B. *Avaliação da Toxicidade Aguda e Crônica das Águas Subterrâneas do IPEN, SP, para Daphnia similis, Ceriodaphnia dubia e Ceriodaphnia silvestrii*. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. Disponível em <http://pelicano.ipen.br/pibic/pdf/IPEN/Caio%20Roberto%20Picolomini%20Buongermينو.pdf>.

CALABRESE, E.J. & BLAIN, R.B. *The hormesis database: The occurrence of hormetic dose responses in the toxicological literature*. Regulatory Toxicology and Pharmacology 61, p. 73–81, 2011.

CERQUEIRA, L.F.F. *Os impactos dos assentamentos informais de baixa renda nos recursos hídricos e na saúde coletiva. O caso da bacia de Jacarepaguá, Rio de Janeiro*. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em engenharia ambiental, 2006.

CARVALHO, A. E. F., SILVA, E. M. F., MATSUBARA, K. G., LEONEL, L. F., MONZANE, P. V. G., SASAKI, T. H. *Avaliação ecotoxicológica de ecossistemas aquáticos da bacia hidrográfica do rio Itaqueri (Itirapina/Brotas, SP): uma análise espacial*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Núcleo de Estudos em Ecossistemas Aquáticos. Disponível em www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-158.pdf, 2009.

CASSIDY, J. S. *Avaliação da qualidade da água do rio Cértima através de ensaios ecotoxicológicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.

CERQUEIRA, L. F. F. & SILVA, L. P. *Os impactos dos assentamentos informais de baixa renda nos recursos hídricos: O caso das comunidades Peri-urbanas de Jacarepaguá*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

CERQUEIRA, L.F.F. *Os impactos dos assentamentos informais de baixa renda nos recursos hídricos e na saúde coletiva. O caso da bacia de Jacarepaguá, Rio de Janeiro*. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em engenharia ambiental. UERJ – 2006

CETESB. – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Governo do estado de São Paulo. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. 2015

CHOVANEC A., HOFER, R., SCHIEMER, F. Fish as bioindicators. Cap. 18, 2003. Separata de: MARKET, B. A., BREURE, A. M., BREURE, A. M., ZECHMEISTER, H.G. *Bioindicators & Biomonitoring: Principles, Concepts, and Applications*. Editora: Elsevier Science, vol. 6, 2003.

CHRISTOFI, N., HOFFMANN, C., TOSH, L. [Ecotoxicology and Environmental Safety](#). [Vol. 52, cap. 3](#), p. 227–231, 2002.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). *Resolução nº 129. Critérios e Padrões de Emissão para Toxicidade de Efluentes Líquidos lançados em águas superficiais do Estado do Rio Grande do Sul*, RS, 2006

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução 357*. Ministério do Meio Ambiente, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução 430*. Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). *Resolução 91*. Ministério do Meio Ambiente, 2008.

COSTA, C. R. & OLIVI, P. BOTTA, C. M. R., ESPINDOLA, E. L. G *A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação*. Quím. Nova, São Paulo, vol. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

CYPRIANO, E. F. Distribuição espacial de mercúrio nos sedimentos do complexo lagunar da baixada de Jacarepaguá. Monografia de bacharelado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

DAHMS, H-U; HAGIWARA, A.; LEE, J-S. *Ecotoxicology, ecophysiology, and mechanistic studies with rotifers*. Aquatic Toxicology 101, p. 1-12, 2011.

DE DEUS, L. B. F. & GUIMARAES, E. S. *Avaliação da toxicidade no Ribeirão Itaim, Taubaté – SP utilizando o bioindicador Daphnia similis Claus, 1876 (Crustacea – Cladocera)*. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil. 2007.

DIAS, G. D. S. *Contribuição para o estudo dos efeitos de descargas orgânicas em peixes*. Dissertação de mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2008.

EBERT, D. *Ecology, Epidemiology and Evolution of Parasitism in Daphnia*. Bethesda: National Center of Biotechnology Information, 2005. E-book.

ESCHER, B. I., BEHRA, R., EGGEN, R. I. L., FENT, K. *Molecular Mechanisms in Ecotoxicology: An Interplay between Environmental Chemistry and Biology*. [CHIMIA International Journal for Chemistry](#), vol. 51, n. 12, p. 915-921, 1997.

ESPINDOLA, E. L. G., PASCHOAL, C. M. R. B., ROCHA, O., BOHRER, M. B. C., NETO, A. L. O. *Ecotoxicologia - Perspectivas para o Século XXI*. Editora Rima, 2000.

ESTEVEES, F.A., *Fundamentos de Limnologia*. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciências, 1998.

FERNICOLA, N. A. G. G. *Toxicologia Ambiental Passado, presente e futuro*. 3º ENCONTRO TÉCNICO ANUAL DA ASEC - ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA CETESB “A CETESB E O MEIO AMBIENTE”, 2002.

FOTH, H. *Ecotoxicology*. Institute of Environmental Toxicology. Martin Luther University of Halle. Chapter 45, p. 1067-1085, 1999.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA – FATMA. *Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências*. In: Portaria nº 017/02, Santa Catarina. FATMA, 2002

GRANDELE, R. *Em 23% dos rios, qualidade da água é ruim ou péssima*. Reportagem O GLOBO. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/pesquisa-sobre-rios-de-seis-estados-mostra-quem-em-23-agua-ruim-ou-pessima-15625497>. Acessado em 20/03/2015.

GRHIP. Acessível em www.grhip.eng.uerj.br. Acessado em 08/01/2015

GROSSO, F. G., MOURA, R. P., RAYMUNDO, W. D. BERNARDI, M. M. *Toxicidade das águas do Rio Tietê coletadas na Grande São Paulo em peixes Danio rerio*. Revista do Instituto de Ciências da Saúde. Vol. 26 n.4. p. 387-391. 2008.

HAMADA, N., MESQUITA, L. C. A., PEREIRA, I. W., NAKANO, E., BORRELY, S. I., TALLARICO, F. *Avaliação Ecotoxicológica da Estação de Tratamento de Esgotos*

Suzano (São Paulo) Utilizando *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*. [Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology](#), v. 6, n. 1, p. 31-35, 2011.

HAMMERS-WIRTZ, M. & RATTE, H. T. *Offspring fitness in Daphnia: Is the Daphnia reproduction test appropriate for extrapolating effects on the population level?*. Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 19, p.1856–1866, 2000.

HENRIQUE, F. L. H., BRENTANO, D. M., *Avaliação Da Toxicidade Aguda Da Água Do Rio Papaquara, Município De Florianópolis/Sc, Utilizando o Organismo-Teste Daphnia Magna*. Revista Técnico Científica do IF - SC, v.02, nº 01, p.71-75. 2010.

HOFFMAN, D. J., RATTNER, B. A., BURTON, A., CAIRNS, J. J. *Handbook of Ecotoxicology, Second Edition. Ecotoxicology: The History and Present Directions*. Editora: Elsevier B.V., 2008.

HOLT, M.S. Sources of chemical contaminants and routes into the freshwater environment. Food and chemical Toxicology, v.38, p.21-27, 2000.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Norma Técnica 213 R.04. Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais*. Rio de Janeiro, 1990

JARDIM, G.M., ARMAS, E.D., MONTEIRO, R.T.R. *Ecotoxicological assessment of water and sediment of the Corumbataí River, SP, Brazil*. Brazilian Journal of Biology, São Carlos, v. 68, n. 1, 2008.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. *Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações*. Florianópolis: Fatma/GTZ, 2004.

LI, L., ZHENG, B., LIU, L. *Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends*. Procedia Environmental Sciences, vol. 2, p. 1510–1524, 2010.

LUCIANO, M. L. *Avaliação da toxicidade da água do reservatório da barragem do rio são Bento, Siderópolis, Santa Catarina, utilizando como bioindicador Daphnia*

magna. TCC em Ciências Biológicas. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2008.

LUCHETA, F., FEIDEN, I. R., GONÇALVES, S. P., GULARTE, J. S., TERRA, N. R. Evaluation of the Gravataí River sediment quality (Rio Grande do Sul- Brazil) using *Daphnia magna* (Straus, 1820) as the test-organism for toxicity assays. *Acta Limnol. Bras.*, v. 22, n. 4, 2010 .

MAGALHÃES, D. P. & FILHO, A. S. F. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. *Oecol. Brasil*. Vol. 12, n.3, p.355-381, 2008.

MAGALHÃES, N. P., GUIMARÃES, E. S., LACAVA, P. M. *Testes De Toxicidade Com O Organismo Aquático, Daphnia Similis: Uma Ferramenta Para Avaliação Do Impacto Ambiental Dos Efluentes Domésticos Nas Águas De Um Afluente Do Rio Paraíba Do Sul, São Paulo, Brasil*. Disponível em www.sebecologia.org.br/viiceb/resumos/380a.pdf, 2005.

MARKET, B. A., BREURE, A. M., BREURE, A. M., ZECHMEISTER, H.G. *Bioindicators & Biomonitoring: Principles, Concepts, and Applications*. Editora: Elsevier Science, vol. 6, 2003.

MATTEI, D., CATAUDELLA, S., MANCINI, L., LORENZO, T., MIGLIORE, L. Tiber river quality in the stretch of a sewage treatment plant: Effects of riverwater or disinfectants to daphnia and structure of benthic macroinvertebrates community. [Water, Air, and Soil Pollution](#). Vol. 177, [Issue 1-4](#), p. 441-455, 2006.

MATTSON, M. P. *Effects of fluoride on growth, reproduction and survival in Daphnia magna*. Laboratory of Neurosciences, National Institute on Aging Intramural Research Program, disponível em www.sciencedirect.com, 2007.

MENDONÇA, V. S. *Aplicabilidade dos testes de toxicidade aguda com Daphnia magna e Vibrio fischeri, no monitoramento da qualidade das águas de bacias hidrográficas: O caso do rio Ipojuca em Pernambuco*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

MENDONÇA, E.; BRITO, M. F.; PICADO, A.; PAIXÃO, S. M.; SILVA, L. M.; BRITO, F. *Avaliação directa da toxicidade de águas residuais: um caso de estudo*. In: Recursos Hídricos, vol. 28, nº1, p. 84-92, 2007.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. International Edition. Ed. 4, 2003.

MEYER, T. L. *Avaliação da toxicidade de percloratos em Daphnia magna*. Dissertação de mestrado. Mestrado em Toxicologia e Ecotoxicologia. Universidade de Aveiro, 2008.

MIZUTORI, I. S. *Caracterização da qualidade das águas fluviais em meios Peri-urbanos: O caso da Bacia Hidrográfica do Rio Morto – RJ*. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em engenharia ambiental. UERJ – 2009.

MORAIS, A. V., CORTEZ, F. S., BRETAS, E. S., CESAR, A., PEREIRA, C. D. S., SANTOS, A. R. *Avaliação da qualidade ambiental do rio Itaguaré, Bertioga-SP, com base em testes de toxicidade e indicadores microbiológicos de balneabilidade*. O Mundo da Saúde, Ed. 35 n.1, p.55-63, 2011.

MORIARTY, F. *Ecotoxicology*. [Human Toxicology](#), vol. 7, n.5, p. 437-441, 1988.

NEWMAN, M. C. *Ecotoxicology: The History and Present Directions*. Editora: Elsevier B.V., 2008.

OLIVEIRA, D. C. R., CAMPOS, M. F. F. S., SANTOS, C. C., LIMA, I. M., MARREIRA, R. G., ARAUCO, L. R. *Avaliação do crescimento populacional de Daphnia magna, alimentada com diferentes dietas*. Disponível em www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/3553.htm, 2010.

OLIVEIRA-FILHO, E. C., RAMOS, M. G., FREIRE, I. S., MUNIZ, D. H. F. *Comparação entre a eficiência de dois bioindicadores para a determinação da qualidade de águas superficiais em um ambiente urbano*. Disponível em <http://revistas.bvs-vet.org.br/actascibiolsci/article/view/16399>, 2011.

ONU, 2014. Disponível em <http://www.onu.org.br/24-bilhoes-de-pessoas-nao-terao-saneamento-adequado-em-2015-diz-relatorio-da-onu/>, acessado em 07/11/2014.

PASCHOALINO, Matheus P.; MARCONE, Glauciene P. S.; JARDIM, Wilson F. Os *nanomateriais e a questão ambiental*. Quím. Nova, São Paulo, v. 33, n. 2, 2010.

PARVEZ, S.; VENKATARAMAN, C.; MUKHERJI, S. *Toxicity assessment of organic pollutants: Reliability of bioluminescence inhibition assay and univariate QSAR models using freshly prepared Vibrio fischeri*. Toxicology in Vitro, p. 1806-1813, 2008.

PESSINI, L. & BARBIERI, E. *Ecotoxicologia*. O Mundo da Saúde, São Paulo. vol. 37, n. 4, p. 7-8, 2013.

RATTNER, B. A. *História da vida selvagem toxicologia*. Editora: Springer Science, 2009.

REIS, J. A. T., MENDONÇA, A. S. F. *Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água*. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, 2009.

RODRIGUES, N. L. V. B., PAWLOWSKY, U. *Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II A - não inertes e classe II B - inertes*. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, 2007.

ROSA, E.U. *Desenvolvimento de Procedimentos Computacionais para Integração de Sistemas de Informação Geográfica com modelo hidrológico chuva-vazão em Bacias Urbanas*. Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da UERJ, 2002.

RUPPERT, E.E. & BARNES, R.D. *Zoologia dos Invertebrados*. Editora Roca, 6ª Edição, capítulo 14, 2005.

SCIENCE, Disponível em <http://www.scienceinthebox.com/ecotoxicity-testing-pg-products>, acessado em 27/03/2015.

SILVA, E. M. & VAN GEST, C. A. M. Tropical Ecotoxicology. Vrije University, Amsterdam. Disponível em <http://globe.setac.org/2010/september/SEsessions/22.pdf>, 2010.

SILVA, C. P. P Estudos de impactos ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Morto – Jacarepaguá / RJ. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre, 2010.

SISINNO, C. L. S. & OLIVEIRA-FILHO, E. C. Principios de ecotoxicologia ambiental: conceitos e aplicações. Disponível em http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/zoonoses_intoxicacoes/Conceitos_Basicos_de_Toxicologia.pdf, 2013.

STANLEY, J. K., PERKINS, E. J., HABIB, T, SMS, J. G., CHAPPELL, P., ESCALON, B.L., WILBANKS, M., GARCIA-REYERO, N. The good, the bad, and the toxic: approaching hormesis in *Daphnia magna* exposed to an energetic compound. [Environmental Science Technology](#). Vol.47, 2013.

TERRA, N. R., FEIDEN, I. R., LUCHETA, F., GONÇALVES, S. P., GULARTE, J., S. *Bioassay using Daphnia magna Straus, 1820 to evaluate the sediment of Caí River (Rio Grande do Sul, Brazil)*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 22, no. 4, p. 442-454, 2010.

TERRA, N. R.; FEIDEN, I. R. *Reproduction and survival of Daphnia magna Straus, 1820 (Crustacea: Cladocera) under different hardness conditions*. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v.15, n.2, p. 51-55, 2003.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M.. *Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP*. *Eclética Química*, São Paulo, v. 22, p. 49-66, 1997.

WRI. World resources institute. *The Wealth of the Poor: Managing Ecosystems to Fight Poverty*. Wasington DC, 2006.

ZAGATTO, P.A. & BERTOLLETTI, E. *Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações*. Rima, São Carlos, São Paulo, 486p, 2008

Sites acessados

<http://slideplayer.com.br/slide/391407/>, acessado em 10/06/2015.

<http://www.deviantart.com/morelikethis/368873285>, acessado em 23/12/2014.

http://labs.medmicro.wisc.edu/mcfall-ngai/media/news_fall09.html, acessado em 23/12/2014.

https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Vibrio_fischeri, acessado em 23/12/2014.

http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/arquivos/2517_ap4.JPG, acessado em 31/12/2014.

www.rio.rj.gov.br, acessado em 02/01/2015.

<http://acquariofiliaconsapevole.it/sites/default/files/danio-rerio-wild.jpg>, acessado em 22/12/2014.

<http://www.onu.org.br/24-bilhoes-de-pessoas-nao-terao-saneamento-adequado-em-2015-diz-relatorio-da-onu/> acessado em 07/11/2014.

<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>, acessado em 07/11/2014.

<http://alttox.org/mapp/toxicity-endpoints-tests/ecotoxicity/>, acessado em 27/03/2015.

<http://www.scienceinthebox.com/ecotoxicity-testing-pg-products>, acessado em 27/03/2015.

<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas>, acessado em 20/03/2015.

<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>, acessado em 07/11/2014.

ANEXO 1 - Valores dos parâmetros físico-químicos obtidos referentes às coletas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto e seus principais tributários, Rio Branco e Canal Morro do Bruno, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Ponto 3

Parâmetro	Data da Coleta		
	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014
Ph	6,87	6,81	7,64
Cor verdadeira	63 UC	20 UC	18 UC
Cor aparente	63 UC	22 UC	22 UC
Turbidez	2,8 UTN	2,4 UTN	0,4UTN
Condutividade	79,83 $\mu\text{S/cm}$	78,14 $\mu\text{S/cm}$	87,2 $\mu\text{S/cm}^1$
COD	7,225 mg/L	2,304 mg/L	1,873 mg/L
Sólidos Totais	138 mg/L	90 mg/L	120 mg/L
SST	16 mg/L	34 mg/L	30 mg/L
SDT	122 mg/L	56 mg/L	90 mg/L
NH3	*	*	*
Nitrato	0,39 mg/L	*	0,008 mg/L
Nitrito	0,41 mg/L	0,3 mg/L	NR
Óleos e graxas	2,4 mg/L	NR	0 mg/L
DQO	6 mg O ₂ /L	*	*

Ponto 7

Parâmetro	Data da Coleta		
	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014
Ph	6,67	6,85	6,84
Cor verdadeira	119 UC	47 UC	27 UC
Cor aparente	185 UC	69 UC	53 UC
Turbidez	18,9 UTN	3,5 UTN	1,06 UTN
Condutividade	129,7 $\mu\text{S/cm}$	131,2 $\mu\text{S/cm}$	123,1 $\mu\text{S/cm}$
COD	7,25 mg/L	5,02 mg/L	8,32 mg/L
Sólidos Totais	156 mg/L	136mg/L	140 mg/L
SST	14 mg/L	52mg/L	20 mg/L
SDT	142 mg/L	84mg/L	120 mg/L
NH3	*	*	*
Nitrato	1,13 mg/L	0,39 mg/L	1,30 mg/L
Nitrito	1,15 mg/L	0,78 mg/L	NR
Óleos e graxas	0,5 mg/L	NR	2 mg/L
DQO	*	*	*

(*) – Valores abaixo do limite de quantificação do método
NR – Parâmetro não realizado nesta coleta

ANEXO 1 - Valores dos parâmetros físico-químicos obtidos referentes às coletas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto e seus principais tributários, Rio Branco e Canal Morro do Bruno, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Ponto 5										
Data da Coleta										
Parâmetro	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014	14/11/2014	18/11/2014	28/11/2014	02/12/2014	09/12/2014	06/01/2015	09/01/2015
Ph	7,05	7,04	7,6	7,7	7,07	7	7,13	7	7,01	7,43
Cor verdadeira	70 UC	22 UC	14 UC	10 UC	25 UC	53 UC	28 UC	27 UC	66 UC	67 UC
Cor aparente	72 UC	33 UC	27 UC	130 UC	26 UC	84 UC	51 UC	48 UC	139 UC	218 UC
Turbidez	5,9 UTN	2 UTN	0,93 UTN	0,52 UTN	0,44 UTN	0,5 UTN	1,13 UTN	2,5 UTN	6,8 UTN	11,7 UTN
Condutividade	122,5µS/cm	143,2µS/cm	148,2µS/cm	238,7µS/cm	256,2µS/cm	172,7µS/cm	237µS/cm	193,5µS/cm	505,6µS/cm	649,6µS/cm
COD	7,51 mg/L	3,35 mg/L	1,22 mg/L	3,65 mg/L	1,43 mg/L	3,83 mg/L	2,26 mg/L	2,04 mg/L	4,60 mg/L	2,96 mg/L
Sólidos Totais	210 mg/L	136 mg/L	172 mg/L	254 mg/L	240 mg/L	174 mg/L	200 mg/L	162 mg/L	512 mg/L	450 mg/L
SST	10 mg/L	50 mg/L	42 mg/L	58 mg/L	44 mg/L	24 mg/L	22 mg/L	8 mg/L	22 mg/L	26 mg/L
SDT	200 mg/L	86 mg/L	130 mg/L	196 mg/L	196 mg/L	150 mg/L	178 mg/L	154 mg/L	490 mg/L	424 mg/L
NH3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nitrato	1,32 mg/L	2,06 mg/L	2,12 mg/L	4,25 mg/L	5,94 mg/L	2,62 mg/L	5,37 mg/L	5,10 mg/L	1,23 mg/L	1,05 mg/L
Nitrito	0,74 mg/L	0,82 mg/L	NR	NR	NR	NR	NR	0,39 mg/L	1,23 mg/L	2,28 mg/L
Óleos e graxas	3,8 mg/L	48 mg/L	2 mg/L	NR	NR	60 mg/L	NR	NR	NR	NR
DQO	*	*	*	*	2,5 mg O ₂ /L	*	*	*	10 mg O ₂ /L	*

(*) – Valores abaixo do limite de quantificação do método

NR – Parâmetro não realizado nesta coleta

ANEXO 1 - Valores dos parâmetros físico-químicos obtidos referentes às coletas nos pontos 3, 5, 7 e 8 na Bacia do Rio Morto e seus principais tributários, Rio Branco e Canal Morro do Bruno, no período de junho de 2014 a janeiro de 2015.

Parâmetro	Ponto 8									
	Data da Coleta									
	11/06/2014	17/07/2014	01/09/2014	14/11/2014	18/11/2014	28/11/2014	02/12/2014	09/12/2014	06/01/2015	09/01/2015
Ph	7,2	7	7,95	7,58	7,23	7,17	7,33	6,91	8,16	7,23
Cor verdadeira	25 UC	11 UC	4 UC	10 UC	10 UC	28 UC	20 UC	12 UC	21 UC	9 UC
Cor aparente	25 UC	14 UC	30 UC	30 UC	11 UC	31 UC	21 UC	15 UC	39 UC	20 UC
Turbidez	0,16 UTN	0,2 UTN	0,24 UTN	0,4 UTN	0,07 UTN	0,23 UTN	0,18 UTN	0,03 UTN	NR	1,12 UTN
Condutividade	60,63µS/cm	41,96µS/cm	45,18µS/cm	94,63µS/cm	81,44µS/cm	79,23µS/cm	82,4µS/cm	75,52µS/cm	73,81µS/cm	91,32µS/cm
COD	2,48 mg/L	3,27 mg/L	1,51 mg/L	3,26 mg/L	2,1 mg/L	2,76 mg/L	2,11 mg/L	1,60 mg/L	2,01 mg/L	0,94 mg/L
Sólidos Totais	170 mg/L	158 mg/L	136 mg/L	192 mg/L	148 mg/L	152 mg/L	112 mg/L	126 mg/L	134 mg/L	564 mg/L
SST	34 mg/L	20 mg/L	48 mg/L	76 mg/L	40 mg/L	44 mg/L	26 mg/L	12 mg/L	60 mg/L	38 mg/L
SDT	136 mg/L	138 mg/L	88 mg/L	116 mg/L	108 mg/L	108 mg/L	86 mg/L	114 mg/L	74 mg/L	526 mg/L
NH3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nitrato	0,532	0,025	0,054	0,91443	0,574664	0,843121	0,717282	0,74245	0,578	0,51
Nitrito	1,19 mg/L	0,41 mg/L	NR	NR	NR	NR	NR	0,04 mg/L	0,04 mg/L	0,07 mg/L
Óleos e graxas	0,7 mg/L	NR mg/L	0 mg/L	1,6 mg/L	36 mg/L	52 mg/L	NR	NR	NR	NR
OD	8,77 mg/L	10,72 mg/L	8,25 mg/L	7,39 mg/L	6,88 mg/L	7,28 mg/L	6,89 mg/L	7,08 mg/L	9,01 mg/L	9,46 mg/L
DQO	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

(*) – Valores abaixo do limite de quantificação do método

NR – Parâmetro não realizado nesta coleta

ANEXO 2 - Resultados dos testes crônicos com diluições realizados em *Daphnia similis*.**Coleta 1 (11/06/2014) - Ponto 5**

Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	NT
50%	NT
25%	EH
12,50%	EH
6,25%	EH

Coleta 1 (11/06/2014) - Ponto 8

Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	TÓXICO
50%	TÓXICO
25%	TÓXICO
12,50%	TÓXICO
6,25%	TÓXICO

Coleta 3 (01/09/2014) - Ponto 5

Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	NT
50%	EH
25%	NT
12,50%	NT
6,25%	EH

Coleta 3 (01/09/2014) - Ponto 8

Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	NT
50%	EH
25%	NT
12,50%	NT
6,25%	NT

NT – Não Tóxico

EH – Efeito Hormesis

ANEXO 2 - Resultados dos testes crônicos com diluições realizados em *Daphnia similis*.

Coleta 4 (14/11/2014) - Ponto 5	
Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	EH
50%	EH
25%	EH
12,50%	EH
6,25%	EH

Coleta 4 (14/11/2014) - Ponto 8	
Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	EH
50%	EH
25%	EH
12,50%	EH
6,25%	EH

Coleta 5 (18/11/2015) - Ponto 5	
Concentração Amostra	Resultado teste crônico
100%	EH
50%	EH
25%	EH
12,50%	EH
6,25%	EH

NT – Não Tóxico

EH – Efeito Hormesis