



Programa De Pós-Graduação *Lato Sensu*
Especialização em Gestão Ambiental
Campus Nilópolis

Camilla Magalhães Pereira

ECOTOXICOLOGIA COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO NA GESTÃO DE
EFLUENTES: Um estudo de caso em uma empresa na área de saneamento ambiental no Rio
de Janeiro-RJ

Nilópolis- RJ
2017

Camilla Magalhães Pereira

ECOTOXICOLOGIA COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO NA GESTÃO DE
EFLUENTES: Um estudo de caso em uma empresa na área de saneamento ambiental no Rio
de Janeiro-RJ

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título de especialista em
Gestão Ambiental.

Orientador: Prof^ª. Msc. Luiggia Girardi Bastos Reis de Araújo

Nilópolis- RJ
2017

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ

P436e Pereira, Camilla Magalhães
 Ecotoxicologia como ferramenta de monitoramento na gestão de efluentes: um estudo de caso em uma empresa na área de saneamento ambiental no Rio de Janeiro-RJ / Camilla Magalhães Pereira. -- Nilópolis, RJ, 2017.
 54 f. : il. ; 30 cm.

 Trabalho de conclusão de curso (Pós-Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, 2017.

 Orientação: Luiggia Girardi Bastos Reis de Araújo

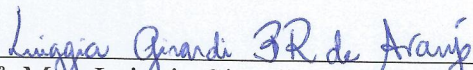
 1. Ecotoxicologia. 2. Efluentes industriais. 3. Danio rerio. 4. Daphnia similis. 5. Monitoramento. I. Título.

Camilla Magalhães Pereira

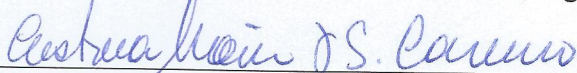
ECOTOXICOLOGIA COMO FERRAMENTA DE MONITORAMENTO NA
GESTÃO DE EFLUENTES: um estudo de caso em uma empresa na área de
saneamento ambiental no Rio de Janeiro-RJ

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título
de especialista em Gestão Ambiental.

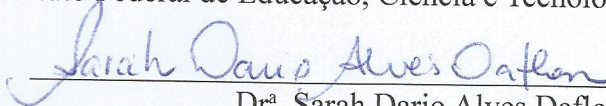
Data de aprovação: 13/12/2017



Prof.^a Msc. Luígia Girardi Bastos Reis de Araújo (orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro



Prof.^a Msc Cristina Maria Teixeira Soares Carneiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro



Dr.^a Sarah Dario Alves Daflon
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Nilópolis - RJ
2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado a chance de caminhar até aqui, pela benção de alcançar meus objetivos e nunca desistir de mim, sempre me colocando no caminho certo.

Ao meu noivo Thales por mais uma vez estar ao meu lado, me ajudando e apoiando em cada etapa percorrida até aqui, por toda paciência em ler e reler várias vezes todo o meu trabalho, por pensar junto comigo nos momentos em que eu parecia perdida. Obrigada, amo você por demais.

Ao meu filho Diego, que com 10 anos já possui a compreensão do quanto é importante a realização de um trabalho. Por tantos beijos e abraços todos os dias. Amo você incondicionalmente.

Aos meus pais e irmã Priscilla por todo amor, ensinamento, carinho e apoio em todos os dias da minha vida. Obrigada por sempre acreditarem em mim. Amo vocês.

À professora e amiga Luiggia por ter aceitado me orientar.

Aos professores do curso de Gestão Ambiental do IFRJ de Nilópolis por todo ensinamento, conhecimento e dedicação, foi uma experiência única poder ter aula com cada um de vocês.

À empresa TECMA por mais uma vez conceder espaço para a realização do meu trabalho.

À grande amiga Sarah Dario por aceitar participar da banca. Obrigada por estar comigo mais uma vez.

À querida professora Cristina por aceitar participar da banca.

À melhor turma de Gestão Ambiental do campus de Nilópolis, sem dúvidas: Roberta, Thaís, Claire, Renata Josephnia, Renata Cazé, Aline, Luzia, Luiz, Enio e Renan. Obrigada pelo companheirismo nas quintas e sábados, por ser essa turma tão unida, pelas risadas, comidas e palavras de incentivo. Vou levar vocês para a vida inteira.

Ao coordenador do Curso de Gestão Ambiental Marco Aurélio pela atenção e dedicação dada ao longo de todo o curso.

A todos que estiveram presentes, que me apoiaram e não foram citados aqui.

“O impossível existe até que alguém duvide dele e prove o contrário.” (Albert Einstein)

PEREIRA, Camilla Magalhães. *Ecotoxicologia como ferramenta de monitoramento na gestão de efluentes: Um estudo de caso em uma empresa na área de saneamento ambiental no Rio de Janeiro-RJ*, 54 p. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* de Especialização em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2017.

RESUMO

O lançamento de efluentes líquidos industriais nos corpos receptores é uma das maiores causas de poluição hídrica. Devido à complexidade e diversidade desses efluentes, evidencia-se a necessidade de um sistema de tratamento eficiente e um monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos em conjunto com os ecotoxicológicos. O presente estudo de toxicidade é uma ferramenta importante para avaliar e prever o risco ambiental causado por determinado poluente no ambiente. O estudo teve como objetivo principal o levantamento de dados do monitoramento ecotoxicológico de diversos tipos de efluentes tratados que são realizados em uma empresa de saneamento. E a partir desses dados poder avaliar o grau de toxicidade e a eficiência dos processos de tratamento utilizados comparando os dados obtidos com os padrões legais de lançamento. Foram analisados os efluentes das seguintes indústrias: Alimentícia, Bebidas, Farmacêutica, Rações, Produtos Químicos e Lubrificantes. Os ensaios foram realizados no laboratório de Ecotoxicologia Aquática da Tecma Ltda e foram utilizados como organismos-teste o peixe *Danio rerio* e o microcrustáceo *Daphnia similis*. A coleta de dados foi realizada no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017. Os efluentes tratados das indústrias Alimentícia I, Alimentícia II, Farmacêutica e Lubrificantes não apresentaram toxicidade aguda a nenhum dos organismos, ficando com valores de FT=1 para o *Danio rerio* e FT 1 e 2 para *Daphnia similis* indicando uma eficiência no tratamento de seus efluentes. Já os efluentes das indústrias de Rações, Produtos Químicos e Bebidas apresentaram toxicidade em determinadas coletas. Notou-se que o efeito tóxico foi maior na *Daphnia similis* do que no *Danio rerio*, dessa forma, reforça a necessidade de que deve haver exigência de ensaios de ecotoxicidade com mais de um organismo, por parte das autoridades competentes no estado do Rio de Janeiro. A legislação em vigor, a Norma Técnica 213 R.04 exige o uso de apenas um organismo para os ensaios ecotoxicológicos (agudo), o peixe *Danio rerio*. A legislação federal, a Resolução do CONAMA 430 define o uso de dois níveis tróficos distintos. A partir dos resultados obtidos pode-se observar que a Ecotoxicologia é fundamental para controle e o monitoramento ambiental efetivo dos efluentes, buscando uma forma de causar o menor risco para a biota, contribuindo com o sistema de gestão ambiental. Para uma melhor gestão dos efluentes, recomenda-se a otimização do sistema de tratamento, treinamento de operadores, bem como realização de estudos de AIT (Avaliação e Identificação de Toxicidade), o qual podem identificar os compostos responsáveis pela toxicidade.

Palavras-chave: Ecotoxicologia. Efluentes Industriais. *Danio rerio*. *Daphnia similis*. Monitoramento.

PEREIRA, Camilla Magalhães. *Ecotoxicologia como ferramenta de monitoramento na gestão de efluentes: Um estudo de caso em uma empresa na área de saneamento ambiental no Rio de Janeiro-RJ* 54 p. Trabalho de conclusão de curso. Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* de Especialização em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Nilópolis, Nilópolis, RJ, 2017.

ABSTRACT

The discharge of industrial wastewater into the receiving bodies is one of the major causes of water pollution. Due to complexity and diversity of these effluents, there is a need for an efficient treatment system and continuous monitoring of physicochemical parameters along with ecotoxicological parameters. The main objective of the present study was to collect data on the ecotoxicological monitoring of several types of treated effluents, to evaluate the toxicity and the efficiency of the treatment processes used, comparing the data obtained with the discharge standards. Effluents from the following industries were analyzed: Food, Beverages, Pharmaceuticals, Animal Food, Chemicals and Lubricants. The tests were carried out in Tecma Ltda's Aquatic Ecotoxicology laboratory and the *Danio rerio* fish and the microcrustacean *Daphnia similis* were used as test organisms. Data collection was carried out from January 2017 to October 2017. The treated effluents from the Food I, Food II, Pharmaceutical and Lubricants industries did not present acute toxicity to any of the organisms, with values of TF = 1 for *Danio rerio* and TF 1 and 2 for *Daphnia similis* indicating an efficiency in the treatment of their effluents. On the other hand, the effluents from the food, chemical and beverage industry presented toxicity in certain sampling campaigns. It was noted that the toxic effect was higher in *Daphnia similis* than in *Danio rerio*, thus reinforcing that there should be a need for ecotoxicity testing with more than one organism by the competent authorities in the state of Rio de Janeiro. The existing legislation, Technical Standard 213 R.04, requires the use of only one organism for the ecotoxicological (acute) tests, the *Danio rerio* fish. Federal legislation, the Resolution CONAMA 430, defines the use of two distinct trophic levels organisms. From the results obtained it can be observed that Ecotoxicology is fundamental for the control and the effective environmental monitoring of the effluents, looking for a way to cause the lowest risk for the biota, contributing with the environmental management system. For better management of the effluent, it is recommended to optimize the treatment system, train operators and carry out TIE (Toxicity Identification Evaluation) studies, which can identify the compounds responsible for the toxicity.

Keywords: Ecotoxicology. Industrial Wastewater. *Danio rerio*. *Daphnia similis*. Monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. <i>Daphnia similis</i> adulta	23
Figura 2. Ciclo de Vida de <i>Daphnia similis</i>	24
Figura 3. <i>Danio rerio</i> em aquário	26
Figura 4. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria de Bebidas com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	39
Figura 5. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria Farmacêutica com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	41
Figura 6. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria Alimentícia I com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	42
Figura 7. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria de Alimentícia II com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	43
Figura 8. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria de Lubrificantes com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	44
Figura 9. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria de Rações com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Maio de 2017 a Outubro de 2017	46
Figura 10. Resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o efluente final da ETEI da Indústria de Produtos Químicos com os organismos <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> no período de Janeiro de 2017 a Outubro de 2017	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação FT e concentração de efeito não observado	22
Tabela 2	Limites máximos de ecotoxicidade aguda dos efluentes de diferentes origens estabelecidos pela portaria 017/02 FATMA	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CENO	Concentração de efeito não observado
CE(I)50	Concentração efetiva a 50% dos organismos-testes
CL(I)50	Concentração letal a 50% dos organismos-testes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente/RS
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETEI	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
FT	Fator de toxicidade
INEA	Instituto Estadual do Meio Ambiente/RJ
NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
UT	Unidade de toxicidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	A ECOTOXICOLOGIA NA GESTÃO AMBIENTAL	17
3.1.1	História e Evolução da Ecotoxicologia Aquática	17
3.1.2	Aplicações dos ensaios ecotoxicológicos na Gestão Ambiental	19
3.2	CONCEITOS IMPORTANTES RELATIVOS À ECOTOXICOLOGIA	19
3.2.1	Escolha do Organismo-teste	19
3.2.2	Classificação e características dos ensaios ecotoxicológicos	20
3.2.3	Terminologia em ensaios ecotoxicológicos	21
3.2.4	Principais organismos-teste utilizados em testes brasileiros de toxicidade	23
3.2.4.1	<i>Daphnia similis</i> Claus, 1876 (<i>Crustacea, Cladocera</i>)	23
3.2.4.2	<i>Danio rerio</i> Buchanan, 1822 (<i>Cyprinidae</i>)	25
3.3	EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS	26
3.3.1	Caracterização de Efluentes Industriais	27
3.3.1.1	Efluentes de indústria Farmacêutica	27
3.3.1.2	Efluentes de indústria Alimentícia	28
3.3.1.3	Efluentes de indústria de Bebidas	28
3.3.1.4	Efluentes de indústria de Lubrificantes	28
3.3.1.5	Efluentes de indústria de Produtos Químicos	28
3.3.1.6	Efluentes de indústria de Rações	28
3.3.2	Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais	29
3.4	LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS PERTINENTES A ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE	30
3.4.1	Legislações Federais	31
3.4.1.1	Resolução CONAMA 430/2011	31
3.4.2	Legislações Estaduais	32
3.4.2.1	Legislação do Rio de Janeiro (NT 202/1986)	32
3.4.2.2	Legislação do Rio de Janeiro (NT 213/1990)	32

3.4.2.3	Legislação de São Paulo (SMA-3/2000)	33
3.4.2.4	Legislação de Santa Catarina (FATMA 017/02)	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM, COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS	35
4.2	CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DOS EFLUENTES EM ESTUDO	36
4.2.1	Ensaio de Ecotoxicidade Aguda com <i>Danio rerio</i>	36
4.2.2	Ensaio de Ecotoxicidade Aguda com <i>Daphnia similis</i>	37
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS	39
5.2	EFLUENTES DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA	41
5.3	EFLUENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA I	42
5.4	EFLUENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA II	43
5.5	EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LUBRIFICANTES	44
5.6	EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE RAÇÕES	45
5.7	EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS QUÍMICOS	47
	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A água é imprescindível à sobrevivência de todos os organismos. Por isso, a sua disponibilidade, quantidade e qualidade são fatores importantes na manutenção dos ecossistemas. A qualidade da água inclui a presença de íons e outros compostos essenciais à vida assim como a ausência de substâncias (BRAGA, 2005).

Grande parte da humanidade, com o advento da revolução industrial, tornou-se capaz de modificar o ambiente ampla e profundamente. Somado ao desenvolvimento econômico em conjunto com o crescimento demográfico, um grande número de substâncias químicas é lançado nos ecossistemas terrestres e aquáticos e na atmosfera. Essas substâncias, dependendo da origem, propriedades físico-químicas, quantidade em que são liberadas e das características do ambiente, podem ser transformadas no ambiente através de diferentes processos (CETESB, 2010). Como consequência destas atividades, tem-se observado uma alteração da qualidade da água e redução da biodiversidade aquática, em função da desestruturação do ambiente físico-químico e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas (GOULART e CALLISTO, 2003; ALLAN, 2004).

Com a grande diversidade de atividades industriais, durante o processo produtivo é gerada uma grande quantidade de resíduos que podem contaminar o meio ambiente. É recomendado que esses resíduos passem por uma caracterização e tratamento de forma adequada antes da sua disposição final. Alguns desses resíduos são os efluentes líquidos oriundos de plantas industriais e de ambientes domésticos. Muitos desses efluentes são complexos e carregam em si uma diversidade de poluentes que deságuam nos corpos hídricos receptores (PEREIRA *et al.*, 2002).

A diversidade dos efluentes e seus diferentes processos de tratamento vêm sendo amplamente estudados. Sabe-se que substâncias químicas podem atuar de maneiras diferentes no ambiente e nos seres vivos, estejam elas separadas ou combinadas entre si. As análises físico-químicas não retratam o impacto ambiental causado pelos poluentes e nem conseguem mensurar sua carga tóxica, não sendo suficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes. Por isso a necessidade de abordagens biológicas e ecotoxicológicas (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008). De acordo com Costa *et al.* (2008, p.1820), “enquanto as análises químicas identificam e quantificam as concentrações das substâncias tóxicas, os testes de ecotoxicidade avaliam o efeito dessas substâncias sobre sistemas biológicos”. Assim uma abordagem complementa a outra. Por estes motivos, devem-se empregar avaliações

químicas, físicas e biológicas em conjunto, a fim de se obter respostas objetivas para posteriormente ter uma decisão precisa quanto às ações de proteção ao meio ambiente (COSTA *et al.*, 2008).

Um dos integrantes da gestão ambiental é o gerenciamento ambiental, que engloba ações para uso, controle e proteção do meio ambiente (ALMEIDA, 2014). Como instrumento regulatório de gerenciamento ambiental, temos a lei 6938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA). Alguns dos seus principais instrumentos da PNMA são: o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento de atividades poluidoras (BRASIL, 1981). O estabelecimento de padrões de qualidade objetiva, por exemplo, que os lançamentos dos esgotos tratados nos corpos d'água estejam dentro do limite permitido pelas legislações pertinentes considerando o equilíbrio do meio ambiente e preservando a vida aquática e a saúde pública (BRASIL, 1981).

Dessa forma, estudos que visem o monitoramento da qualidade da água tornam-se uma ferramenta imprescindível no gerenciamento dos recursos hídricos, pois é uma forma de avaliar a qualidade dos ambientes aquáticos e de fiscalizar as ações humanas. Esse instrumento oferece importantes respostas para os sistemas de gestão no que se refere às tomadas de decisões, buscando o controle e a proteção dos recursos hídricos. Esses estudos incluem o monitoramento de variáveis físico-químicas, como também o biomonitoramento, o qual faz uso da resposta de organismos em relação às alterações ocorridas no ambiente, apresentando vantagens, pois conseguem fornecer informações mais complexas sobre o impacto sofrido pelos ecossistemas (ANDRADE, 2004).

Há muitos anos a aplicação de bioensaios vem sendo implementada por órgãos ambientais em diversos países, seja em rotinas de licenciamento e fiscalização de atividades potencialmente poluidoras, como no monitoramento da qualidade das águas. Esses bioensaios têm sido utilizados com maior frequência em ações preventivas e não apenas avaliar impactos que já ocorreram, como por exemplo, detectar riscos ambientais futuros do potencial tóxico que substâncias liberadas no meio ambiente possam vir a causar danos (KNIE e LOPES, 2004).

De acordo com Rubinger (2009, p. 02), “as medidas de gerenciamento e monitoramento para a avaliação e controle dos agentes tóxicos presentes na água e no sedimento são ferramentas de mitigação de impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos”. O biomonitoramento de agentes tóxicos vem sendo empregado cada vez mais por órgãos ambientais, seja para a gestão ambiental de recursos hídricos, como também em indústrias que

estão preocupadas com o controle e gestão correta de seus efluentes (RUBINGER, 2009).

A necessidade e utilização de ensaios ecotoxicológicos estão previstas na Resolução nº 430/ 2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe, dentre outros temas, sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. De acordo com o Art. 18, § 1 desta resolução: “os critérios de ecotoxicidade previstos no caput deste artigo devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos aceitos pelo órgão ambiental, realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes”. Ainda de acordo com esse artigo, o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2011).

Pelo fato de que leis ambientais são baseadas e reformuladas a partir de trabalhos científicos, essa pesquisa torna-se importante, pois os ensaios de toxicidade apresentam-se como ferramentas para a compreensão dos efeitos dos contaminantes sobre o compartimento biótico, auxiliando a legislação e tornando o monitoramento ambiental mais efetivo através da resposta de organismos vivos (MAGALHÃES e FERRÃO FILHO, 2008).

Os ensaios ecotoxicológicos vêm sendo aplicados como ferramenta de monitoramento ambiental e monitoramento e controle da eficiência do tratamento de efluentes líquidos, principalmente os que se constituem de substâncias consideradas tóxicas. De acordo com Martins (2008, p. 11):

“Ensaios de toxicidade que utilizam organismos vivos permitem comparar o potencial ecotoxicológico de um determinado efluente, antes e após seu tratamento, possibilitando monitorar o desempenho do seu sistema de tratabilidade e verificar se o efluente tratado cumpre com a exigência dos órgãos ambientais” (MARTINS, 2008).

É fundamental que seja feita avaliação de efluentes para controle e monitoramento dos descartes líquidos no ambiente, identificando sempre o perigo prévio, de forma a prevenir um dano maior, proteger a saúde humana, a biota aquática e o ambiente. Assim, para averiguar o grau de poluição do ambiente de forma qualitativa ou quantitativa, são usados organismos biomonitores padronizados em laboratório, que possuem respostas específicas e particulares aos mais variados tipos de poluentes (METCALF e EDDY, 2003).

A utilização de organismos para estudos ecotoxicológicos tem sido de grande importância para estabelecer os efeitos dos efluentes nos corpos hídricos (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008). Nesse sentido, espera-se que esta pesquisa forneça um estudo do perfil de diversos tipos de efluentes, reforçando a importância do monitoramento da qualidade dos mesmos a fim de mantê-los com características dentro dos limites permitidos pelas legislações

ambientais pertinentes, identificando se os mesmos cumprem com o padrão de lançamento e identificando o nível de intensidade e o potencial do dano causado pelo poluente e, a partir desses resultados, se necessário, promover soluções para a redução de toxicidade nos efluentes. A partir desse estudo, pretende-se que o trabalho seja fonte de embasamento teórico e científico para futuros estudos e ações de políticas públicas relacionadas ao uso da água e a preservação de mananciais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o levantamento de dados ecotoxicológicos do monitoramento de diversos tipos de efluentes líquidos tratados em uma empresa de saneamento no município do Rio de Janeiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar os efeitos tóxicos dos diversos tipos de efluentes tratados usados nesse estudo.
- Descrever o tipo de tratamento utilizado e o desempenho do processo de tratamento dos efluentes analisados nesse estudo.
- Comparar os dados obtidos nesse estudo com os padrões legais de lançamento de efluentes líquidos.
- Gerar mais uma fonte de discussão da necessidade de utilizar a Ecotoxicologia como ferramenta auxiliar no monitoramento ambiental.
- Discutir alternativas, se necessário, para controle e tratamento da redução da toxicidade dos efluentes.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A ECOTOXICOLOGIA NA GESTÃO AMBIENTAL

3.1.1. História e Evolução da Ecotoxicologia

O conceito de Ecotoxicologia foi introduzido pela primeira vez pelo toxicologista francês René Truhaut em 1969 em Estocolmo (MAGALHÃES e FERRÃO FILHO, 2008). O termo deriva das palavras ecologia (ciência que estuda a relação dos seres vivos entre si e o ambiente que o cerca) e toxicologia (ciência que estuda o efeito de um agente químico em uma dada espécie) e seu conceito se dá por ser uma ciência que estuda os efeitos de um ou mais agentes químicos sobre uma população ou comunidade de organismos e seus reflexos sobre o ecossistema (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Os organismos já têm sido utilizados para avaliar a qualidade do meio em que vivem desde antes da Era Cristã. Há relatos de que Aristóteles (384-322 a. C.) submeteu peixes de água doce ao ambiente de água do mar para estudar suas reações. Na História, o primeiro teste de toxicidade relatado foi realizado com insetos aquáticos em 1816 (RUBINGER, 2009).

Entre 1863 e 1917, foram realizados os primeiros testes de toxicidade com despejos industriais, porém, somente na década de 1930, foram implementados alguns testes de toxicidade aguda com organismos aquáticos, que tiveram como objetivo estabelecer a relação de causa/efeito de substâncias químicas e despejos líquidos (RUBINGER, 2009).

Na década de 80, foram desenvolvidos métodos padronizados utilizando organismos aquáticos pela USEPA (Agência de Proteção Americana dos Estados Unidos da América) e OECD (Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento) (RUBINGER, 2009).

No Brasil, a primeira iniciativa foi em 1975, onde foi desenvolvido um programa internacional de padronização de testes de toxicidade aguda com peixes, pelo Comitê Técnico de Qualidade das Águas da International Organization for Standardization (ISO), com participação da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a convite da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Rubinger (2009) em seu trabalho analisou os tipos de métodos de ensaios existentes empregados na avaliação ecotoxicológica de efluentes industriais e afirma que tais métodos de ensaios representam a base da ecotoxicologia. A mesma visa a regulamentação de

parâmetros de qualidade das águas e do lançamento de efluentes sem que os mesmos causem danos aos corpos hídricos receptores e, além disso, auxiliam na pesquisa e compreensão das transformações que substâncias químicas podem sofrer no meio ambiente bem como sua biomagnificação ao longo da cadeia trófica.

Dessa forma a Ecotoxicologia surge como uma ferramenta de monitoramento ambiental com objetivo único de estudar os mecanismos de ação de poluentes presentes no ambiente e seus efeitos sobre os seres vivos através da resposta dos organismos.

De acordo com Bertoletti *et al.* (1992), o monitoramento ambiental através de análises ecotoxicológicas aliadas a outros métodos torna-se uma importante ferramenta na avaliação da toxicidade do efluente como um todo aos organismos aquáticos.

Os estudos nessa área vêm aumentando cada vez mais, a preocupação pelo equilíbrio ambiental se tornou mundial. A quantidade de métodos e normas padronizados em vigor traz um maior grau de confiabilidade dos resultados ecotoxicológicos obtidos (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

Em seu estudo, Guimarães (2007) realizou um levantamento sobre o gerenciamento dos recursos hídricos no município de Barão de Cocais, em Minas Gerais, utilizando testes preliminares de toxicidade com *Daphnia* spp e *Ceriodaphnia* spp como suporte. A autora identificou toxicidade em alguns pontos na bacia do município mostrando que as condições desse local não estavam satisfatórias e indicou o despejo de efluentes no entorno da bacia como a principal causa de toxicidade.

No estudo de Lessa (2010), o autor avaliou a qualidade da água do reservatório da Lagoa da Pampulha através do ensaio de ecotoxicidade aguda utilizando o bioindicador *Daphnia similis*. As análises de ecotoxicidade aguda mostraram ausência de toxicidade em todos os pontos amostrados do reservatório da Pampulha, mesmo nas amostras brutas com concentração de 100%.

Os estudos mostram que esses organismos são bons indicadores que podem fornecer respostas do ecossistema frente a determinado impacto ambiental. A Ecotoxicologia é uma ferramenta auxiliar imprescindível nos estudos ambientais, pois ela consegue mensurar a carga tóxica de determinado poluente que esteja causando impacto, seja no ecossistema, seja em um efluente. Dessa forma ela poderá contribuir nas tomadas de decisões e ações na gestão de recursos hídricos, na gestão de efluentes, em educação ambiental e no monitoramento efetivo (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

3. 1. 2. Aplicações dos ensaios ecotoxicológicos na Gestão Ambiental

Os ensaios ecotoxicológicos possuem diversas aplicações na gestão ambiental. Podem ser usados pelo órgão ambiental competente como métodos para estabelecer padrões de qualidade da água e limites de lançamentos de efluentes em corpos hídricos. Em processos de licenciamento, podem ser ferramentas exigidas como condicionantes para programas de risco e monitoramento ambiental. Em empreendimentos, são ferramentas importantes para monitoramento e avaliação do processo de tratamento de efluentes industriais. No desenvolvimento de novos produtos, são testes importantes para determinar as concentrações de efeito não deletério, agudo e letal dos princípios ativos contidos no produto. Em estudos prévios de impacto ambiental, podem ser instrumentos importantes no desenvolvimento de estimativas e planos de ação quanto a impactos que um determinado acidente ambiental pode causar. Por último, ensaios ecotoxicológicos são dispositivos significantes na avaliação de passivos ambientais, em áreas contaminadas (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

3. 2. CONCEITOS IMPORTANTES RELATIVOS À ECOTOXICOLOGIA

3. 2. 1. Escolha do Organismo-teste

Várias espécies têm sido utilizadas em ensaios de ecotoxicidade aquática. Dentre os principais organismos destacam-se: algas, microcrustáceos, equinoides, poliquetas, oligoquetas, peixes, bactérias e ciliados (APHA, 2012; MAGALHÃES e FERRÃO FILHO, 2008).

Para a escolha do organismo-teste geralmente usam-se diversos critérios de seleção. É ideal que o organismo-teste tenha fácil disponibilidade de obtenção (não sendo endêmico a um ambiente restrito) e que possa ser encontrado em número considerável na natureza. O organismo precisa ter significativa representação ecológica, de forma que sua eliminação por efeito tóxico em uma comunidade represente um efeito que desestabilize toda a comunidade e justifique sua utilização como bioindicador de qualidade. Para que se possam ter conclusões confiáveis sobre os efeitos de uma substância à sobrevivência de um determinado organismo-teste, é importante ter conhecimento da sua biologia, fisiologia e hábitos alimentares, assim como da sua estabilidade genética e uniformidade de suas populações. Por exemplo, o ideal é que a espécie escolhida seja de pequeno porte e de ciclo de vida simples e curto, para que os

testes possam ser de fácil manipulação e em tempo de realização razoável. Organismos-teste devem ter sensibilidade relativamente constante a uma diversidade de agentes químicos para a obtenção de resultados exatos e reprodutíveis. É essencial que a espécie tenha facilidade de cultivo para a viabilidade e continuidade dos testes no laboratório. Também é desejável que a espécie seja nativa (MAGALHÃES e FERRÃO FILHO, 2008; RUBINGER, 2009).

3. 2. 2. Classificação e características dos ensaios ecotoxicológicos

Os ensaios ecotoxicológicos podem ser classificados em agudos e crônicos, diferenciando apenas na duração da exposição dos organismos teste e na severidade das respostas finais avaliadas (COSTA *et al.*, 2008).

O ensaio de toxicidade aguda é ideal para avaliar efeitos deletérios e rápidos, sofridos por organismos expostos a substâncias tóxicas em um curto período de tempo, usualmente de um a quatro dias (CETESB, 2010). Esses ensaios podem ser preliminares, aqueles que determinam a faixa de concentrações a serem testadas para uma substância, ou definitivos, aqueles que vão determinar as concentrações que causam efeito agudo. Os ensaios de toxicidade aguda com espécies de cladóceros, misidáceos e peixes são os mais difundidos, se tornando bastantes úteis em avaliações da qualidade de água, toxicidade de efluentes industriais, domésticos, entre outros (CETESB, 2010).

Geralmente em estudos ecotoxicológicos, ensaios de toxicidade aguda são os primeiros a serem realizados, como sendo uma forma preliminar de determinar se a substância testada é biologicamente ativa em relação ao critério que está sendo avaliado. Os critérios de avaliação em um ensaio agudo são, mortalidade ou imobilidade, nos casos de peixe e microcrustáceo, respectivamente. Exemplo, no caso de ensaios com os microcrustáceos *Daphnia* sp., a expressão de resultado é dada pela Concentração Efetiva Mediana (CE(I)₅₀) (CETESB, 2010).

Já o ensaio de toxicidade crônica permite avaliar os efeitos deletérios aos organismos expostos por um longo período de tempo a concentrações subletais de uma substância, que, num ensaio agudo podem passar despercebidas. Embora essas concentrações não sejam letais, podem causar alterações no comportamento. Nestes ensaios de toxicidade crônica utiliza-se parte do ciclo de vida ou estágios iniciais de vida do organismo-teste, expondo os períodos críticos da vida do organismo (CETESB, 2010).

A intoxicação crônica pode ocorrer por dois motivos. Um dos motivos é a acumulação

do xenobiótico (agentes poluentes) no organismo, que ocorre quando a quantidade de xenobiótico eliminada é inferior à quantidade absorvida. A concentração do agente tóxico no organismo aumenta progressivamente até se obter níveis suficientes para gerar efeitos adversos. Dessa forma o xenobiótico pode não causar dano letal, mas interferir em atividades fisiológicas, metabólicas ou reprodutivas do organismo. Outro motivo é a adição dos efeitos causados por exposições repetidas, sem o acúmulo do agente tóxico no organismo (CHASIN e AZEVEDO, 2003).

Através dos dados de mortalidade e reprodução é possível determinar o CENO (Concentração de Efeito Não Observado) e CEO (Concentração de Efeito Observado), onde CENO é a maior concentração do agente tóxico, onde não se observam efeitos deletérios estatisticamente significativos na sobrevivência e reprodução dos organismos, durante o período de exposição dos organismos-teste. O CEO significa a menor concentração do agente tóxico, onde efeitos deletérios estatisticamente significativos são observados na sobrevivência e reprodução dos organismos (CETESB, 2010).

Mundialmente os organismos aquáticos mais utilizados em ensaios de ecotoxicidade crônica são os do gênero *Daphnia* (utilizados com maior frequência nos testes com novas formulações químicas), com duração de 21 dias, e o gênero *Ceriodaphnia*, de sete dias de duração (mais utilizado em ensaios crônicos de amostras ambientais, como águas e efluentes líquidos) (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

3. 2. 3. Terminologia em ensaios ecotoxicológicos

De acordo com as normas NBR 15088 (ABNT, 2016a) e NBR 12713 (ABNT, 2016b) destacam-se as principais terminologias, como: ecotoxicidade, efeito agudo, efeito crônico, efeito letal, concentração letal mediana, concentração efetiva mediana, concentração de efeito não observado, concentração de efeito observado e fator de diluição. A **ecotoxicidade** pode ser definida como a “propriedade inerente de agente químico que produz efeitos danosos a um organismo quando este é exposto, durante um período de tempo, a determinadas concentrações” (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; CETESB, 2010). O **efeito agudo** corresponde ao efeito deletério, rápido (geralmente em até 24 horas) e severo (dano biológico grave ou morte), causado por agentes químicos a organismos vivos. Este efeito também ocorre e pode ser testado em tempos de exposição de até 96 horas (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; RUBINGER, 2009). O **efeito crônico** corresponde ao efeito deletério desenvolvido e

manifestado em um organismo-teste após longo período de exposição a um ou mais agentes químicos. Geralmente, esse efeito é observado após dias, meses ou anos, dependendo do ciclo vital da espécie estudada (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; RUBINGER, 2009). O **efeito letal** é a terminologia utilizada para a morte do organismo-teste em resposta à ação direta à concentração de um agente tóxico (ABNT, 2016a; ALVES, 2010). A **concentração letal mediana** (CL(I)50... h) representa o efeito agudo de letalidade a 50% ou mais dos organismos testados, causado pela concentração inicial de um agente tóxico, num período de exposição de 0 às 96h (ABNT, 2016a; ALVES, 2010). A **concentração efetiva mediana** (CE(I)50... h) representa o efeito agudo de imobilidade (o mais comum) a 50% ou mais dos organismos testados, causado pela concentração inicial de um agente tóxico, num período de exposição de 0 às 96h (ABNT, 2016a; ALVES, 2010). A **concentração de efeito não observado** (CENO) é expressa como a concentração máxima avaliada do agente tóxico incapaz de causar dano, estatisticamente significativo, na sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos organismos-teste, durante um específico tempo de exposição (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; RUBINGER, 2009). Já a concentração de efeito observado é expressa como a concentração mínima avaliada do agente tóxico incapaz de causar dano, estatisticamente significativo, na sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos organismos-teste, durante um específico tempo de exposição (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; RUBINGER, 2009). Por último, o **fator de diluição** (FT) é definido como o menor valor de diluição da amostra na qual não se observa imobilidade inferior ou igual a 10% dos organismos expostos. O FT, aplicado a testes de ecotoxicidade de efluentes, representa quantas vezes o corpo receptor precisaria diluir o efluente para este deixar de ser tóxico para os organismos. O FT é calculado da seguinte maneira: $100 \div \text{Concentração de efeito não observado (CENO)}$. A Tabela 1 a seguir mostra essa relação (ABNT, 2016a; ALVES, 2010; RUBINGER, 2009)

Tabela 1. Relação FT e concentração de efeito não observado

Conc. de efeito não observado	FT
100%	1
50%	2
25%	4
12,5%	8
6,25%	16
3,12%	32
1,56%	64

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 15088/16

3. 2. 4. Principais organismos-teste utilizados em testes brasileiros de ecotoxicidade

3. 2. 4. 1. *Daphnia similis* Claus, 1876 (Crustacea, Cladocera)

Os microcrustáceos, de uma forma geral, desempenham um papel importante na cadeia alimentar, pois atuam como consumidores primários na cadeia alimentar aquática e se alimentam por filtração de material orgânico particulado em suspensão (CETESB, 2010).

Alguns gêneros da família Daphniidae são facilmente cultivados em laboratório, possibilitando assim a obtenção de populações homogêneas e com sensibilidade constante para uso em ensaios ecotoxicológicos (CETESB, 2010). Os microcrustáceos do gênero *Daphnia* são conhecidas como pulgas d'água, devido à forma como nadam impulsionadas por duas antenas situadas em cima da sua cabeça (segunda antena), parecendo pular dentro d'água como pulam as pulgas terrestres.

Microcrustáceos do gênero *Daphnia* são facilmente encontrados em lagos, represas e lagoas de águas continentais, tendo larga distribuição no hemisfério norte. Segundo Mstumura-Tunisi (1984-1985) no Brasil, é relatada a presença natural das espécies *Daphnia gessnerii*, *Daphnia ambigua* e *Daphnia Levis*. Porém, em ensaios ecotoxicológicos, são bastante utilizadas as espécies *Daphnia similis* e *Daphnia magna*, não ocorrendo naturalmente no Brasil, sendo animais ideais para uso em ensaios de ecotoxicidade, pois são sensíveis a poluentes (ALVES, 2010).

A **Figura 1** apresenta uma fotomicrografia da espécie *Daphnia similis*. Os organismos dessa espécie medem entre 0,5 a 5,0 mm de comprimento. Possuem o corpo protegido por uma carapaça transparente.



Figura 1. *Daphnia similis* adulta
Fonte: Autoria Própria

O crescimento das pulgas d'águas ocorre após a muda, isto é, a troca do exoesqueleto rígido que cobre a corpo externamente. A muda em organismos em fase pré-adulta ocorre praticamente dia-a-dia, enquanto que em organismos na fase adulta ocorre cada dois ou três dias (ALVES, 2010; ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008). A partenogênese, uma espécie de reprodução assexuada (os óvulos da fêmea geram descendentes sem a fecundação dos machos), é a principal forma de proliferação da espécie. Machos só aparecem na cultura em casos de estresse ambiental. Em condições favoráveis, produzem crias de 4 a 65 jovens imediatamente antes de cada muda (ALVES, 2010; ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Com a presença dos machos, as fêmeas portadoras de óvulos haplóides são fecundadas e os ovos passam para a câmara incubadora. As paredes da câmara incubadora tornam-se espessas e com pigmentação escura devido à presença de melanina. Os ovos, envoltos em uma casca única, são denominados de efípio. Efípios devem ser evitados no cultivo de *Daphnia similis* para utilização em ensaios ecotoxicológicos, mantendo-o em condições ideais e controladas. Se dois ou mais efípios surgirem numa cultura, esta deve ser descartada, iniciando uma nova cultura, e a fonte do problema deve ser erradicada (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

Quando as condições ambientais se tornam novamente favoráveis, os ovos do efípio eclodem, liberando fêmeas que irão se reproduzir partenogeneticamente.

O ciclo de vida da *D. similis* está esquematizado na **Figura 2**.

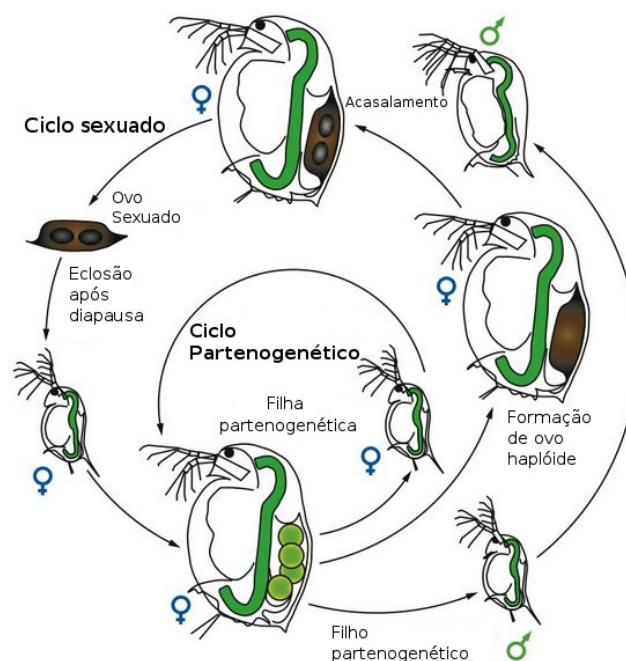


Figura 2. Ciclo de Vida de *Daphnia similis*
Fonte: ALVES (2010).

Em alguns estudos, a *Daphnia similis* demonstrou maior sensibilidade a certos efluentes em comparação ao peixe *Danio rerio*. Alves (2010) realizou ensaios com efluentes tratados de diversas indústrias com o microcrustáceo *Daphnia similis* e o peixe *Danio rerio*. O resultado das indústrias Petroquímica e Metalúrgica para a *Daphnia similis* foi CE(I)50; 48h igual a 25%, sendo considerado moderadamente tóxico, já no resultado com o peixe não houve letalidade, sendo considerado não tóxico.

Almeida (2013) realizou ensaios com efluente tratado de diversas indústrias com organismos de três níveis tróficos diferentes, o peixe *Danio rerio*, o microcrustáceo *Daphnia similis* e a bactéria *Vibrio fischeri*. Em seus resultados, a *D. similis* demonstrou maior sensibilidade que o peixe *D. rerio* para a maioria dos efluentes analisados.

Sousa (2016) avaliou o grau de toxicidade na confluência dos rios Coxim e Taquari com o peixe *Danio rerio*, o microcrustáceo *Daphnia similis* e *Artemia salina*. Nas amostras do Córrego Criminoso, que recebe os efluentes domésticos tratados, verificou-se toxicidade moderada em relação à DQO e ao Nitrogênio Total, e toxicidade extrema em relação ao Fósforo Total. Já para o *Danio rerio* não houve toxicidade.

3. 2. 4. 2. *Danio rerio* Buchanan, 1822 (Cyprinidae)

Danio rerio, da família Cyprinidae, é uma espécie de peixe tropical, ovípara, de água doce, que na fase adulta pode chegar de 4 a 5 cm de comprimento. Essa espécie atua como consumidor secundário na cadeia alimentar aquática. São conhecidos vulgarmente por paulistinhas ou peixes-zebra (zebrafish) e são originários de países do sul da Ásia, como Índia, Bangladesh, Nepal e Paquistão. A **Figura 3** apresenta um lote do organismo *Danio rerio*. A coloração do macho é marrom claro com lateral azul e dourada, já as fêmeas possuem lateral prateada com listras alternadas. As fêmeas podem acasalar diariamente, produzindo centenas de ovos por dia. Os machos do *Danio rerio* possuem o desenvolvimento inicial indiferenciado, a fase chamada de hermafroditismo juvenil. A diferenciação sexual acontece em torno do 23º-25º dia e termina no 40º dia (OWEN et al., 2012; ZAGATTO e BERTOLLETTI., 2008; ZHANG et al., 2013).

Esses organismos são os mais utilizados no campo da ciência, pois apresentam diversas vantagens para os estudos, como, seu tamanho, facilidade de cultivo em laboratório, boa adaptação às variações físico-químicas, geração e desenvolvimento rápidos e alta taxa de

desova (SOUSA, 2016 apud KNIE e LOPES, 2004).

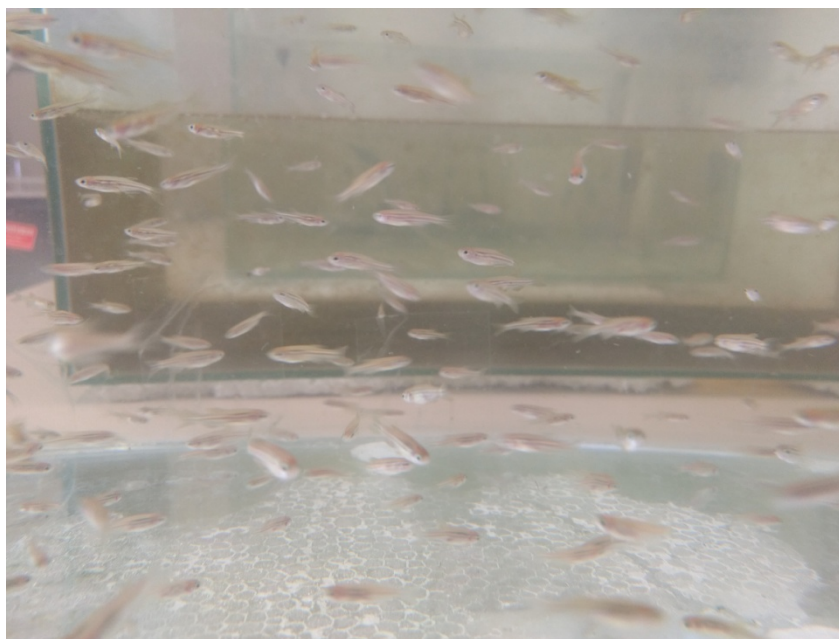


Figura 3. *Danio rerio* em aquário
Fonte: Autoria própria

Machado (2011) realizou ensaios de toxicidade aguda com *Danio rerio* em uma indústria de laticínios e em seus resultados a toxicidade do efluente, CL50: 48h, nos pontos A e D variaram de muito tóxica a moderadamente tóxica. Já no ponto F a toxicidade foi classificada como moderadamente tóxica.

Alves (2010) em seu estudo comparou as sensibilidades de lixiviados de três estados brasileiros, e em algumas amostras a toxicidade foi maior para o peixe do que para a *Daphnia similis*. Foi o caso do lixiviado do Rio Grande do Sul, que no efluente bruto apresentou CE(I)50 1,18% e 1,88% para peixe e *Daphnia similis*, respectivamente. No efluente clarificado, a CE(I)50 foi 3,93% e 5,94%, nesta ordem e, no efluente tratado, demonstrou ainda uma toxicidade alta, com CE(I)50 de 39,91% para *Danio rerio* e 72,37% para *Daphnia similis*. Concluindo que nas três etapas de tratamento do efluente, o peixe demonstrou ser mais sensível que o cladóceros.

3. 3. EFLUENTES LÍQUIDOS INDUSTRIAIS

Sabe-se que o lançamento de efluentes líquidos industriais nos corpos receptores são

os principais responsáveis pela emissão de poluição observada no ambiente aquático (APHA, 2012). De acordo com Pires (2006), pelo fato dos efluentes não apresentarem composição típica, eles formam uma mistura complexa de substâncias químicas que podem vir a se tornar tóxicas tanto para o ambiente quanto para os seres humanos.

Quando se trata da toxicidade gerada pelo efluente, podem-se observar alguns efeitos das interações dessas substâncias, devido aos fenômenos de antagonismo (onde uma substância atenua, reduz ou neutraliza o efeito de outra) ou sinergismo (onde uma substância pode aumentar ou potencializar as conseqüências de outra) (COSTA *et al.*, 2008).

As características dos efluentes variam de uma indústria para outra, mesmo no caso das indústrias serem do mesmo segmento (PIRES, 2006).

Giordano (2004, p. 07) destaca que “as características dos efluentes industriais são inerentes à composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial. A concentração dos poluentes nos efluentes é função das perdas no processo ou pelo consumo de água”.

Para caracterizar um efluente destacam-se algumas determinações mais comuns, como as características físicas (temperatura, cor, turbidez, sólidos, etc.), as características químicas (pH, alcalinidade, acidez, dureza, teor de matéria orgânica, presença de metais, etc.) e as características biológicas (presença de microrganismo como bactérias, protozoários, vírus; toxicidade, etc.) (APHA, 2012).

3.3.1 Caracterização de Efluentes Industriais

3.3.1.1. Efluente de Indústria Farmacêutica

Esses efluentes são caracterizados pela alta concentração de sais, sendo gerados a partir das águas de lavagem da linha de produção que incluem os fármacos. As principais alterações não poluentes presentes são: cor, sais orgânicos e inorgânicos, antibióticos, vitaminas, aminoácidos, hormônios, antiinflamatórios, surfactantes e outros compostos tóxicos. Antes das etapas de tratamento os antibióticos devem ser inativados, pois se torna tóxico para micro-organismos, podendo assim afetar a sua eficiência (GIORDANO e SURERUS, 2015).

3. 3. 1. 2. Efluente de Indústria Alimentícia

Os efluentes são gerados em diversas etapas, desde a lavagem de pisos e equipamentos. Os principais poluentes desse efluente são: proteínas, ácidos orgânicos, gorduras, açúcares, produtos de limpeza e possuem alto teor de matéria orgânica (GIORDANO e SURERUS, 2015).

3. 3. 1. 3. Efluente de Indústria de Bebidas

Os efluentes são gerados na lavagem das salas. Esses efluentes são caracterizados, na literatura, por causar toxicidade aos micro-organismos do processo de tratamento devido aos saneantes de linha. São ricos em açúcares, alguns corantes naturais e artificiais, conservantes alimentícios. Apresentam elevada carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais) devido ao açúcar do xarope e dos extratos vegetais utilizados na formulação das bebidas (GIORDANO e SURERUS, 2015; MOSSE et al, 2010)

3. 3. 1. 4. Efluente de Indústria de Lubrificantes

De acordo com Moreno (2007), os lubrificantes são compostos de óleos básicos minerais ou sintéticos, e de aditivos (inibidores, antiespumantes, detergentes e dispersantes). O óleo lubrificante automotivo pode aumentar em quatro vezes o seu potencial poluente, por formar emulsão em meio aquoso e persistir por longos períodos no ambiente.

Os principais poluentes desse efluente são: turbidez, surfactantes, detergentes, óleos e graxas, alto teor de matéria orgânica.

3. 3. 1. 5. Efluentes de Indústria de Produtos Químicos

Esses efluentes são oriundos da lavagem das linhas de produção e tanques de armazenamento de silicatos, como silicato de sódio alcalino, silicato de sódio neutro, silicato de potássio e polieletrólitos poliméricos. Os principais poluentes desse efluente são os sais de sódio e potássio dissolvidos na água de lavagem (GIORDANO e SURERUS, 2015).

3. 3. 1. 6. Efluente de Indústria de Rações

Esses efluentes são oriundos de resíduos do pescado, lavagens de linhas e tanque de

processo. Seus principais poluentes constituem: proteínas, óleo de peixe, escamas e vísceras (GIORDANO e SURERUS, 2015).

3.3.2 Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais

Os sistemas de tratamento são constituídos de etapas (associação de processos físico-químicos, biológicos e de operações unitárias), que objetivam a remoção dos poluentes. Para a remoção dos sólidos grosseiros utilizam-se as peneiras, grades, sedimentadores e flotores. Os sólidos coloidais e dissolvidos são removidos utilizando-se os tratamentos físico-químicos. Os processos biológicos são utilizados para a remoção de matéria orgânica dissolvida ou coloidal (GIORDANO e SURERUS, 2015).

A seguir são descritos os níveis de tratamento (preliminar, primário, secundário e terciário) e suas aplicações (GIORDANO e SURERUS, 2015):

- **Preliminar** – destina-se à remoção de sólidos sedimentáveis grosseiros (areia, terra diatomácea, carvão, pó de pedra e similares), em caixas de areia; sólidos com diâmetro superiores a 1 mm (penas, plásticos, fios e similares), são removidos em peneiras; sólidos com diâmetros superiores a 10 mm podem ser removidos em grades. O nível preliminar compreende também a remoção por diferença de densidade de óleos e graxas livres em separadores de água e óleo (SAO).
- **Primário** – destina-se à remoção de sólidos por sedimentação ou flotação (utilizando-se sedimentadores ou flotores), ou pela associação de coagulação e floculação química (clarificação físico-química para a remoção de matéria orgânica coloidal ou óleos e gorduras emulsionados). Nesta etapa, são removidos normalmente componentes tóxicos (excesso de corantes, detergentes, amidas, entre outros), matéria inorgânica, gorduras e metais pesados (dissolvidos).
- **Secundário** – destina-se à remoção de matéria orgânica biodegradável dissolvida ou coloidal. Nesta etapa podem ser removidos também os nutrientes nitrogênio e/ou fósforo.
- **Terciário** – destina-se à melhoria da qualidade dos efluentes tratados pelas remoções de cor residual; turbidez (remoção de colóides, metais pesados, nitrogênio, fósforo, compostos orgânicos refratários aos níveis de tratamento anteriores); e desinfecção do efluente tratado.

Em um estudo realizado por Melo (2012), a autora avaliou a eficiência do processo de tratamento do efluente de uma indústria de cosméticos através de ensaios de toxicidade com três organismos e os resultados obtidos demonstraram que não houve eficiência na remoção de compostos responsáveis pela toxicidade, essa sendo classificada em muito tóxica. É comum o tratamento tornar o efluente mais tóxico. Isso se dá ao fato de que algumas substâncias podem não ser degradadas ou eliminadas, mas apenas passar pelo sistema sem serem afetadas se tornando resistentes ao processo de tratamento ou ainda serem transformadas em produtos ainda mais tóxicos. Essas ocorrências são imprevisíveis, pois se devem ao fato de que a maioria dos sistemas é construídos para o tratamento de poluentes convencionais e não, especificamente, para a remoção da toxicidade (USEPA, 1989).

Em outro estudo realizado por Brandão (2014), a autora avaliou o desempenho de uma lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação de uma fábrica de papel através de análise de ecotoxicidade com *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia* com o efluente final e os resultados foram satisfatórios, não apresentando toxicidade a nenhum dos organismos.

Esses estudos mostram que há uma diversidade muito grande dos efluentes industriais e que variam de um para o outro dependendo do seu processo fabril. Por conta disso, faz-se necessário descobrir qual a melhor tecnologia para ser usada nos sistemas de tratamento.

3.4 LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS PERTINENTES A ENSAIOS DE ECOTOXICIDADE

O cumprimento dos padrões de lançamento de efluentes tratados baseados apenas nas análises físico-químicas exigidas em lei não é garantia de manter um ambiente saudável e em equilíbrio para os organismos aquáticos, uma vez que é impossível conhecer a natureza química e determinar padrões de todas as substâncias existentes em todos os efluentes gerados na esfera industrial. Além disso, os padrões de uma única substância não consideram o efeito cumulativo e sinérgico de várias substâncias sobre os organismos de ecossistemas aquáticos (DAFLON, 2016). A partir dessa constatação os órgãos ambientais brasileiros criaram resoluções que incluem os ensaios ecotoxicológicos como um dos parâmetros de padrão de lançamento de efluentes (DAFLON, 2016).

A legislação ambiental brasileira vem sendo mais restritiva com relação à emissão de

efluentes. Por isso é de suma importância as análises de toxicidade, pois atinge o problema de forma direta, evitando perda de tempo e investimentos errados ou desnecessários. Através desses ensaios é possível propiciar ao órgão responsável instrumentos para cobrança e fiscalização de fontes pontuais de emissão de efluentes, ajudando no controle ambiental, permitindo avaliar o efeito tóxico agregado de todos os compostos químicos e agentes de interferência (MACHADO, 2014).

Ensaio ecotoxicológicos com organismos aquáticos fazem parte das exigências da legislação federal e estadual na avaliação da qualidade ambiental visando à preservação da vida aquática, assegurando a manutenção das condições e padrões de qualidade previamente estabelecidos para um determinado corpo d'água (DAFLON, 2016).

Foram descritas abaixo algumas legislações, sendo escolhidas devido à importância por serem consideradas as mais restritivas com relação aos ensaios ecotoxicológicos.

3.4.1 Legislações Federais

3.4.1.1. Resolução CONAMA 430/2011

A Resolução CONAMA 430/2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando o que estava disposto no artigo 34 da Resolução CONAMA 357/2005.

De acordo com o Art. 18 Resolução CONAMA 430/2011, “o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente”.

O grande diferencial dessa norma foi à exigência da utilização de organismos de dois níveis tróficos nos ensaios de ecotoxicidade. Ela ainda estabelece, segundo o inciso terceiro que:

“ § 3º Na ausência de critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental para avaliar o efeito tóxico do efluente no corpo receptor, as seguintes diretrizes devem ser obedecidas:

I - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classes 1 e 2, e águas salinas e salobras Classe 1, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à Concentração de Efeito Não Observado-CENO de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:

a) CECR deve ser menor ou igual a CENO quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico crônico; ou

b) CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana (CL50) dividida por 10; ou menor ou igual a 30 dividido pelo Fator de Toxicidade (FT) quando for realizado teste de ecotoxicidade para medir o efeito tóxico agudo;
II - para efluentes lançados em corpos receptores de água doce Classe 3, e águas salinas e salobras Classe 2, a Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR deve ser menor ou igual à concentração que não causa efeito agudo aos organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos, ou seja:
a) “CECR deve ser menor ou igual ao valor da Concentração Letal Mediana-CL50 dividida por 3 ou menor ou igual a 100 dividido pelo Fator de Toxicidade-FT, quando for realizado teste de ecotoxicidade aguda.”
E ainda dispõe no Art. 27. “As fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos deverão buscar práticas de gestão de efluentes com vistas ao uso eficiente da água, à aplicação de técnicas para redução da geração e melhoria da qualidade de efluentes gerados e, sempre que possível e adequado, proceder à reutilização” (BRASIL, 2011).

3.4.2 Legislações Estaduais

3.4.2.1. Legislação do Rio de Janeiro (NT 202/1986)

Essa norma técnica estabelece critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP e aplica-se aos lançamentos diretos ou indiretos de efluentes líquidos, provenientes de atividades poluidoras, em águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas do Estado do Rio de Janeiro, através de quaisquer meios de lançamento, inclusive da rede pública de esgotos.

Em seus critérios específicos é disposto:

“No caso de lançamento de efluentes líquidos industriais em reservatórios, lagos, baías, estuários, águas oceânicas, águas subterrâneas e de lançamentos em batelada, poderão ser estabelecidas exigências adicionais para cada uso específico”. E “poderão ser feitas exigências em relação às estruturas de lançamento de efluentes líquidos industriais, visando evitar, na zona de mistura, condições de toxicidade aguda ou que atuem como barreira à migração e a livre movimentação da biota aquática” (RIO DE JANEIRO, 1986).

3.4.2.2. Legislação do Rio de Janeiro (NT 213/1990)

O INEA (Instituto Estadual do Ambiente), no Estado do Rio de Janeiro, estabeleceu 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 SLAP, através da Norma Técnica 213 R-4.

De acordo com essa norma, “não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais, em qualquer corpo receptor, com um número de unidades de toxicidade (UT) superior a oito ($UT > 8$), obtido em ensaios de toxicidade aguda realizados com peixes *Danio rerio*”.

Essa norma ainda dispõe que:

“executando-se os rios classificados na classe 4 (quatro), não é permitido o lançamento contínuo, em rios, de efluentes líquidos industriais com um número de unidades de toxicidade aguda do efluente acima do valor estabelecido, considerando-se como seu limite superior o valor 8 (oito) e inferior o valor 2 (dois)” (RIO DE JANEIRO, 1990).

3. 4. 2. 3. Legislação de São Paulo (SMA-3/2000)

Em São Paulo, a Resolução da Secretaria do Meio Ambiente - SMA-3 (SMA, 2000) dispõe sobre as relações que fixam a toxicidade permissível aos organismos aquáticos, e dá outras providências.

A resolução determina que os efluentes lançados não deverão causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com as normas que fixam a toxicidade permissível, como segue:

$DER < CE 50$ ou $CL 50/100$ ou $DER < CENO/10$, onde DER equivale a Diluição do Efluente no Corpo Receptor, em %.

Além disso, os organismos utilizados nos ensaios de toxicidade, assim como os métodos de ensaio, serão definidos pela CETESB, através de normas técnicas específicas (§ 1º desta resolução). Os limites de toxicidade estabelecidos para cada efluente podem ser reavaliados pela CETESB, a partir de estudos apresentados pela entidade responsável pela emissão que contenham dados sobre a toxicidade do efluente a pelo menos três espécies de organismos aquáticos (três níveis tróficos), a variabilidade da toxicidade ao longo do tempo e, a dispersão do efluente no corpo receptor (SÃO PAULO, 2000).

3. 4. 2. 4. Legislação de Santa Catarina (FATMA 017/02)

A portaria Nº 017/02 – FATMA DE 18/04/2002 estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências (SANTA

CATARINA, 2002). Sobre os efeitos dos agentes tóxicos e a determinação da toxicidade, essa legislação determina que:

Art 1º - As substâncias existentes no efluente não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos capazes de provocar alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos presentes no corpo receptor.

Art. 2º - A toxicidade aguda do efluente será determinada em laboratório, mediante a elaboração de ensaios ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados deverão ser expressos em Fator de Diluição (FD).

§ 1º - O Fator de Diluição (FD) representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra na qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste.

§ 2º - A Tabela (...) estabelece os limites máximos de ecotoxicidade aguda dos efluentes de diferentes origens, expressos em Fator de Diluição, para microcrustáceos – *Daphnia magna*.

§ 4º - Para as atividades não inseridas na tabela 3, ficam estabelecidos o Limite Máximo de Toxicidade Aguda, abaixo mencionados:

Fator de Diluição para *Daphnia magna* (FDd): 8 (12,5%);

A Tabela 2 estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diversas origens com o uso do organismo-teste *Daphnia magna*. Esses limites são expressos em valores de Fator de Diluição para *Daphnia magna* (FDd).

Tabela 2. Limites máximos de ecotoxicidade aguda dos efluentes de diferentes origens estabelecidos pela portaria 017/02 FATMA.

Origem dos efluentes	Subcategoria	Limites máximos de toxicidade aguda para <i>Daphnia magna</i>	
		FDd	FDd(%)
Metal mecânica	Siderurgia, Metalurgia, Galvanoplastia	4	25
		4	25
		16	6,25
Alimentícia	Frigoríficos, Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos	2	50
Esgotos domésticos e/ou hospitalares	-	1	100
Resíduos urbanos	Efluentes de Aterros Sanitários	8	12,5
Papel e Celulose	-	2	50
Couros, peles e produtos similares	-	4	25
Química	Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados	2	50
Têxtil	Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confeção e tinturaria	2	50
Farmacêutica		2	50

Fonte: Adaptado de Portaria 017/02 da FATMA (SANTA CATARINA, 2002).

FDd - Fator de Diluição para *Daphnia magna*.

FDd(%)- porcentagem da amostra na solução teste.

4. METODOLOGIA

Essa pesquisa se baseia em um estudo de caso, desenvolvido através do levantamento de dados ecotoxicológicos, baseado no histórico das análises e planilhas de ensaios de monitoramento nos diversos tipos de efluentes tratados enviados para uma empresa de Saneamento no Rio de Janeiro, a TECMA- Tecnologia em Meio Ambiente. Esses ensaios foram conduzidos no laboratório de Ecotoxicologia Aquática. Através desse levantamento, buscou-se averiguar o potencial tóxico dos efluentes em estudo, quais espécies de organismos-teste são mais utilizadas, bem como conhecer sua tipologia e tipo de tratamento utilizado, podendo assim avaliar a eficiência do tratamento, identificando se mesmo os efluentes tratados podem causar ou não impactos futuros ao realizar o descarte.

O estudo se desdobrou em: (1) identificação e reconhecimento dos tipos de indústrias e Sistema de Tratamento dos efluentes monitorados; (2) identificação das espécies utilizadas nos ensaios; (3) levantamento dos dados ecotoxicológicos de monitoramento através de planilhas e histórico de análises; (4) avaliação da Eficiência dos Processos de Tratamento e (5) interpretação e discussão dos dados.

O levantamento foi feito do período de janeiro de 2017 a outubro de 2017, com coletas mensais.

4.1 PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM, COLETA E PRESERVAÇÃO DAS AMOSTRAS.

A empresa de saneamento desse estudo de caso recebe amostras de efluentes das Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) de diversas empresas de ramos industriais. A partir de cada indústria é originado um efluente com suas próprias características. Esses efluentes foram coletados pela empresa de saneamento e posteriormente foram realizadas tanto análises físico-químicas como ecotoxicológicas.

Os efluentes do estudo foram provenientes das seguintes tipologias industriais: lubrificantes, alimentícia, bebidas, farmacêutica, rações e produtos Químicos.

Para os ensaios de toxicidade as amostras foram coletadas em duplicata, através de amostragem simples, onde se retirou apenas uma alíquota para o preenchimento total do frasco feita pelo coletor em frasco de coleta de material plástico. As amostras não receberam nenhum tipo de preservação, e foram apenas transportadas resfriadas em gelo até a

temperatura de no máximo 6,0 °C. Os frascos foram preenchidos totalmente para minimizar a presença de oxigênio. Chegando ao laboratório os frascos foram congelados até o momento de sua utilização, onde então foram descongelados até a temperatura de ensaio.

4.2 CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DOS EFLUENTES EM ESTUDO

Os ensaios de Ecotoxicidade foram realizados no laboratório de Ecotoxicologia Aquática da empresa Tecma- Tecnologia em Meio Ambiente.

Usualmente foram realizados ensaios de ecotoxicidade aguda com dois organismos: o peixe *Danio rerio* (obtido através de fornecedores) e o microcrustáceo *Daphnia similis* (obtidos através de culturas mantidas no laboratório).

As análises ecotoxicológicas foram realizadas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

4.2.1 Ensaio de Ecotoxicidade Aguda com *Danio rerio*

Os ensaios de ecotoxicidade aguda realizados com *Danio rerio* foram baseados na norma NBR 15088 (ABNT, 2016).

O método de ensaio consistiu na exposição de peixes adultos com tamanho de 2±1 cm a cinco concentrações da amostra de efluente e o grupo controle contendo apenas água de diluição. Os ensaios foram mantidos em béqueres com volume final de 1L dispostos em bancada pelo período de tempo de 48 horas com temperatura de 25°±2 com fotoperíodo de 16 h de luz/8 h no escuro. Após o período de exposição dos testes, o efeito observado foi a mortalidade e o resultado expresso em FT, o qual não é determinado estatisticamente. O valor de FT é diretamente proporcional à toxicidade da amostra, ou seja, quanto maior o valor de FT mais tóxica é a amostra.

A legislação pertinente utilizada para comparação dos limites máximos de toxicidade aguda para este ensaio é a NT 213 R4 (RIO DE JANEIRO, 1990).

Um fato observado na legislação em vigor é que há ainda a exigência apenas como resultado da toxicidade o valor de FT, que em praticamente todo o mundo já caiu em desuso. As normas ISO e ABNT apontam a importância de se utilizar testes estatísticos para indicar maior confiabilidade dos resultados, como exemplo, a Cl 50 para peixes.

O Rio de Janeiro não estabelece valores de toxicidade de acordo com a vazão do corpo receptor, principalmente em períodos de seca. Porém uma norma vantajosa é a legislação da

CETESB pois estabelece diferentes padrões de toxicidade de acordo com a vazão.

4.2.2 Ensaio de Ecotoxicidade Aguda com *Daphnia similis*

Os ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis* foram baseados na norma NBR 12713 (ABNT, 2016b).

O método de ensaio consistiu na exposição de indivíduos jovens, neonatos de 6-24 horas de idade de *Daphnia similis* a cinco concentrações da amostra de efluente e o grupo controle contendo apenas água de diluição. O ensaio foi realizado em tubos aferidos para 10 mL pelo período de 48 horas, mantidos em incubadora na temperatura de $20^{\circ}\text{C}\pm 2$, com fotoperíodo de 16 h de luz/8 h de escuro. Antes do ensaio, é preciso medir o pH, o oxigênio dissolvido e a dureza da água de cultivo e alguns parâmetros da amostra bruta (pH e oxigênio dissolvido), conforme protocolos de APHA (2012). Ao fim do ensaio, o efeito observado foi a imobilidade dos organismos e o resultado expresso em FT, o qual não é determinado estatisticamente. O valor de FT é diretamente proporcional à toxicidade da amostra, ou seja, quanto maior o valor de FT mais tóxica é a amostra.

Ensaio de ecotoxicidade feitos com os microcrustáceos ainda não possuem legislação específica no estado do Rio de Janeiro. Sendo assim, para fins de comparação, foi utilizada a legislação Portaria nº 017/02 de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2002), por apresentar limites de valores de toxicidade para *Daphnia magna*, que pertence ao mesmo gênero da *Daphnia similis* em estudo. Vale ressaltar que poderiam ser utilizados métodos estatísticos para maior confiabilidade dos resultados. No caso da *Daphnia similis* o uso da Ce50.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS

Os efluentes foram caracterizados quanto à especificação do tipo de produto(s) fabricado(s) pela indústria avaliada e quanto às atividades na planta industrial responsáveis pela geração dos efluentes. Por exemplo, no caso uma suposta indústria de bebidas, foi especificado que o produto da empresa era refrigerante e que os efluentes se originaram de processos de limpeza e da produção em si.

Além disso, as principais etapas de tratamento na indústria geradora do efluente foram levantadas e descritas. Conforme os valores de fator de diluição avaliados, foi discutido se a

eficiência dos processos de tratamento é adequada e recomendações para os casos insatisfatórios foram realizadas.

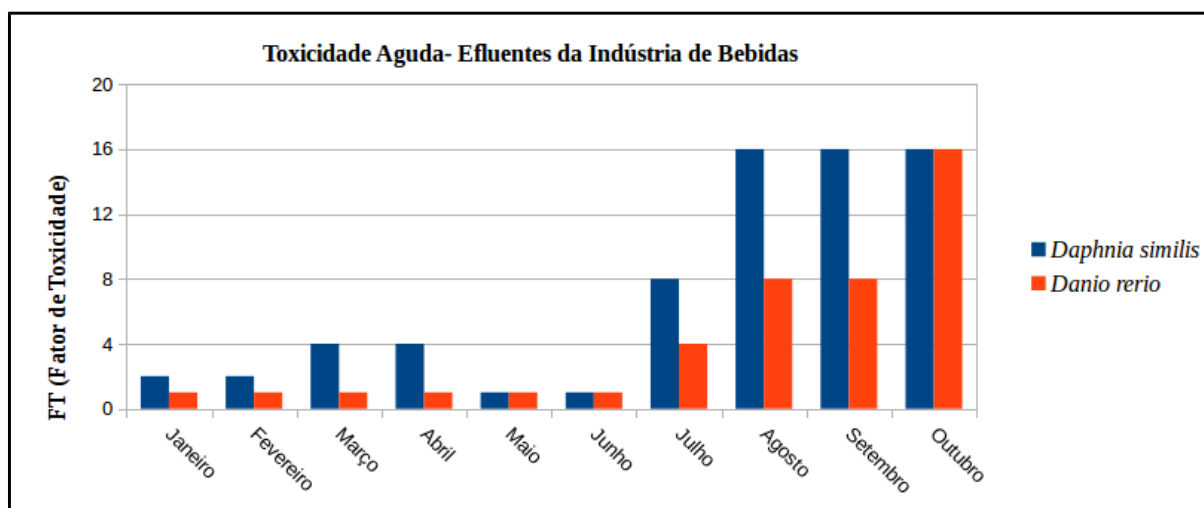
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir enquadram o perfil ecotoxicológico dos efluentes industriais, sua tipologia, características e suas etapas de tratamento.

5.1 EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

O primeiro efluente estudado corresponde a uma indústria voltada para a fabricação de vinhos e derivados. Seus efluentes foram gerados no processo de limpeza dos pisos, limpeza de filtro de diatomáceas, limpeza de máquinas, linha de produção, descarte de xaropes, resíduo de fermentação, filtração, águas de lavagens de tanque e tubulações. A ETEI constitui as seguintes etapas de processo de tratamento desses efluentes: (1) **preliminar**, com peneiramento; (2) **primário**, com uso de tanque de equalização e neutralização; (3) **secundário ou biológico**, com tratamento por lodos ativados na modalidade de aeração prolongada e por fim o desaguamento do lodo.

Seu sistema de tratamento visou a remoção de sólidos grosseiros, gordura e matéria orgânica dissolvida. Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade do efluente da indústria de bebidas são apresentados na **Figura 4**.



Na Figura 4, observou-se uma oscilação nos resultados de FT entre os ensaios com cada organismo-teste. Para o organismo *Danio rerio*, das 10 amostras coletadas, 9 apresentaram valores dentro do limite permitido pela legislação pertinente, NT 213 R. 04

(INEA, 1990), e apenas 1 ficou fora do limite permitido, com FT=16.

Para o organismo *Daphnia similis* o efluente estaria fora do limite permitido pela Portaria 017/02 (FATMA, 2002), FT= 2, em 6 das 10 amostras analisadas, tendo valores de FT= 4, FT=8 e FT= 16.

Observou-se uma variação no valor de FT para os dois organismos, porém a *Daphnia similis* demonstrou maior sensibilidade ao efluente.

Pode-se observar que nos primeiros meses de monitoramento obtiveram-se valores de FT baixos e posteriormente em um determinado período houve um aumento no valor de FT das amostras, demonstrando um aumento da toxicidade do efluente em questão para ambos os organismos. Tais oscilações e aumento nos valores de FT são indicadores da ineficiência no processo de tratamento nesse período. A mudança nas características do efluente tratado ocorreu em função de erros operacionais e sobrecarga da estação, devido a um aumento de produção de efluentes, resultando na incapacidade da planta de remover a matéria orgânica biodegradável de modo satisfatório. O aumento da toxicidade verificada pôde ser completamente explicado pelas altas concentrações de carga orgânica presente no efluente final, nesse período, com picos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) acima de 3.000 mg O₂/L, a partir de dados cedidos pela empresa de saneamento. A Resolução CONAMA 430/2011 determina que deve haver remoção mínima de 60% da DBO dos efluentes de qualquer fonte poluidora e que o efluente tratado não pode causar efeito tóxico no corpo receptor. Dessa forma, o valor de DBO no efluente vai depender da carga orgânica no afluente. A Resolução CONAMA 357/2005, que antes da Resolução CONAMA 430/2011, determinava os padrões de lançamento de efluentes, estabelecia valores máximos de DBO de 3 a 10 mg O₂/L, dependendo da qualidade e uso do corpo receptor (BRASIL, 2005).

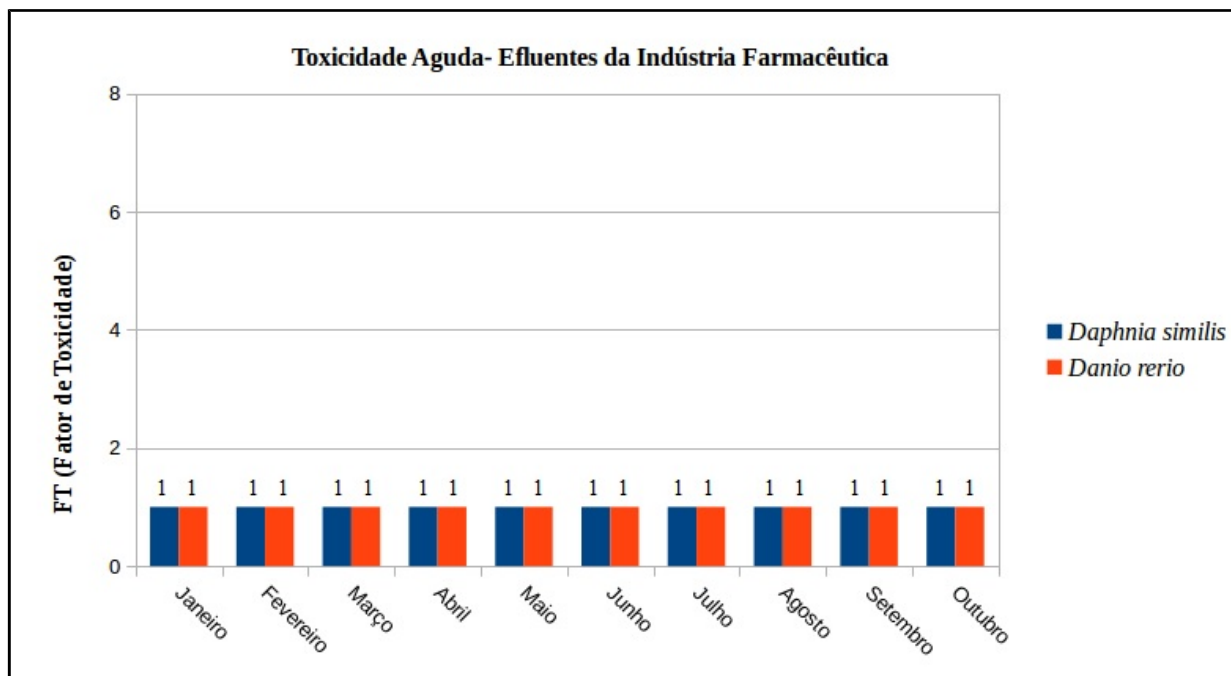
Para essa indústria surge a necessidade em se reavaliar as condições de operação e dimensionamento da ETEI, bem como de se realizar um treinamento rotineiro com os operadores. O uso de sistemas combinados no tratamento secundário com reatores anaeróbios e sistemas de wetlands (com macrófitas) pode ser ferramenta importante para remoção de altas concentrações de matéria orgânica no sistema. Divensi (2010) demonstra a eficiência de remoção de dbo para o tratamento de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica a partir do uso de macrófitas. Nos experimentos realizados por DIVENSI (2010), remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) variou de 68% a 86%, com os picos de remoção mais altas a partir do uso da macrófita do gênero *Juncus*. No trabalho de Rodrigues *et al.* (2016), houve eficiência de remoção de mais de 90% da remoção de valores de DBO e DQO na

ordem de 8000 a 34000 mg O₂/L, respectivamente, com o uso de filtros rotativos e reator anaeróbico de manta de lodo (reator de UASB).

5.2 EFLUENTES DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Essa indústria produz medicamentos, principalmente antibióticos, vacinas e outros produtos para o cuidado da saúde. O efluente dessa indústria é composto pelo esgoto sanitário e o efluente industrial. O efluente industrial é gerado a partir de águas de lavagem de chão e equipamentos, águas residuárias de laboratórios, águas de refrigeração, dentre outras. A ETEI constitui as seguintes etapas de processo de tratamento desses efluentes: (1) **preliminar**, com peneiramento; (2) **primário**, com uso de tanque de equalização e clarificação físico-química com flotação; (3) **secundário ou biológico**, com tratamento por lodos ativados e secagem do lodo. Os processos de tratamento nessa indústria objetivam normalmente a correção de pH, a remoção da carga orgânica e a redução de cor.

Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente final da indústria farmacêutica são apresentados na **Figura 5**.



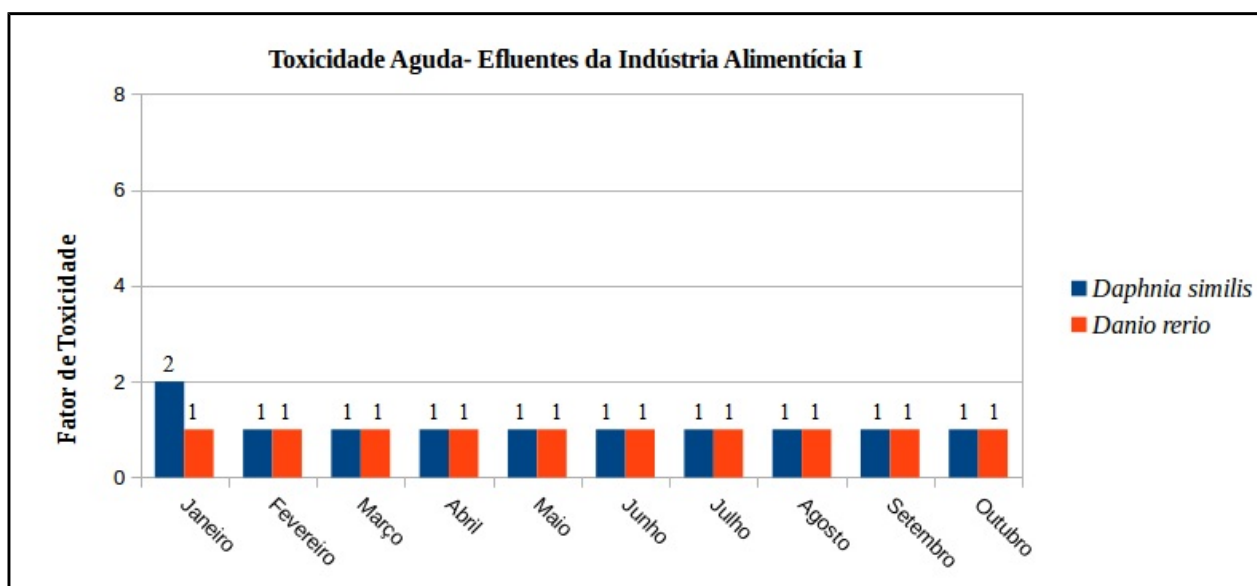
Analisando a Figura 5, pode-se observar que o efluente final da indústria farmacêutica não causou toxicidade a nenhum dos organismos-teste em nenhuma das amostras

apresentadas e também não houve nenhuma variação no valor de FT, tendo o valor de FT=1 para ambos os organismos. Para os dois organismos os valores de FT obtidos encontram-se dentro do limite permitido pelas legislações pertinentes, FT=2 pela Portaria nº 017/02 (SANTA CATARINA, 2002) e FT= 8 pela NT 213. R 04 (RIO DE JANEIRO, 1990). Logo, os procedimentos de tratamento do efluente dessa indústria parecem adequados.

5.3 EFLUENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA I

Essa indústria é responsável pela fabricação de pães e bolos. Seu efluente é oriundo do preparo dos produtos. A ETEI constitui as seguintes etapas de processo de tratamento desses efluentes: (1) **preliminar**, com gradeamento; (2) **primário**, com uso de coagulação, floculação e flotação, equalização e correção de pH; (3) **secundário ou biológico**, reator anaeróbio do tipo UASB seguido de processo de lodos ativado convencional.

Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente final da indústria alimentícia I são apresentados na **Figura 6**.



Ao analisar a Figura 6, pode-se observar que em todas as coletas, o efluente não foi tóxico para *Danio rerio* nem para *Daphnia similis*. Para *Daphnia similis*, o FT só foi maior que 1 em uma coleta.

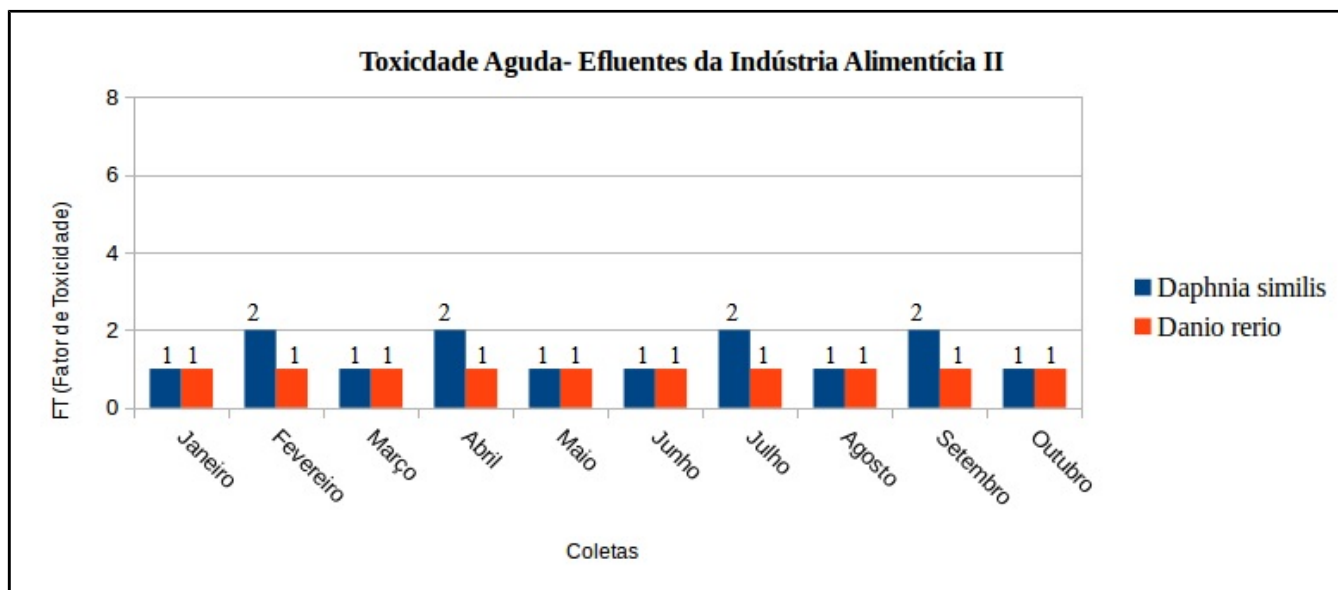
Para todas as coletas, os resultados de toxicidade aguda não ultrapassaram os valores

permitidos nas legislações pertinentes, Portaria nº 017/02 (SANTA CATARINA, 2002) e a NT 213 R. 04 (RIO DE JANEIRO, 1990). Logo, os procedimentos de tratamento do efluente dessa indústria parecem adequados.

5.4 EFLUENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA II

Essa indústria é responsável pela produção de refeições em geral, principalmente massas, carnes, peixe, frango, molhos, sorvete, guarnições, sobremesas e bebidas. A ETEI dessa indústria é composta pelas seguintes etapas de processo de tratamento desses efluentes: (1) **preliminar**, com gradeamento e peneiramento; (2) **primário**, com uso de tanque de equalização, ajuste de pH, coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido; (3) **secundário ou biológico**, com um reator anaeróbico de fluxo ascendente, lodos ativados e tratamento do lodo; (4) **terciário**, com método de filtração.

Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente final da indústria Alimentícia II são apresentados na **Figura 7**.



Ao analisar o gráfico da Figura 7, pode-se observar que os valores de FT para os dois organismos ficaram dentro do limite permitido pela legislação. Para o peixe *Danio rerio*, os resultados obtidos foram inferiores ao limite permitido pela legislação, segundo a NT 213 R. 04 (RIO DE JANEIRO, 1990). Para a *Daphnia similis*, os valores de FT variaram de 1 a 2,

sendo 2 o valor limite permitido pela Portaria 017/02 (SANTA CATARINA, 2002).

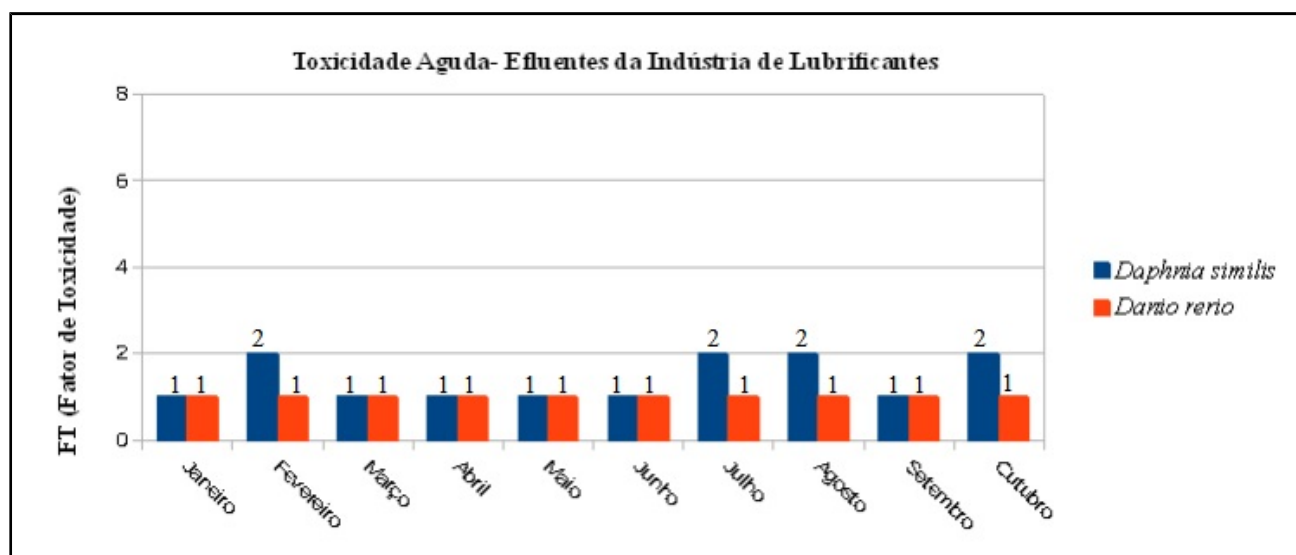
Foi vista uma maior variação no valor de FT no ensaio com a *Daphnia similis*. Isso provavelmente demonstra uma maior sensibilidade desse organismo ao efluente dessa indústria.

5.5 EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE LUBRIFICANTES

Essa indústria é voltada para a industrialização e distribuição de lubrificantes e de óleos básicos, e na produção e distribuição de especialidades automotivas. Os processos de tratamento convencionais objetivam reduzir a carga orgânica, sua toxicidade inerente, a carga oleosa incluindo óleos emulsionados e a presença de compostos nitrogenados.

O efluente é oriundo da lavagem de equipamentos e tanques de preparação e armazenamento dos produtos, deste modo, os principais componentes desse efluente são os óleos minerais livres. Dessa forma essa indústria objetiva apenas a remoção do óleo livre e sua ETEI é composta pelo processo **primário**, com separação de água e óleo por diferença de densidade na caixa separadora de água e óleo (CSAO).

Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente final da ETEI da indústria de lubrificantes são apresentados na **Figura 8**.



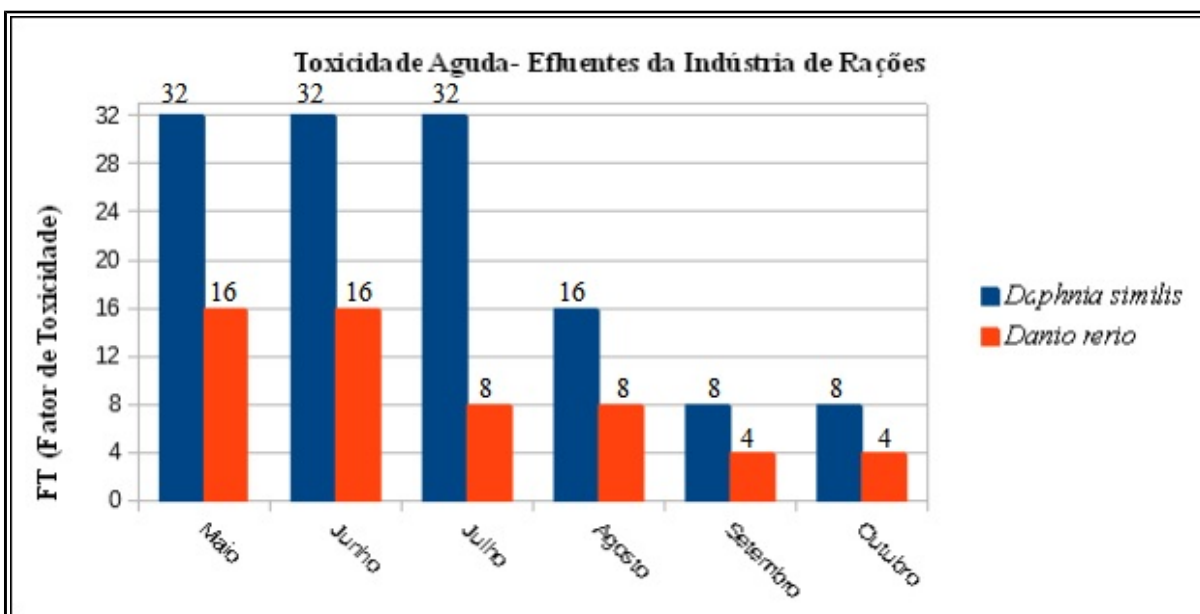
Ao analisar o gráfico da Figura 8 pode-se observar que os valores de FT para os dois

organismos ficaram dentro do limite permitido pela legislação. Para o peixe *Danio rerio*, os resultados obtidos foram FT=1 em todas as coletas, sendo inferiores ao limite permitido pela legislação, segundo a NT 213 R. 04 (RIO DE JANEIRO, 1990). Para a *Daphnia similis*, os valores de FT variaram de 1 a 2, sendo este o valor limite permitido pela Portaria 017/02 (SANTA CATARINA, 2002).

O *Danio rerio* não demonstrou toxicidade a esse efluente tendo valores de FT=1. A *Daphnia similis* demonstrou ser um pouco mais sensível quando comparada ao peixe. Um fato observado nos ensaios com a *Daphnia similis* é que os óleos tendem a se espalhar sobre a superfície do recipiente formando uma película oleosa, com isso os organismos vão parar na superfície aderindo ao óleo. Isso acaba por dificultar a mobilidade dos organismos. Logo, a emissão desse efluente nos corpos hídricos provavelmente causaria um efeito tóxico no ambiente. Provavelmente, a simples separação do óleo e da água por diferença de densidade não está adequada para o tratamento desse efluente. É possível que haja óleos emulsionados no efluente que não são tratados na CSAO, logo tratamentos de coagulação e floculação das gotículas de óleo e flotação da fase oleosa floculada se fazem necessários (GIORDANO, 2004; GIORDANO e SURERUS, 2015). LOPES (1999) obteve também boa eficiência na remoção de óleos emulsionados com membranas de ultrafiltração em seus experimentos de mestrado.

5.6 EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE RAÇÕES

A indústria de rações tem como matéria-prima o pescado. Sua estação de tratamento conta com as seguintes etapas: (1) **preliminar**, com gradeamento; (2) **primário**, com uso de coagulação, floculação e flotação; (3) **secundário ou biológico**, com processo de lodos ativados convencional; (4) **terciário**, com método de adsorção com carvão ativado. Seu tratamento visa a remoção de escamas e pedaços de peixes, remoção de óleos emulsionados e sólidos coloidais, e remoção da matéria orgânica dissolvida. Esta é uma indústria que apresentou um curto histórico de monitoramento em relação aos outros efluentes. Seu efluente começou a ser enviado para a empresa de saneamento a partir de maio de 2017, se estendendo a outubro de 2017. Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente da ETEI da indústria de rações são apresentados na **Figura 9**.



Analisando a Figura 9, podem-se observar oscilações, com valores altos de FT para os dois organismos, principalmente para a *Daphnia similis* nos primeiros três meses.

A ETEI desta indústria encontra-se subdimensionada e é incapaz fazer com que o efluente tratado atinja os limites de lançamento previstos na DZ 205 R.6, NT 202. R-10 e NT 213.R-4, tornando impossível o lançamento deste efluente no corpo receptor. A solução encontrada foi enviar o efluente para estações de tratamento *offsite* licenciadas para receber efluentes industriais de terceiros. A indústria passou a realizar as etapas preliminar e primária para remoção da carga orgânica em estado coloidal, seguida de adsorção em carvão ativado, de modo a amenizar a exalação de maus odores. Todos os ensaios foram realizados em amostras do efluente antes da destinação às estações de tratamento *offsite*.

Para a análise com *Daphnia similis*, todos os valores de FT obtidos estariam fora do limite permitido pelas legislações pertinentes, FT = 2 pela Portaria nº 017/02 (FATMA, 2002), com FT= 32 nos primeiros três meses e posteriormente FT=16 e FT=8.

Para o ensaio com *Danio rerio*, os valores ficaram fora do limite permitido, FT= 8 pela NT 213. R 04 (INEA, 1990) nos meses de maio e junho. Nos meses posteriores houve uma redução da toxicidade, tendo valores de FT=8 e FT=4.

As variações encontradas durante os meses de monitoramento refletem as variações naturais encontradas em decorrência da produção industrial. Não houve mudanças nas etapas de tratamento durante o período monitorado.

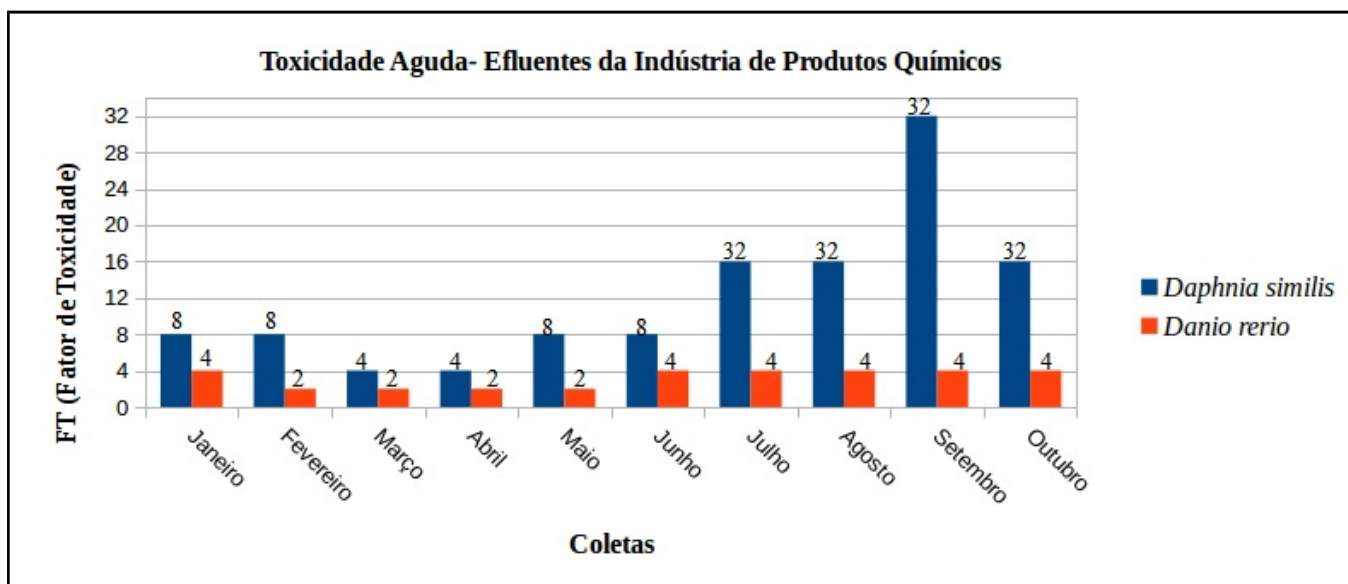
Mesmo havendo uma redução nos valores de FT, a *Daphnia similis* continuou a demonstrar maior sensibilidade ao efluente em questão.

Recomenda-se para essa indústria estudos que identifiquem as possíveis substâncias que possam estar causando toxicidade ao efluente, porque mesmo a ETEI *offsite* não conseguiu realizar o tratamento adequado dos efluentes. A partir desses resultados, uma reavaliação do dimensionamento e dos tipos de processos de tratamento necessários para a obtenção de padrões de qualidade adequados poderá ser realizada.

5.7 EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS QUÍMICOS

Essa empresa é responsável pela fabricação de produtos químicos, especialmente silicatos de sódio, sílica e polímeros. Esses produtos são utilizados em diversos setores, como: construção civil, químicos, alvejamento têxtil e celulose, tratamento de água e etc. O efluente alcalino é oriundo da lavagem das cubas de preparação e armazenamento dos produtos. O tratamento do efluente é **primário**, apenas com correção de pH.

Os valores de FT obtidos nos ensaios de toxicidade no efluente final da indústria de produtos químicos são apresentados na Figura 10.



Ao analisar a Figura 10, o gráfico mostra que para os ensaios com *Danio rerio*, os

valores de FT oscilaram entre 2 e 4, ficando dentro do limite permitido pela Legislação NT 213. R 04 (RIO DE JANEIRO, 1990).

Já os valores de FT nos ensaios com a *Daphnia similis* sofreram grandes variações indo de FT=4 a FT=32, sendo tóxicos para os organismos. Com esses resultados, todas as amostras apresentadas estariam fora do limite permitido pela Portaria 017/02 (FATMA, 2002). Os ensaios com a *Daphnia similis* sofreram maior variação nos valores de FT. Esse organismo demonstrou maior sensibilidade ao efluente dessa indústria.

Esse efluente tem como característica principal valor elevado de condutividade elétrica, usualmente superior a 20.000 uS/cm em função da grande quantidade de sais de sódio e potássio em solução no efluente. O excesso de sais dissolvidos no efluente é capaz de causar toxicidade nos ensaios que utilizam organismos-teste de água doce, mesmo que não haja outros fatores que classicamente podem ser atribuídos como fontes de toxicidade, como matéria orgânica, surfactantes, óleos e graxas e etc.

A alta concentração de sais dissolvidos influencia nos mecanismos osmóticos dos organismos-teste, e esses apresentam sensibilidade à concentração de sais por serem organismos-teste de água doce.

No estado do Rio de Janeiro, não existem padrões de lançamento para os parâmetros condutividade elétrica e sólidos filtráveis totais, fazendo com que o principal parâmetro de monitoramento para efluentes com a característica supracitada seja os ensaios de ecotoxicidade. É possível que um efluente com alta concentração de sólidos filtráveis totais atenda todos os parâmetros de lançamento previstos na legislação do estado do Rio de Janeiro, com exceção da toxicidade pelas razões apontadas acima.

A indústria em questão possui apenas o tratamento primário de correção de pH. Tais resultados indicam a necessidade de se ajustar o sistema de tratamento para adequação dos parâmetros ecotoxicológicos ou a implantação de um novo sistema de tratamento. Alguns estudos, como o de Cassoni (2016), demonstraram que o uso de macrófitas das espécies *Spartina maritima*, *Juncus maritimus* e *Arundo donax*, a espécie *Arundo donax* pode remover até 10% da quantidade de sais, sem morte de nenhuma das espécies usadas no experimento. Alguns métodos de dessalinização, com uso de separação por membranas, como eletrodialise e osmose reversa, também podem ser aplicados para a retirada dos sais dissolvidos (BORGES, 2009).

CONCLUSÃO

Foi observada toxicidade aguda para os dois organismos-teste em pelo menos um efluente industrial avaliado. Por isso, esses organismos podem ser considerados bons indicadores de ecotoxicidade.

Nesse estudo o microcrustáceo *Daphnia similis* respondeu de maneira bem mais sensível que o peixe *Danio rerio*. A partir disso podemos verificar que em função da diferença de sensibilidade nos organismos de diferentes níveis tróficos é importante a utilização de no mínimo dois organismos-teste nos ensaios ecotoxicológicos, de modo a garantir um biomonitoramento mais seguro e adequado desses efluentes, reforçando assim a necessidade de que deve haver exigência de ensaios de ecotoxicidade com mais de um organismo, de diferentes níveis tróficos, por parte das autoridades competentes no estado do Rio de Janeiro. A legislação em vigor, a Norma Técnica 213 R.04 exige o uso de apenas um organismo para os ensaios ecotoxicológicos (agudo), o peixe *Danio rerio*. Ao passo que a legislação federal, a Resolução do CONAMA 430 define o uso de dois níveis tróficos distintos.

Foi verificado um bom desempenho dos processos adotados no tratamento dos efluentes nas indústrias de Lubrificantes, Alimentícia I, Alimentícia II e Farmacêutica, onde não foi observada nenhuma toxicidade aos organismos em seu efluente final.

Espera-se que haja redução da concentração de poluentes, da carga orgânica e toxicidade nos efluentes tratados. Entretanto há ocasiões onde a tecnologia de tratamento adotada não é suficiente para eliminar o efeito tóxico aos organismos aquáticos, como visto no período de estudo nas indústrias de Produtos Químicos, Bebidas e Rações.

Dentre as possíveis causas da variação da toxicidade nos efluentes tratados avaliados tem-se: a variação matérias-primas utilizadas nas semanas (variação sazonal do efluente), perda de eficiência por razões operacionais, presença de substâncias que não foram identificadas ou até mesmo dimensionamento inadequado da estação de tratamento.

A utilização de Centrais de Tratamento *offsite* pode ser uma válvula de escape das indústrias geradoras de efluentes enquanto não são capazes de adequar sua tecnologia de tratamento de efluentes, como visto na indústria de Rações. O envio de efluentes não enquadrados a estações de tratamento de efluentes de terceiros evita a poluição dos corpos hídricos e se mostra uma importante ferramenta na gestão de efluentes industriais.

Dessa forma, pensando na melhoria da gestão efetiva de efluentes, recomenda-se avaliar futuramente algumas medidas como forma de prevenir circunstâncias que podem

resultar em um efluente final tóxico como, otimizar o sistema de tratamento de efluentes, testar novas tecnologias, avaliar a biodegradabilidade e toxicidade de produtos químicos usados na indústria, ter um controle efetivo dos derrames, fazer um treinamento com os operadores do processo produtivo quanto à conscientização e boas práticas ambientais, e em último caso enviar o efluente final para tratamento em Centrais de Tratamento *offsite*.

Às indústrias enquadradas, porém incapazes de atingir $FT=1$ em seus efluentes, pode-se recomendar a realização de estudos de TIE ou AIT (Avaliação e Identificação de Toxicidade) como oportunidade de melhoria e até mesmo segurança operacional. Uma vez identificados os compostos responsáveis ou manipulações necessárias para reduzir a toxicidade do efluente, os mesmos podem ser substituídos na linha de produção ou tratados de forma específica e mais eficiente durante o processo de tratamento do efluente na ETEI. Para as indústrias incapazes de enquadrar seu efluente tratado em relação à toxicidade, recomenda-se a utilização de estudos de tratabilidade que permitam encontrar a tecnologia adequada de tratamento ao efluente gerado, a fim de que a indústria seja capaz de atender aos padrões de lançamento previstos na legislação.

Através desse estudo foi possível avaliar o desempenho e a adequação de diferentes tecnologias para tratamento de efluentes quanto à remoção de toxicidade. Verificou-se que o nível de complexidade não está necessariamente relacionado à eficiência quando se trata da remoção de toxicidade, mas sim o correto dimensionamento e adoção de uma tecnologia adequada à tipologia do efluente. Uma tecnologia de tratamento simples, porém bem dimensionada, como visto na indústria de lubrificantes foi eficiente em enquadrar o efluente final quanto à toxicidade, enquanto um sistema de tratamento mais complexo, porém mal dimensionado, como visto na indústria de Rações, foi incapaz de remover a toxicidade do efluente final de forma adequada.

Esse estudo foi importante, pois os resultados apontam a necessidade do uso de ensaios ecotoxicológicos no controle de tratamento de efluentes líquidos para seu posterior descarte nos corpos hídricos receptores, visando causar o menor risco para a biota aquática, contribuindo com o mecanismo de gestão e sustentabilidade ambiental auxiliando na prevenção de impactos e na tomada de ações e medidas mitigadoras.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J.D. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, v. 35, p. 257-284. 2004.

ALMEIDA, I. S. *Avaliação de toxicidade aguda de efluentes industriais utilizando organismos de três níveis tróficos*. 2013. 140 p. Dissertação (Mestrado em Controle de efluentes líquidos industriais)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ALMEIDA, J. R. *Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável*. 5 reimpr. Rio de Janeiro: Thex, 2014.

ALVES, S. D. *Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos*. Rio de Janeiro, 2010. 129 p. Dissertação (Mestrado em Controle de efluentes líquidos industriais) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

ANDRADE, R. M. S. L. *Efeitos da exposição de peixe zebra, Danio rerio, a um efluente têxtil*. 2004. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2004.

APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington: American Public Health Association; 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12713: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda: Método de ensaio com Daphnia sp (Cladocera, Crustacea)*. Rio de Janeiro, 2016, 27 p.

_____. *NBR 15088: Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda: Método de Ensaio com peixes*, 2016, 22 p.

BERTOLETTI, J.J.; PEREIRA, E.H.L.; PEZZI DA SILVA, J.F.. Notas sobre o gênero *Trachelyopterus* Valenciennes, 1840, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Siluriformes, Auchenipteridae). *Comum. Mus. Ciênc. Sér. Zool.* Porto Alegre, v. 5, p. 169-177. 1992.

BORGES, F. J. *Integração dos processos de eletrodialise e degradação fotoquímica para o tratamento de efluentes salinos contendo fenol*. 2009. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2009.

BRAGA, B *et al.* *Introdução à Engenharia Ambiental*, 2ª Ed. São Paulo: Pearson, 2005.

BRANDÃO, M. D. *Avaliação operacional da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de papel*. Viçosa, 2014, 87 p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

BRASIL. Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 de setembro de 1981. Seção 1, p. 1.

_____. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluente, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 53, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63.

_____. Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União, DF, n.92, 16 de maio de 2011. pág. 89.

CASSONI, C. *Tratamento de efluentes salinos em Leito de Macrófitas*. Porto, 2016, 81p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Ambiente e Território. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2016.

CHASIN, A. A. M. & AZEVEDO, F. *As bases Toxicológicas da Ecotoxicologia*. Rima, São Carlos, São Paulo, 2003. 340 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Métodos de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos*. 2010. São Paulo. CETESB, 2010. v.1, 297 p.

COSTA, C. R. et al. *A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação*. Química nova, 31(7), 1820-1830, 2008.

DAFLON, S. D. A. *Avaliação e identificação de toxicidade (AIT) em efluente de uma refinaria de petróleo visando à remoção de toxicidade crônica*. Rio de Janeiro, 2016, 191p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

DIVENSI, H. F.; LIMA, S. B.; SOUZA, D. C. Tratamento de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes utilizando macrófita aquática. In: V Encontro de Produção Científica e Tecnológica. 40., 2010, Campo Mourão (RS), Anais eletrônicos do V Encontro de Produção Científica e Tecnológica. Campo Mourão: FECILCAM, 2010. Disponível em: < http://www.fecilcam.br/nupem/anais_v_epct/trabalhos_completos/engenharias.html>. Acesso em: 01 dez 2017.

GIORDANO, G. *Tratamento e controle de efluentes industriais*. Revista ABES, v. 4, n. 76, 2004.

GIORDANO, G; SURERUS, V. *Efluentes industriais, volume 1: estudo de tratabilidade*. Rio de Janeiro, Publit, 2015, 196 p.

GOULART, M.; CALLISTO, M. *Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental*. Revista da FAPAM, ano 2, n. 1, 2003.

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

LESSA, H. F. D. *O uso do bioindicador Daphnia similis claus, 1876 (Crustacea, Cladocera) para avaliação da toxicidade aguda da água superficial do reservatório da Lagoa da*

Pampulha. Belo Horizonte, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas - Licenciatura) - Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. Belo Horizonte, MG, 2010.

LOPES, A. C. D. Estudo da remoção de óleos emulsionados de efluentes industriais. Porto, 1999, 127p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1999.

MACHADO, R. M. *Caracterização e avaliação da redução da toxicidade dos efluentes de uma indústria metal-mecânica*. Porto Alegre, 2014, 236p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental- Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, RS, 2014.

MACHADO, V. V. B. *Análise ecotoxicológica e química da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de Laticínios em Goiás*. Goiânia, 2011, 94 p. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Goiás, GO, 2011.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO-FILHO, A. S. *A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos*. *Oecologia Brasiliensis* 12(3): p 355-381, 2008.

MARTINS, M. E. *Aplicação de bioensaios de toxicidade para avaliação da eficiência do reator anaeróbio horizontal de leito fixo (rahlf) na destoxificação do aldicarbe*. São Carlos, 2008, 57 p. Monografia (Faculdade de Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

MELO, E. D. de. *Avaliação e identificação da toxicidade de efluentes líquidos de uma indústria de cosméticos*. 2012. 99 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

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

MORENO, F. N. *Tratamento de efluentes de uma indústria de reciclagem de embalagens plásticas de óleos lubrificantes: processo biológico e físico-químico*. Campinas, 2007, 159 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

MOSSE, K.P.M. *et al. Winery wastewater inhibits seed germination and vegetative growth of common crop species*. *Journal of Hazardous Materials* 180, 63–70, 2010.

OWEN, M.A.; ROHRER, K.; HOWARD, R.D. *Mate choice for a novel male phenotype in zebrafish, Danio rerio*. *Animal Behaviour* 83, 811-820, 2012.

PEREIRA, O. M. *et al. Determinação dos Teores de Hg, Pb, Cd, Cu e Zn em Moluscos (Crassostrea brasiliana, Perna perna e Mytella falcata)*. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 61(1):19-25, 2002.

PIRES, L. E. B. *Avaliação e identificação da toxicidade (toxicity identification evaluation – TIE) do efluente líquido do pólo industrial de Belford Roxo, RJ, e sua contribuição na qualidade das águas do curso inferior do Rio Sarapuí, sub-bacia do Rio Iguazu, Bacia da*