



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Sarah Dario Alves

**Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos
expostos a efluentes líquidos**

Rio de Janeiro

2010

Sarah Dario Alves

Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Controle de efluentes líquidos industriais.

Orientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano
Coorientador: Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho

Rio de Janeiro
2010

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

A474 Alves, Sarah Dario.
Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos / Sarah Dario Alves. - 2010.
123 f.

Orientador: Gandhi Giordano.
Coorientador: Olavo Barbosa Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Efluentes industriais – Teses. 2. Toxicidade – Teses. 3. Chorume - Teses. 4. Engenharia Ambiental. I. Giordano, Gandhi. II. Barbosa Filho, Olavo. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 502.51:628.5

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

Assinatura

Data

Sarah Dario Alves

Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Controle de efluentes líquidos industriais.

Aprovado em: 15 de dezembro de 2010.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho (Coorientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Daniele Maia Bila

Faculdade de Engenharia -UERJ

Prf.^a Dr.^a Márcia Vieira Reynier

Laboratório de Análise Ambiental Ltda. - LABTOX

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e àqueles que compartilham os meus ideais e os alimentam, incentivando-me a prosseguir quaisquer que sejam os obstáculos. Minha eterna gratidão e reconhecimento de que os méritos desta conquista há muito da presença de vocês: minha família e principalmente meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me manter no caminho correto, pela proteção e por todas as bênçãos recebidas.

Aos meus pais pela educação, pela presença, pelo amor, pelo apoio e por fazer de mim tudo que sou hoje.

Aos meus irmãos pelo carinho e incentivo: Moysés, Saulo e Emanuel.

À minha família que sempre fez parte da minha vida e sempre esteve presente me apoiando.

Ao meu amor Kleber pelo apoio, eterno incentivo e paciência.

À TECMA pelo financiamento e oportunidade;

À minha amiga Patricia, pela antiga, sincera e sempre viva amizade. Você sempre esteve comigo nos momentos mais importantes da minha vida. Obrigada por tudo.

Às minhas amigas da república Monique, Priscila Schroeder, Priscila Pinto e Priscila Canal. Vocês são maravilhosas e sempre fazem do meu dia um dia mais alegre. Obrigada pelo companheirismo.

Aos meus orientadores Gandhi Giordano e Olavo Barbosa Filho pela orientação, incentivo e oportunidade de crescer como profissional.

Ao Bruno e a Gleidice da Petrobrás pela oportunidade de estágio, por todo apoio dado, pelo treinamento na ecotoxicologia, mas acima de tudo por ter me ensinado como se portar como uma profissional. Meu muito obrigada!

Ao laboratório de ecotoxicologia da CETESB pelo treinamento dado, pelo apoio e carinho.

Ao meu professor e grande amigo Luiz Antônio de Mello pelos ensinamentos desde a faculdade. Devo muito de meus conhecimentos em meio ambiente a você.

Aos meus amigos da faculdade: Simone, Camila, Bruno, Luciano, Brenda, Hugo, Dayanne, Regianne, Gustavo, Eliesier e Wellington Junior.

Aos meus amigos do Colégio pH: Ellen, Naitê, Gabi, Thaís, Daniel e a muitos outros que acompanharam todo o trabalho para conciliar o mestrado e o emprego.

Aos meus professores de mestrado pelo ensinamento dado, principalmente ao prof. Júlio Forte e ao prof. Eduardo pela presença maior, pelos conselhos e por sempre acreditarem em mim durante essa jornada.

Ao meu estagiário Raphael que esteve ao meu lado durante todos os passos de implementação do método, durante os ensaios e implementação da qualidade. Sem você, realmente nada disso teria sido possível. E à minha estagiária Camilla pela ajuda durante a semana cuidando das *Daphnias* e do laboratório quando não pude estar presente. Você é maravilhosa.

Aos amigos de trabalho da TECMA que sempre me ajudaram quando precisei e me acolheram como sendo parte da equipe.

Pesquisa para constatar, constatando intervenho, intervindo educo e me educo.

Paulo Freire

RESUMO

ALVES, Sarah Dario. **Estudo comparativo da sensibilidade de dois organismos expostos a efluentes líquidos**. 2010. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambientas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

Tendo em vista a multiplicidade das ações causada pela interação dos agentes químicos com possíveis danos a biota pelos efluentes, a estratégia mais eficiente é o uso integrado de análises físicas, químicas e ecotoxicológicas para avaliação e previsão do risco ambiental. Nesse sentido, ensaios ecotoxicológicos são importantes meios de monitoramento ambiental a fim de se preservar o meio aquático. Um dos objetivos principais do trabalho foi implementar o método de ensaio com *Daphnia similis* de acordo com a ABNT NBR 12713: 2009. Além disso, objetivou-se avaliar a sensibilidade relativa de dois organismos-testes (*Daphnia similis* e *Danio rerio*) a efluentes de diversas indústrias tais como: alimentícia, bebidas, farmacêutica, papel, petroquímica, efluente proveniente de decapagem de metais, e chorume proveniente de três aterros diferentes (São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul) avaliando os resultados físico-químicos e os limites das legislações vigentes no Rio de Janeiro (NT 213, NT 202 e DZ 205). Dessa forma, pretende-se observar se os limites estabelecidos são suficientes para não conferir ecotoxicidade aguda ao corpo hídrico. Os efluentes tratados da indústria alimentícia, de bebidas, de papel e farmacêutica não apresentaram ecotoxicidade aguda nem a *Daphnia similis* nem ao *Danio rerio*. Já o ensaio com o efluente proveniente da decapagem de metais, apresentou-se muito tóxico aos dois organismos, sendo CL(I)50;48h igual 39,99% e CE(I)50;48h igual a 11,87%, respectivamente. Com relação aos efluentes da indústria petroquímica A, foi detectada ecotoxicidade mesmo estando todos os seus parâmetros analisados de acordo com as legislações vigentes. Já os efluentes provenientes de aterro sanitário, o chorume oriundo de aterro da região metropolitana de São Paulo, em geral, apresentou-se como sendo o mais tóxico dos três aterros sanitários. E o chorume tratado oriundo do aterro do Rio Grande do Sul, demonstrou-se ser o menos tóxico dos três, principalmente com relação à *Daphnia similis*. De modo geral, todos os efluentes que se encontraram dentro dos limites da legislação (DZ 205 e NT 202), não apresentaram ecotoxicidade aos organismos em estudo.

Palavras-chaves: *Daphnia similis*. *Danio rerio*. Efluentes. Chorume. Legislação.

ABSTRACT

Given the multiplicity of actions caused by the interaction of chemical agents with possible damage to biota by effluent, the most effective strategy is the integrated use of physical, chemical and ecotoxicological assessment and forecast of environmental risk. In this sense, ecotoxicological tests are important means of environmental monitoring in order to preserve the aquatic environment. The main objective of this study was to implement the test method with *Daphnia similis* according to ABNT NBR 12713: 2009. Moreover, the objective was to evaluate the relative sensitivity of two organisms-tests (*Daphnia similis* and *Danio rerio*) effluents from various industries such as industry of food, beverage, pharmaceutical, paper, petrochemical, effluent from the pickling of metals, and slurry from three different landfills (Sao Paulo, Rio de Janeiro and Rio Grande do Sul) evaluating the results and physical-chemical limits of the in Rio de Janeiro (NT 213, NT 202 and 205 DZ). Thus, we intend to see if the limits are not sufficient to confer acute ecotoxicity to water body. Treated effluent from industry of food, beverage, pharmaceutical and paper, showed no acute ecotoxicity neither *Daphnia similis* nor the *Danio rerio*. The test with the effluent from the pickling of metals performed very toxic to both organisms, with LC (I) 50; 48h equals 39.99% and EC (I) 50; 48h equal to 11.87%. The effluent from the petrochemical industry A showed ecotoxicity, even when all its parameters analyzed were in accordance with existing laws. The landfill leachate coming from the metropolitan region of Sao Paulo, in general, presented as being the most toxic of the three landfills. And the treated leachate from the landfill that came from Rio Grande do Sul, proved to be the least toxic of the three, particularly when it came to *Daphnia similis*. In general, all effluent were within the limits of the law (DZ 205 and NT 202), showed no ecotoxicity to organisms under study.

Keywords: *Daphnia similis*. *Danio rerio*. Effluent. Leachate. Legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	<i>Daphnia similis</i> adulta	30
Figura 1.2	Neonato de <i>Daphnia similis</i>	30
Figura 1.3	Câmara incubadora de ovos de <i>Daphnia similis</i>	30
Figura 1.4	Efípio.....	31
Figura 1.5	<i>Daphnia similis</i> com efípio.....	31
Figura 1.6	Ciclo de vida de <i>Daphnia similis</i>	31
Figura 1.7	<i>Danio rerio</i>	36
Figura 2.1	Leitura de mobilidade dos organismos a após 48h	52
Figura 2.2	Série de cinco diluições (mais o controle) de um ensaio com <i>Daphnia similis</i>	52
Figura 2.3	Fluxograma do ensaio com <i>Daphnia similis</i>	53
Figura 2.4	Ensaio de ecotoxicidade aguda com <i>Danio rerio</i>	55
Figura 2.5	Fluxograma do ensaio com <i>Danio rerio</i>	55
Figura 2.6	Ensaio com os efluentes tratados de uma indústria de papel	57
Figura 2.7	Ensaio com os efluentes tratados de uma indústria de bebidas.....	58
Figura 2.8	Ensaio com efluentes tratados da indústria farmacêutica.....	59
Figura 2.9	Ensaio com efluentes tratados da indústria alimentícia.....	60
Figura 2.10	Ensaio com o efluente da indústria de metalurgia	61
Figura 2.11	Ensaio com a indústria petroquímica	62
Figura 2.12	Ensaio com os chorumes brutos	64
Figura 2.13	Ensaio com os chorumes tratados	65
Figura 2.14	Incubadora de <i>Daphnia similis</i>	66
Figura 2.15	Ensaio de viabilidade da água.....	66
Figura 2.16	Manutenção da alga em meio sólido.....	68

Figura 2.17	Meio líquido contendo alga na mesa agitadora.....	69
Figura 2.18	Garrafão fermentador de alga	70
Figura 2.19	Solubilização da ração para o preparo do alimento de <i>Daphnia similis</i>	71
Figura 2.20	Cadinhos para o controle dos sólidos totais.....	71
Figura 3.1	Carta-controle de <i>Daphnia similis</i>	73
Figura 3.2	Carta-controle do <i>Danio rerio</i>	75
Figura 3.3	Comparação da sensibilidade de <i>Daphnia similis</i> e <i>Danio rerio</i> aos efluentes da indústria petroquímica C.....	92
Figura 3.4	Chorume de São Paulo (Bruto-Clarificado-Após Tratamento Biológico).....	94
Figura 3.5	Sensibilidade de <i>Danio rerio</i> e <i>Daphnia similis</i> ao chorume do aterro sanitário de São Paulo	95
Figura 3.6	Chorume do Rio de Janeiro (Bruto-Clarificado-Após Tratamento Biológico)	97
Figura 3.7	Sensibilidade de <i>Danio rerio</i> e de <i>Daphnia similis</i> ao chorume de Rio de Janeiro	99
Figura 3.8	Chorume de Rio Grande do Sul (Bruto-Clarificado-Após Tratamento Biológico).....	101
Figura 3.9	Sensibilidade de <i>Daphnia similis</i> e <i>Danio rerio</i> com o chorume de Rio Grande do Sul	102
Figura 3.10	Sensibilidade de <i>Daphnia similis</i> aos três chorumes	105
Figura 3.11	Sensibilidade de <i>Danio rerio</i> aos três chorumes.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Avaliação de ecotoxicidade de <i>Daphnia similis</i> a diferentes substâncias e efluentes	32
Tabela 1.2	Resultados dos ensaios de ecotoxicidade com <i>Daphnia similis</i>	33
Tabela 1.3	Métodos de ensaio de ecotoxicidade normalizados por entidades de padronização para o gênero <i>Daphnia</i>	35
Tabela 1.4	Métodos de ensaio de ecotoxicidade normalizados por entidades de padronização para o método com <i>Danio rerio</i>	38
Tabela 1.5	Tabela 1.5 Remoções mínima para carga orgânica biodegradável de efluentes industriais	41
Tabela 1.6	Concentrações máximas de DQO em efluentes de indústrias com vazão superior que 3,5 m ³ /dia.....	42
Tabela 1.7	Limites máximos de ecotoxicidade para efluentes de diferentes origens estabelecidos pela portaria 01/02 FATMA	44
Tabela 2.1	Data da coleta das amostras e dos ensaios realizados com <i>Daphnia similis</i> e <i>Danio rerio</i>	47
Tabela 2.2	Tipo de preservação das amostras para as análises físico-químicas	48
Tabela 2.3	Norma referente aos ensaios físico-químicos	49
Tabela 2.4	Resumo das condições de ensaio agudo com <i>Daphnia similis</i>	51
Tabela 2.5	Resumo das condições de ensaio agudo com <i>Danio rerio</i>	56
Tabela 2.6	Composição química da água mineral utilizada para o cultivo e ensaio de <i>Daphnia similis</i>	67
Tabela 2.7	Lista de reagentes usados para preparo de meio chü (meio de cultura para alga).....	68
Tabela 2.8	Escala de Toxicidade (CETESB, 1987c)	72
Tabela 3.1	Ensaio de sensibilidade de <i>Daphnia similis</i> com Cloreto de Potássio (KCl)	74
Tabela 3.2	Parâmetros referentes à carta-controle de <i>Daphnia similis</i>	74
Tabela 3.3	Ensaio de sensibilidade de <i>Danio rerio</i> com Dicromato de Potássio (K ₂ Cr ₂ O ₇)	75
Tabela 3.4	Parâmetros referentes à carta-controle de <i>Danio rerio</i>	76

Tabela 3.5	Resultados dos ensaios ecotoxicológicos e as respectivas análises físico-químicas	77
Tabela 3.6	Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria de papel.....	78
Tabela 3.7	Resultado das análises físico-químicas do ensaio 1 com o efluente da indústria de papel A	79
Tabela 3.8	Resultado das análises físico-químicas do ensaio 2 com o efluente da indústria de papel B	79
Tabela 3.9	Resultado das análises físico-químicas do ensaio 3 com o efluente da indústria de papel B	80
Tabela 3.10	Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria de bebidas	80
Tabela 3.11	Análise físico-química do ensaio 4 com o efluente tratado da indústria de bebidas	81
Tabela 3.12	Análise físico-química do ensaio 5 com o efluente tratado da indústria de bebidas	81
Tabela 3.13	Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria farmacêutica.....	82
Tabela 3.14	Análise físico-química do ensaio 6 com o efluente tratado da indústria farmacêutica.....	83
Tabela 3.15	Análise físico-química do ensaio 7 com o efluente tratado da indústria farmacêutica.....	83
Tabela 3.16	Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria alimentícia.....	84
Tabela 3.17	Resultado das análises físico-químicas do ensaio 8 com o efluente da indústria alimentícia.....	84
Tabela 3.18	Resultado das análises físico-químicas do ensaio 9 com o efluente da indústria alimentícia.....	85
Tabela 3.19	Resultado do ensaio agudo com o efluente da indústria metalúrgica após decapagem de metais	85
Tabela 3.20	Análise físico-química do ensaio 10 com o efluente da indústria metalúrgica após a decapagem de metais	86
Tabela 3.21	Resultado dos ensaios agudos com os dois efluentes tratados da indústria petroquímica A.....	87
Tabela 3.22	Análise físico-química do ensaio 11 com o efluente tratado da indústria petroquímica A.....	88

Tabela 3.23	Análise físico-química do ensaio 12 com o efluente tratado da indústria petroquímica A.....	89
Tabela 3.24	Resultado dos ensaios agudos com os dois efluentes tratados da indústria petroquímica B.....	89
Tabela 3.25	Resultado dos ensaios agudos com os dois efluentes tratados da indústria petroquímica B.....	90
Tabela 3.26	Análise físico-química do ensaio 14 com o efluente tratado da indústria petroquímica B.....	90
Tabela 3.27	Resultado dos ensaios agudos com os efluentes da indústria petroquímica C.....	91
Tabela 3.28	Análises físico-químicas das etapas de tratamento da indústria petroquímica C. Ensaios 15, 16 e 17.....	93
Tabela 3.29	Redução de ecotoxicidade para <i>Daphnia similis</i> com o tratamento do efluente C.....	93
Tabela 3.30	Redução de ecotoxicidade para <i>Danio rerio</i> com o tratamento do efluente C.....	93
Tabela 3.31	Resultados dos ensaios agudos do chorume do aterro sanitário de São Paulo.....	94
Tabela 3.32	Análise físico-química do ensaio 18 com o chorume bruto do aterro sanitário de São Paulo.....	95
Tabela 3.33	Análise físico-química do ensaio 19 com o chorume clarificado do aterro sanitário de São Paulo.....	96
Tabela 3.34	Análise físico-química do ensaio 20 com o chorume tratado do aterro sanitário de São Paulo.....	96
Tabela 3.35	Resultados dos ensaios agudos do chorume do aterro sanitário de Rio de Janeiro.....	98
Tabela 3.36	Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro para <i>Daphnia similis</i>	99
Tabela 3.37	Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro para <i>Danio rerio</i>	100
Tabela 3.38	Análises físico-químicas dos ensaios de cada etapa de tratamento do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro (ensaios 21, 22 e 23).....	100
Tabela 3.39	Resultado dos ensaios agudos com o chorume de Rio Grande do Sul.....	101
Tabela 3.40	Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul para <i>Daphnia similis</i>	102

Tabela 3.41	Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul para <i>Danio rerio</i>	103
Tabela 3.42	Análise físico-química do ensaio 24 com o chorume bruto do aterro sanitário do Rio Grande do Sul.....	103
Tabela 3.43	Análise físico-química do ensaio 25 com o chorume clarificado do aterro sanitário do Rio Grande do Sul.....	104
Tabela 3.44	Análise físico-química do ensaio 26 com o chorume tratado do aterro sanitário do Rio Grande do Sul.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE (I) 50	Concentração inicial que causa efeito a 50% dos organismos-testes
CL (I) 50	Concentração inicial que causa letalidade a 50% dos organismos-testes
CENO	Concentração do efluente que não causa efeito
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
D.E.R.	Concentração do efluente no corpo receptor
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DZ	Diretriz
FATMA	Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FD	Fator de Diluição
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (RJ)
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental (RS)
FT	Fator de Toxicidade
FDd	Fator de diluição para <i>Daphnia magna</i>
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
INEA	Instituto Estadual do Ambiente (RJ)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NT	Norma Técnica
OG	Óleos e Graxas
PRONOL	Comissão Permanente de Normalização Técnica
RNFT	Resíduo Não Filtrável Total
RNFV	Resíduo Não Filtrável Volátil
SLAP	Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras
SMA	Secretaria de Meio Ambiente (SP)
UT	Unidade de Toxicidade

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	19
1	REFERENCIAL TEÓRICO	25
1.1	Ecotoxicologia aquática	25
1.1.1	<u>Fatores que influenciam na ecotoxicidade</u>	26
1.1.2	<u>Sensibilidade dos organismos-teste</u>	27
1.1.3	<u>Terminologia</u>	28
1.2	Organismos-teste	29
1.2.1	<u>Daphnia sp</u>	29
1.2.1.1	Descrição.....	29
1.2.1.2	Ciclo de Vida.....	30
1.2.1.3	Utilização nos ensaios ecotoxicológicos	32
1.2.1.4	Normas e Padronização.....	35
1.2.2	<u>Danio rerio</u>	36
1.2.2.1	Descrição	36
1.2.2.2	Ciclo de Vida.....	37
1.2.2.3	Utilização nos ensaios ecotoxicológicos	38
1.2.2.4	Normas e Padronização	39
1.3	Sistemas de tratamento de efluentes líquidos	40
1.4.1	<u>Legislação Federal</u>	40
1.4.2	<u>Legislações estaduais</u>	40
1.4.2.1	Legislação do Rio de Janeiro.....	40
1.4.2.2	Legislação de Santa Catarina	43
1.4.2.3	Legislação de São Paulo.....	44
1.4.2.4	Legislação do Rio Grande do Sul.....	45

2	METODOLOGIA	46
2.1	Procedimento de coleta	46
2.2	Procedimento de amostragem	47
2.3	Procedimento de preservação das amostras	48
2.4	Métodos de ensaios físico-químicos	48
2.5	Ensaio Ecotoxicológicos	51
2.5.1	<u>Ensaio com <i>Daphnia similis</i></u>	51
2.5.1.1	<u>Ensaio de sensibilidade de <i>Daphnia similis</i></u>	53
2.5.2	<u>Danio rerio</u>	54
2.5.2.1	<u>Ensaio de sensibilidade de <i>Danio rerio</i></u>	56
2.6	Procedimento Experimental	57
2.6.1	<u>Efluente de indústria de papel</u>	57
2.6.2	<u>Efluente de indústria de bebidas</u>	58
2.6.3	<u>Efluente de indústria farmacêutica</u>	59
2.6.4	<u>Efluente de indústria alimentícia</u>	60
2.6.5	<u>Efluente proveniente de processos metalúrgicos</u>	60
2.6.6	<u>Efluente de indústria petroquímica</u>	61
2.6.7	<u>Efluente proveniente de aterro sanitário</u>	62
2.7	Cultivo do organismo-teste <i>Daphnia similis</i>	65
2.7.1	<u>Água de cultivo</u>	66
2.7.2	<u>Alimentação com alga</u>	67
2.7.3	<u>Alimentação complementar (Ração)</u>	70
2.8	Cálculo da porcentagem da redução de ecotoxicidade	71
2.9	Classificação das amostras quanto ao potencial tóxico	72
2.10	Equipamentos utilizados no estudo	72

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1	Carta-controle de <i>Daphnia similis</i>	73
3.2	Carta-controle <i>Danio rerio</i>	74
3.3	Resultados dos ensaios ecotoxicológicos	76
3.3.1	<u>Efluente de indústria de papel</u>	78
3.3.2	<u>Efluente de indústria de bebidas</u>	80
3.3.3	<u>Efluente de indústria farmacêutica</u>	82
3.3.4	<u>Efluente de indústria alimentícia</u>	84
3.3.5	<u>Efluente proveniente de processos metalúrgicos</u>	85
3.3.6	<u>Efluente proveniente de indústria petroquímica</u>	87
3.3.7	<u>Chorumes provenientes de aterros sanitários</u>	94
3.3.7.1	Chorume do aterro sanitário de São Paulo	94
3.3.7.2	Chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro	97
3.3.7.3	Chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul	101
3.3.7.4	Resultados comparativos da ecotoxicidade dos chorumes.....	105
4	CONCLUSÕES	107
5	RECOMENDAÇÕES	109
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICE A - Lista de materiais utilizada para a implementação do método ecotoxicológico com <i>Daphnia similis</i> no laboratório.....	116
	APÊNDICE B - Histórico dos resultados físico-químicos ao longo do tempo.....	118

INTRODUÇÃO

A água encontra-se disponível sob várias formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta. Todos os organismos necessitam de água para sobreviver, sendo a sua disponibilidade um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas. É fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físicas e químicas essenciais para a sua utilização pelos organismos. Esses devem conter substâncias essenciais à vida e estar isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos deletérios aos organismos que compõem as cadeias alimentares (BRAGA, 2005).

Devido a vários fatores como acidentes com produtos químicos, o interesse do homem pelas questões ambientais tem aumentado gradativamente nestas últimas décadas. O alto nível de poluição tem contribuído significativamente para as modificações ambientais, alterando a qualidade da água, reduzindo a diversidade de espécies autóctones, aumentando desordenadamente a densidade de determinadas espécies.

Dentre as maiores fontes de poluição do ambiente aquático, encontram-se os lançamentos de efluentes líquidos domésticos e industriais sem o devido tratamento. Muitos efluentes são extremamente complexos do ponto de vista físico, químico e biológico, sendo fontes de grande diversidade de poluentes para o ambiente aquático. (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

A contaminação dos mananciais impede seu uso para abastecimento humano. Além disso, muitas doenças podem ser transmitidas pela água, como por exemplo: febre tifóide, cólera, disenteria, hepatite, entre outras. Considerando a dificuldade na identificação em laboratório dos organismos causadores dessas doenças, têm-se usado alguns organismos como indicadores de contaminação, como é o caso de coliformes totais (JORDÃO; PESSOA, 2005). Daí a importância do tratamento adequado e controle desses efluentes os quais quando contaminados, podem não somente causar problemas para a saúde humana como também alterar as condições hídricas dos corpos de água receptores, causando danos à vida aquática.

O chorume também é um dos importantes efluentes que vem ganhando ampla discussão devido à sua alta carga tóxica e sais dissolvidos. O chorume (98% de água) é composto por matéria orgânica (0,5%) de várias funções e compostos inorgânicos (1,5%). Essa composição é devida à solubilização e à lixiviação dos resíduos nas suas condições de disposição (GIORDANO, 2003).

Os trabalhos sobre chorume apresentados na literatura, ressaltam que as características como a idade do aterro, têm influência significativa na composição química do chorume e conseqüentemente em sua tratabilidade. Portanto, a escolha entre as diversas alternativas de tratamento, depende de parâmetros técnicos e econômicos (WOO *et al.* 2000).

Esse tipo de efluente costuma ter alta concentração de nitrogênio amoniacal, salinidade, DQO, DBO, além de vários metais, conferindo grande ecotoxicidade aos organismos aquáticos. Os impactos provocados por este tipo de matriz são geralmente ocorrências de uma interação sinérgica entre os vários poluentes presentes (CARNIATO *et al.* 2007).

Uma característica importante de se observar nos chorume é a dureza, pois segundo Rodhger *et al.* (2010), metais são geralmente mais tóxicos em água mole do que em água dura em ambientes naturais. Isso se deve ao fato de que a ecotoxicidade de metais diminui em água dura, devido a competição (pelos organismos) entre metais de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Tendo em vista essa complexidade causada pela interação dos agentes químicos, a estratégia mais eficiente para avaliação dos efeitos biológicos e previsão do risco ambiental, é o uso integrado de análises físicas, químicas e ecotóxicológicas (COSTAN *et al.* 1993).

Este assunto tem merecido a atenção de indústrias e de entidades de pesquisa no controle ambiental de muitos países, desenvolvidos e em desenvolvimento. Além disso, têm-se buscado o aperfeiçoamento de muitos aspectos metodológicos. De uma maneira geral, duas abordagens têm sido normalmente utilizadas para a avaliação e controle de agentes tóxicos em efluentes industriais: controle de substâncias específicas e dos efluentes como um todo (GHERARDI- GOLDSTEIN, 1988).

O controle de efluentes baseado em substâncias específicas está sendo realizado através das determinações estabelecidas pela legislação em vigor, tanto no nível estadual (como São Paulo e Rio de Janeiro) quanto no nível federal (BRASIL, 2005).

No entanto, ao se considerar a grande quantidade de substâncias passíveis de serem lançadas no ambiente aquático por atividades industriais, verifica-se que o número para as quais foram estabelecidos padrões através de legislação está muito aquém do que seria necessário para um controle efetivo. Além disso, verifica-se que se torna analítica e economicamente inviável detectar e identificar todas as substâncias tóxicas em efluentes, de natureza química complexa e estabelecer padrões de emissão para cada uma delas. Ademais, mesmo que esses padrões fossem estabelecidos, não seria possível, através desta abordagem, estimar os efeitos que essas substâncias apresentam sobre a biota aquática, Buikema *et al.* 1976, uma vez que aparece com evidência que a atividade biológica destas substâncias

relaciona-se com as interações entre os componentes da mistura, não se identificando uma única substância como responsável por um determinado efeito (WALSH *et al.* 1980).

No caso do controle baseado no efluente como um todo, são realizados ensaios de ecotoxicidade nos quais os organismos aquáticos representativos das comunidades biológicas de corpos d'água receptores são expostos a várias concentrações do efluente. Verificam-se assim, os efeitos que os efluentes causam aos organismos-teste e que já traduzem o resultado final das ações aditivas, antagônicas e sinérgicas das substâncias biodisponíveis que os compõem. Dessa forma, a ecotoxicidade, característica inerente a uma substância ou à mistura de substâncias químicas, evidenciada pelos efeitos sobre os organismos vivos, torna-se a única variável a ser controlada (USEPA, 1985).

Cada uma dessas abordagens apresenta vantagens e limitações inerentes à metodologia empregada; enquanto as análises químicas identificam e quantificam as substâncias que compõem o efluente industrial, os ensaios de ecotoxicidade permitem avaliar o efeito do efluente sobre sistemas biológicos – ou seja, como os organismos vivos reagem a uma situação global, representada pelo efluente como um todo. As vantagens dessa última abordagem, segundo a USEPA (1985), podem ser resumidas da seguinte maneira:

- A ecotoxicidade conjunta de todos os constituintes de um efluente de natureza química pode ser medida;
- Pode-se reduzir o efeito tóxico de um efluente ao se limitar a um único parâmetro de ecotoxicidade;
- A disponibilidade biológica e as interações entre os constituintes são avaliadas.

Embora os primeiros ensaios ecotoxicológicos com despejos industriais tenham sido realizados entre 1863 e 1917, somente na década de 1930 foram implementados ensaios ecotoxicológicos de ecotoxicidade aguda, com organismos aquáticos, com o objetivo de estabelecer a relação causa/efeito de substâncias químicas e despejos líquidos (RAND, 1995).

Após longos anos de implementação, nas décadas de 80 e 90 se intensificou a utilização de ensaios ecotoxicológicos para o estabelecimento de padrões de qualidade da água e de lançamento de efluentes líquidos. Estes padrões passaram a ser usados no monitoramento da qualidade das águas no ambiente, visando o controle da poluição hídrica (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

Baseando-se no fato de que as leis ambientais são formuladas e revisadas baseadas em trabalhos científicos, estudos ecotoxicológicos são importantes para o aprimoramento de métodos, auxiliando a legislação e contribuindo para um melhor monitoramento ambiental. Neste contexto, a utilização de organismos para estudos ecotoxicológicos é de grande importância para estabelecer os efeitos dos efluentes nos corpos hídricos.

No Rio de Janeiro, os organismos mais utilizados em ensaios ecotoxicológicos em efluentes são os peixes, especialmente a espécie *Danio rerio*, mais conhecido como “paulistinha”. Sua utilização se deve a uma exigência do órgão ambiental estadual através da NT 213 R-04 (PRONOL, 1990).

Entretanto, em muitos lugares no Brasil, têm sido exigido também a utilização da espécie *Daphnia similis*, popularmente conhecida como pulga d’água. Essa espécie de microcrustáceo se alimenta de alga e matéria orgânica dissolvida na água. Além disso, é fonte de alimento para peixes, sendo assim, um componente importante da cadeia trófica.

Os daphnídeos são animais ideais para cultivo e subsequente uso em testes em laboratório, devido à sua alta capacidade reprodutiva, tamanho pequeno (0,5 a 5,0 mm) e reprodução partenogenética. (BURATINI *et al.* 2004).

Objetivos gerais

- Implantar o método de ensaio com *Daphnia similis* atendendo aos critérios da norma ABNT NBR 12713: 2009 (Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia* spp. Crustacea, cladocera);
- Realizar ensaios ecotoxicológicos em efluentes utilizando organismos-teste de diferentes níveis tróficos (*Daphnia similis* e *Danio rerio*).

Objetivos específicos

- Avaliar a sensibilidade relativa dos organismos aos diversos efluentes;
- Avaliar a eficácia, em termos de redução de ecotoxicidade, das etapas de tratamento dos efluentes da indústria petroquímica e de efluentes provenientes de aterro de resíduos sólidos urbanos;
- Verificar se os limites exigidos pela legislação estadual do Rio de Janeiro para lançamento de efluentes (NT 202 R10 e DZ 205 R06) constitui-se por si só, uma ferramenta eficaz para a proteção da vida aquática, não conferindo ecotoxicidade aos organismos;

No **capítulo 1** é apresentado o referencial teórico no qual são descritos conceitos e terminologias relacionados à ecotoxicologia aquática. No **item 1.2** estão descritos os dois organismos-teste (*Daphnia similis* e *Danio rerio*), mostrando o seu ciclo de vida, resultados de ensaios ecotoxicológicos anteriores e as normas e padronizações de métodos existentes com esses dois organismos. O **item 1.3** mostra os sistemas de tratamento de efluentes líquidos de uma maneira geral. O **item 1.4** trata-se das legislações tanto no nível federal quanto estadual sobre limites permissíveis de ecotoxicidade dos efluentes.

No **capítulo 2** são descritos os materiais e métodos utilizados para a realização do trabalho, no qual foi mostrado o procedimento de coleta, amostragem e preservação das amostras. No **item 2.5** está descrito o procedimento utilizado na realização dos ensaios com os organismos segundo os respectivos métodos de ensaios adotados para cada organismo. No **item 2.7** é mostrado como foi realizado a implantação do cultivo com o organismo-teste

Daphnia similis, como condições de cultivo, água de cultivo, alimento com alga e alimento complementar (ração para peixe).

O **capítulo 3** apresenta os resultados e discussão dos ensaios realizados. Os **itens 3.1 e 3.2** apresentam os resultados da carta-controle de *Daphnia similis* e *Danio rerio* respectivamente. Já o **item 3.3** apresenta os resultados dos ensaios ecotoxicológicos.

O **capítulo 4** mostra as conclusões obtidas a partir dos resultados, assim como análise e discussão.

O **capítulo 5** apresenta as recomendações feitas.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Ecotoxicologia aquática

Ensaio de ecotoxicidade aguda

O ensaio de ecotoxicidade aguda pode ser definido como aquele que avalia os efeitos, em geral severos e rápidos, sofridos pelos organismos expostos ao agente químico, em um curto período de tempo, geralmente de um a quatro dias. Devido à facilidade de execução, curta duração e baixo custo, os ensaios de ecotoxicidade aguda foram os primeiros a serem desenvolvidos e, portanto, constituem a base de dados ecotoxicológicos (BIRGE *et al.* 1985).

Esses critérios são utilizados porque são facilmente determinados e tem significado biológico e ecológico para o ambiente (VANLEEUEWEN, 1988).

Ensaio de ecotoxicidade crônica

No ambiente aquático, devido a fatores de diluição, em geral, os organismos estão expostos a níveis subletais dos poluentes, a menos que estejam em local cujas concentrações de contaminantes possam causar efeitos agudos. Esta exposição dos organismos ao agente químico, em níveis subletais, pode não levar à morte do organismo, mas pode causar distúrbios fisiológicos e/ou comportamentais a longo prazo. Esses efeitos não são detectados em ensaios de ecotoxicidade aguda, sendo necessário o uso de ensaio de ecotoxicidade crônica, o qual permite avaliar os efeitos adversos mais sutis aos organismos expostos. Esses ensaios utilizam períodos críticos da vida dos organismos (embrião, larva, jovens) e requerem menos gastos e tempo para sua execução que os ensaios que antes eram realizados com o ciclo de vida completo do organismo (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

Os ensaios de ecotoxicidade crônica mais difundidos mundialmente são os ensaios com o gênero *Daphnia*, com duração de 21 dias, e o gênero *Ceriodaphnia*, de sete dias de duração. Esse último tem sido mais utilizado para avaliação de ecotoxicidade crônica de amostras ambientais (águas e efluentes líquidos), enquanto o ensaio com *Daphnia*, é mais utilizado para avaliação da ecotoxicidade de novas formulações químicas (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

1.1.1. Fatores que influenciam na ecotoxicidade

Alguns fatores podem afetar os resultados dos ensaios de ecotoxicidade com organismos aquáticos, dentre eles, os fatores bióticos, que estão relacionados ao estágio de vida, tamanho, idade e estado nutricional dos organismos.

Sabe-se que os organismos jovens são geralmente mais sensíveis às substâncias tóxicas do que os adultos. Por esta razão recomenda-se o uso de organismos em estágios iniciais de vida em ensaios de ecotoxicidade. Além disso, todos os organismos utilizados em um determinado ensaio devem ter aproximadamente a mesma idade e devem ser provenientes de uma mesma cultura (USEPA, 2002).

Buikema *et al.* (1980), em experimentos com *Daphnia similis*, mencionam que a vantagem de usar organismos nos primeiros estágios de vida refere-se ao fato de que o seu tamanho é menor e a área superficial é maior, logo, a superfície de contato com substâncias tóxicas no meio aquático também seria maior. Além disso, esses organismos sofrem ecdise mais frequentemente (três a cinco vezes) nas primeiras 48h, e os autores sugerem que esse período, em que os organismos trocam de carapaça, seria o período de vida mais sensível dos cladóceros.

Os principais fatores abióticos que podem interferir nos resultados dos ensaios são: pH, oxigênio dissolvido, temperatura e dureza da água. Portanto, esses parâmetros devem ser monitorados durante a execução do ensaio. Alguns poluentes mostram grandes variações na ecotoxicidade em função do pH da água, como por exemplo a amônia, o cianeto e sulfeto de hidrogênio, os quais podem se ionizar devido ao pH. Usualmente, as formas não dissociadas ou menos dissociadas são as mais tóxicas, sendo que a mudança de toxicidade da substância, em função do pH, pode ser em torno de uma ordem de grandeza. Para a maioria dos metais, as espécies iônicas livres agem no sentido oposto, isto é, são mais tóxicas do que os compostos não dissociados (SPRAGUE, 1985).

Com relação à temperatura, o metabolismo energético dos organismos aumenta ou diminui em função da temperatura da água. A taxa metabólica pode duplicar para cada 10°C do aumento da temperatura da água. A elevação da temperatura pode, também, aumentar a solubilidade de muitas substâncias e na quantidade de oxigênio dissolvido na água. Seria possível assumir que um aumento da temperatura da água resultaria em maior ecotoxicidade de determinadas substâncias em dada concentração na água (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

O oxigênio dissolvido (OD) também pode influenciar a ecotoxicidade de algumas

substâncias. Lloyd (1961) demonstrou que a ecotoxicidade aguda de zinco, cobre, chumbo e fenóis, aumentou significativamente em águas com baixa concentração de OD. Poucos estudos mencionam que a hipóxia tem efeito relativamente pequeno sobre a ecotoxicidade de peixes (RATTNER; HEATH, 1995).

A dureza da água também pode afetar a ecotoxicidade de vários poluentes, especialmente metais. Geralmente, metais são menos tóxicos em águas mais duras, desde que o pH seja mantido constante. O efeito varia em função do tipo de metal e da água. O cádmio se precipita em água dura, reduzindo significativamente sua ecotoxicidade. O cobre, o zinco e o níquel são intermediários em sua ecotoxicidade quando estão associados a compostos orgânicos (RATTNER; HEATH, 1995).

1.1.2. Sensibilidade dos organismos-teste

O controle da sensibilidade dos organismos, através da realização periódica de ensaios com determinadas substâncias de referência, é um procedimento que permite maior precisão e confiabilidade nos resultados obtidos ao longo do tempo por um mesmo laboratório ou entre laboratórios (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

Utilizando o ensaio de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis*, Werner; Buratini (2002) testaram a sensibilidade desse microcrustáceo ao dicromato de potássio em três condições de cultivo, águas de diluição e dietas diferentes. As autoras observaram que, independente das condições de cultivo, os organismos apresentaram sensibilidade semelhante quando se utilizou o mesmo tipo de água de diluição nos ensaios. Assim, esse estudo confirmou que a água de diluição é um fator determinante na avaliação da ecotoxicidade do dicromato de potássio.

Buratini (2002) testou o cloreto de potássio como uma alternativa de substância de referência em ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis*. A autora comparou a sensibilidade dos organismos às duas substâncias, dicromato de potássio e cloreto de potássio, em diferentes águas de diluição. Esse trabalho demonstrou que o cloreto de potássio seria mais adequado como substância de referência, pois não sofre a interferência da qualidade da água na sua ecotoxicidade, além de ser mais seguro em relação à sua disposição no ambiente. Após a realização de três ensaios agudos com KCl e *Daphnia similis*, os valores de CE(I)50;48h encontrados foram 1190 mg/L, 690 mg/L e 1080 mg/L, sendo o valor médio igual a 987 mg/L.

1.1.3. Terminologia

Ecotoxicidade

Propriedade inerente do agente químico que produz efeitos danosos a um organismo quando este é exposto, durante um curto período um certo tempo, a determinadas concentrações.

Efeito agudo

Efeito deletério causado por agentes químicos a organismos vivos, que se manifesta rápido e severamente. Geralmente este efeito ocorre após curto período de exposição (24h, 48h e 96 horas).

Efeito crônico

Efeito deletério causado por agentes químicos a organismos vivos que, normalmente, se manifesta após dias, meses ou anos, dependendo do ciclo vital da espécie estudada. Esse efeito ocorre, em geral, após um prolongado período de exposição.

Efeito letal

Resposta a um estímulo, devido a concentração de um tóxico que causa morte por ação direta.

CL(I)50...h Concentração Letal Mediana

Concentração inicial do agente tóxico que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos-teste, num determinado período de exposição (pode ser 24h, 48h ou 96h). Expressão de resultados utilizado em peixes, como o *Danio rerio*.

CE(I)50...h Concentração Efetiva Mediana

Concentração inicial do agente tóxico que causa efeito agudo (por exemplo imobilidade) a 50% dos organismos-teste, num determinado período de exposição (pode ser 24h, 48h ou 96h). Expressão de resultado utilizado em microcrustáceos por exemplo, como a *Daphnia similis*.

CENO – CONCENTRAÇÃO DE EFEITO NÃO OBSERVADO

A maior concentração do agente tóxico que não causa efeito deletério estatisticamente

significativo, na sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos organismos-teste, num determinado período de exposição.

CEO - CONCENTRAÇÃO DE EFEITO NÃO OBSERVADO.

A menor concentração do agente tóxico que não causa efeito deletério estatisticamente significativo, na sobrevivência, crescimento e/ou reprodução dos organismos-teste, num determinado período de exposição.

1.2. Organismos-teste

1.2.1. *Daphnia sp*

1.2.1.1. Descrição

Os zooplânctons são de extrema importância ecológica, constituindo a base da cadeia alimentar aquática. Os microcrustáceos do gênero *Daphnia*, também conhecidas como pulgas d'água, são uma importante fonte de alimento para peixes (ZAGATTO; GOLDSTEIN, 1984).

O gênero *Daphnia* inclui mais de 100 espécies conhecidas de organismos planctônicos encontradas no mundo todo (THE EBERT GROUP, 2009).

No Brasil, é relatada a presença natural das espécies *Daphnia gessnerii*, *Daphnia ambigua* e *Daphnia levis* (MATSUMURA-TUNISI, 1984).

Porém, em ensaios ecotoxicológicos, são bastante utilizadas as espécies *Daphnia similis* e *Daphnia magna*, as quais não ocorrem naturalmente no Brasil. Além disso, são animais ideais para uso em ensaios de ecotoxicidade, pois são bastantes sensíveis a poluentes e facilmente cultiváveis em laboratório.

As espécies de *Daphnia similis* (**Figura 1.1**) têm de 0,5 a 5,0 mm de comprimento e uma carapaça bivalve transparente que encerra todo o corpo, com exceção da cabeça e antenas (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

Os cladóceros são organismos filtradores. Suas pernas torácicas, compostas por cerdas, agem como peneiras, que retém algas e as transferem para a boca, onde são moídas pelas mandíbulas e direcionadas para o trato digestivo (BUIKEMA; SHERBERGER, 1977).



Figura 1.1 *Daphnia similis* adulta

1.2.1.2. Ciclo de Vida

Como em todos os artrópodes, o crescimento ocorre imediatamente após a muda (ecdise). Fases pré-adultas mudam quase diariamente, enquanto adultos o fazem a cada dois ou três dias. Os daphnídeos se tornam reprodutivamente maduros do 3º ao 6º estágio (dependendo da espécie) e, em condições favoráveis, produzem crias de 4 a 65 jovens imediatamente antes de cada muda (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

A **Figura 1.2** mostra um filhote de daphnia, com 12h de vida. O desenvolvimento é direto. Os ovos situam-se em uma câmara incubadora na região dorsal, como mostra a **Figura 1.3**.

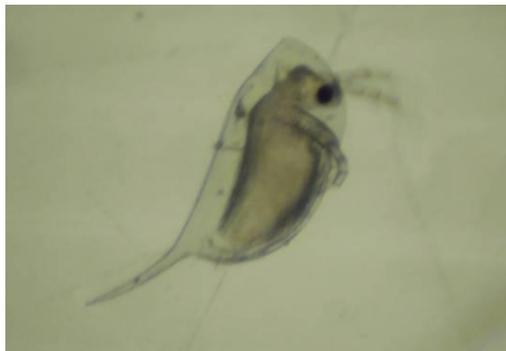


Figura 1.2 Neonato de *Daphnia similis*



Figura 1.2 Câmara incubadora de ovos de *Daphnia similis*

Fonte: <http://enciclopediaanimal.wordpress.com/las->

A reprodução é partenogenética, dando origem a populações constituídas inteiramente por fêmeas, até que ocorra um estresse ambiental, como superpopulação, falta de alimento ou mudanças de temperatura. Então, surgem na cultura machos e fêmeas com dois ovos haplóides, os quais são fecundados pelos machos.

Esses ovos, envoltos em uma casca única, são denominados de efípio (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006), como mostram as **Figuras 1.4 e 1.5**

Quando as condições ambientais se tornam novamente favoráveis, os ovos do efípio eclodem, liberando fêmeas que irão se reproduzir partenogeneticamente (BARNES, 1984).

O ciclo de vida descrito se encontra esquematizado na **Figura 1.6**.



Figura 1.4 *Daphnia similis* com efípio



Figura 1.3 Efípio

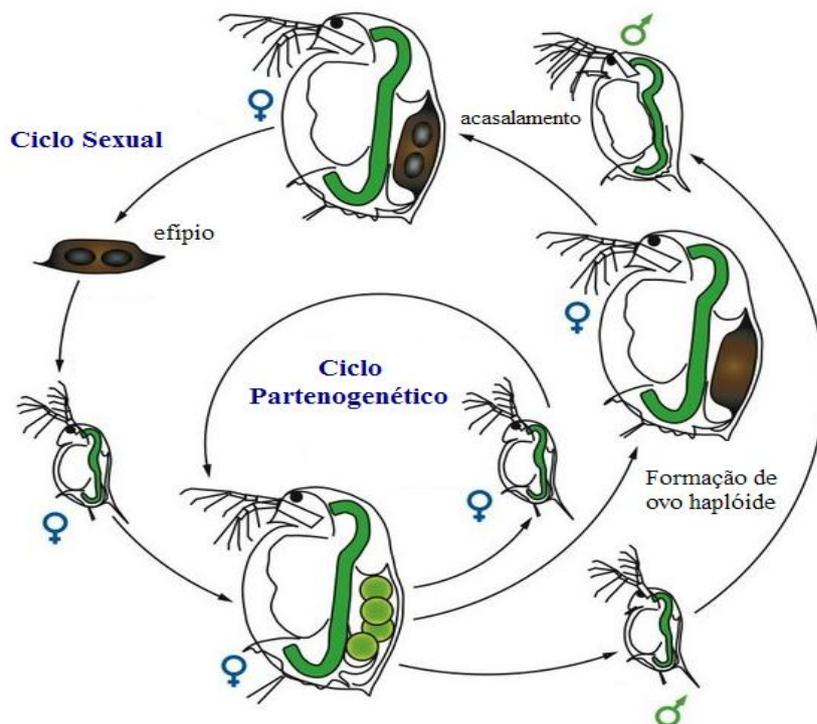


Figura 1.5 Ciclo de vida de *Daphnia similis*

Adaptado de: <http://www.evolution.unibas.ch/ebert/publications/parasitismdaphnia/ch2f9.htm>

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; BERTOLETTI, 2006).

1.2.1.3. Utilização nos ensaios ecotoxicológicos

Buratini *et al.* (2004) realizaram alguns ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia similis* em água mole e moderadamente dura.

Os resultados estão descritos na **Tabela 1.1**.

Tabela 1.1 Avaliação de ecotoxicidade de *Daphnia similis* a diferentes substâncias e efluentes

Agente químico	<i>Daphnia similis</i> CE(I)50; 24h, em mg/L
HgCl ₂	0,022
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,21
ZnSO ₄ .7H ₂ O	2,42
K ₂ Cr ₂ O ₇	0,239 ⁽¹⁾
Acetato de Chumbo	226,08
Fenol	52,13
NH ₄ Cl	325
EXTRAN MA 03	192,5
Detergente comercial	114,42
DMA-6	760
Round-up	56
Efluente ind. de curtume	117,85 ⁽²⁾
Efluente bruto - indústria de papel e celulose	637,07 ⁽²⁾
Efluente indústria Galvanoplastia: tanque de cianeto	2,02 ⁽²⁾
Efluente indústria. Galvanoplastia: tanque de cromo	5,64 ⁽²⁾
Efluente indústria Galvanoplastia: tanque de cianeto + cromo	151,09 ⁽²⁾

(1) Média de 2 testes; (2) em mL/L

Fonte: adaptado de BURATINI (*et al.*, 2004)

Nessa Tabela pode-se observar que o HgCl₂ foi o composto mais tóxico. Outros compostos como CuSO₄.5H₂O e K₂Cr₂O₇ também apresentaram altos índices de ecotoxicidade. Dentre os efluentes testados, o de galvanoplastia com tanque de cianeto e o de galvanoplastia com tanque de cromo foram mais tóxicos quando analisados separadamente.

Ensaio utilizando *Daphnia magna* demonstraram que a CE (I) 50; 24h para o ferro e para o cobre é de respectivamente 9,6 mg/L e 0,01 mg/L (CETESB, 1987b).

Além disso, vários autores têm investigado os efeitos da ecotoxicidade de metais a organismos aquáticos em diferentes tipos de água, sendo que muitos deles observaram que a dureza das águas influencia a ecotoxicidade destes metais, assim como a presença de quelantes na água (CALAMARI *et al.* 1980).

Zagatto *et al.* (1988), analisaram a ecotoxicidade de diversos efluentes industriais finais da bacia do rio Piracicaba em São Paulo. Os resultados foram expressos em CE (I)50; 24h como mostra a **Tabela 1.2**.

Tabela 1.2 Resultados dos ensaios de ecotoxicidade com *Daphnia similis* em efluentes industriais de São Paulo

Indústria	CE (I)50;24h (%)
Têxtil	0,18
Refinaria de petróleo	1,2
Química (A)	Não tóxico
Química (B)	69
Papel e Celulose (A)	Não tóxico
Papel e Celulose (B)	Não tóxico
Papel	30
Farmacêutica	48,5

Fonte: Adaptado de: ZAGATTO *et al.* (1988)

Analisando a **Tabela 1.2**, verifica-se que o efluente têxtil foi o mais tóxico à *Daphnia similis*, seguido do efluente da refinaria de petróleo. E os efluentes das indústrias químicas (A), papel e celulose (A) e papel e celulose (B) não apresentaram ecotoxicidade.

Embora os efluentes dessas indústrias não tenham apresentado ecotoxicidade aguda, isso não descarta a possibilidade da presença de substâncias tóxicas neles que possam causar um efeito crônico (GALVÃO, *et al.* 1987).

Ainda que a ecotoxicidade de efluentes nem sempre esteja relacionada com os teores das substâncias presentes, é possível supor que, no efluente da refinaria de petróleo, o efeito observado seja devido aos elevados teores de sulfeto e fenóis (13,0 e 28,7 mg/L, respectivamente) (CETESB, 1987a), levando-se em consideração que 0,01 mg/L a 0,04 mg/L de sulfeto e 5 mg/L a 29,0 mg/L de fenol causam efeito letal agudo aos organismos aquáticos (BRUNGS *et al.* 1977; CETESB, 1986).

Moraes *et al.* (2004) detectaram elevadas concentrações de surfactantes durante o

tratamento biológico na ETE Suzano em São Paulo. A CE(I)50;48h do efluente final no período de estudo, foi entre 0,35% a 25% para o organismo *Daphnia similis*. Segundo Rand (1995), sabe-se que os detergentes estão presentes nas ETEs em concentrações importantes que variam de 3ppm a mais de 10ppm.

Carniato *et al.* (2007) realizaram ensaios utilizando o organismo *Daphnia similis* no chorume de aterros de resíduos sólidos “in natura”, pós tratamento biológico por sistema de filtração lenta e pós tratamento fotocatalítico heterogêneo utilizando TiO₂ /UV. As médias encontradas foram de CE(I)50; 48h igual a 6%, 7% e 6% respectivamente.

Silva (2002), também realizou ensaios com chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro, analisando a ecotoxicidade do efluente bruto e após diversos tipos de tratamento que foram: efluente pré-tratado, efluente ozonizado, efluente fracionado, permeados submetidos ao arraste com ar para remoção de amônia e efluente pré-tratado submetido ao arraste para remoção de amônia. Os resultados para os ensaios agudos com o efluente bruto com *Daphnia similis* foram: CE(I)50;48h de 2,04% e 2,26%. Para confirmar se o efeito tóxico causado com o organismo *Daphnia similis* foi provocado pela salinidade, foram realizados novos testes com correção da salinidade e os resultados foram idênticos aos obtidos sem a correção. Portanto, Silva (2002) comprovou que a ecotoxicidade do chorume bruto para *Daphnia similis* não foi causada somente pela salinidade. Para os chorumes pré-tratados com coagulação/floculação, os resultados para as duas coletas foram 6,42% e 2,78%, demonstrando certa diminuição da ecotoxicidade em relação ao efluente bruto. O tratamento com ozônio também apresentou uma redução de ecotoxicidade à medida que foi aumentada a sua concentração (0,1, 0,5, 1,5 e 3,0 g/L de O₃), sendo as CE(I)50; 48h encontradas respectivamente: 2,45%, 2,58%, 3,60%, 4,46%.

A autora Silva (2002) ainda ressalta que, de todos os ensaios, evidencia-se que não se pode atribuir à amônia, isoladamente, a causa da ecotoxicidade do efluente. A ecotoxicidade do chorume tem sido pouco correlacionada com a concentração de amônia e a DQO, no entanto, a remoção conjunta destes dois parâmetros parece reduzir a ecotoxicidade do chorume.

Esta hipótese orientou o trabalho desenvolvido por Martinem *et al.* (2002), que em seu experimento para remoção da amônia por arraste com ar, verificou que o chorume apresentou uma ecotoxicidade mais elevada para daphnia, mesmo quando cerca de 89% de amônia havia sido removida. A justificativa para o efeito tóxico observado nesse experimento foi atribuída ao ajuste de pH, que foi aumentado para 11. Esta variação pode ter causado alguma mudança reversível no conteúdo orgânico do chorume e com isso tornado alguns constituintes no chorume mais tóxicos para daphnia.

Lied (2010) avaliou a ecotoxicidade aguda do efluente líquido de um abatedouro frigorífico utilizando o microcrustáceo *Daphnia magna* como bioindicador dos efeitos tóxicos. Os ensaios de ecotoxicidade tiveram como alvo as etapas de tratamento de águas residuárias. Foi constatado que todas as fases do tratamento apresentaram ecotoxicidade aguda, sendo que a lagoa aerada e o flotor físico-químico obtiveram os maiores valores, CE(I)50;48h de 13,57% e 3,12%, respectivamente. A eficiência total do sistema em CE(I)50;48h foi de 71,57%.

1.2.1.4. Normas e Padronização

Segundo Cooney (2005), a fim de se evitar variabilidade dos resultados, melhorar a precisão dos mesmos e a reprodutibilidade dos ensaios, é necessário utilizar procedimentos de ensaios padronizados. Dessa forma, foram desenvolvidos e padronizados diversos ensaios de ecotoxicidade com o gênero *Daphnia* em todo o mundo, alguns deles citados na **Tabela 1.3**. No Brasil, alguns métodos se encontram normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Tabela 1.3 Métodos de ensaio de ecotoxicidade normalizados por entidades de padronização para o gênero *Daphnia*

ENTIDADES/MANUAIS/REFERÊNCIAS	MÉTODOS
Standard Methods, (APHA, 2005) USEPA (2002a)	Toxicity Test Procedures for <i>Daphnia</i> Acute Effluent Toxicity Testes with <i>Daphnia pulex</i> and <i>D. magna</i>
OECD Test Guidlines (apud. Cooney, 1995) Environmental Canada (Environmental Canada, 1990a-b; 1992a-c)	<i>Daphnia sp.</i> Acute Immobilization Test and Reproduction Test Acute Lethality Test Using <i>Daphnia</i> spp. (1990b)
FDA - Environmental Aquatic Assessment (apud, Cooney, 1995) ABNT – NBR 12713 (2009)	<i>Daphnia</i> Acute Toxicity <i>Daphnia</i> Chronic Toxicity Toxicidade aguda – Método de Ensaio com <i>Daphnia</i> spp. (Crustaceae, Cladocera).

Adaptado de: (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

1.2.2. *Danio rerio*

1.2.2.1. Descrição

Adultos de *Danio rerio* (**Figura 1.7**) atingem comprimento médio de 4,5 cm, Laale, (1977). Os sexos podem ser reconhecidos facilmente: os machos são alongados, delgados e levemente dourados, especialmente no abdome e nas nadadeiras peitoral e caudal, e apresentam a lista abdominal completa. As fêmeas são robustas, ligeiramente maiores que os machos e prateadas, normalmente apresentam o abdome muito inchado devido ao desenvolvimento de ovos e a lista abdominal é incompleta, sendo apenas evidente nos terços anterior e posterior do peixe (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).



Figura 1.6 *Danio rerio*

Fonte: http://www.animalsholding.cz/zvirata/danio_rerio.jpg

1.2.2.2. Ciclo de Vida

Danio rerio é uma espécie ovípara. A primeira desova pode ocorrer quando as fêmeas atingem comprimento-padrão de 25 mm e os machos, 23 mm, comprimento atingido por volta dos 75 dias de idade, quando mantidos a 25-26°C (LAALE, 1977).

Para que ocorra a desova, machos e fêmeas devem, de preferência, estar separados por um período de 7 a 14 dias antes do acasalamento. Os ovos são depositados num curto período de tempo durante o acasalamento que ocorre no início da manhã. O ciclo ovariano de *Danio rerio* se completa em cinco dias, quando mantidos a uma temperatura de 26°C, sendo este o período mínimo de repouso que deve ser mantido entre as desovas, para que os ovos sejam de boa qualidade. (HISAOKA; FIRLIT, 1962)

A eclosão dos ovos se dá em 2-4 dias, dependendo da temperatura em que são

mantidos. Para que as larvas cresçam e se desenvolvam, é preciso fornecer alimento adequado. Isso significa que o alimento a ser fornecido deve conter grande valor nutritivo e apresentar tamanho compatível com a abertura bucal dessas larvas. Nessa categoria de tamanho, encontram-se algas unicelulares, protozoários, bactérias e outros micro-organismos (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

Com cerca de 15-20 dias os alevinos já estarão aptos a receber alimentos secos e/ou organismos vivos maiores, como náuplios de *Artemia* recém-eclodidos. Em aproximadamente 30-40 dias, já estarão com tamanho adequado para serem separados em aquários, obedecendo-se à proporção de peso: volume. Com cerca de dois a três meses de idade, machos e fêmeas podem ser identificados e separados, a fim de se formar um novo grupo de reprodutores. Esse peixe, originário da Índia, tem sido utilizado mundialmente em estudos de ecotoxicidade. (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

1.2.2.3. Utilização nos ensaios ecotoxicológicos

A CETESB em fez ensaios ecotoxicológicos com *Danio rerio* utilizando com substância química o dicromato de potássio, e como resultado da CL(I)50;96h encontrou 90 mg/L, e para *Daphnia similis*, o valor da CE(I)50; 24h foi de 0,16 mg/L. Os ensaios mostraram que *Danio rerio* é 1000 vezes mais resistente ao cromo que o microcrustáceo *Daphnia similis*. Esse estudo também mostrou que o *Danio rerio* está entre as espécies forrageiras que são mais sensíveis ao dicromato de potássio (CETESB, 1980).

Segundo Piveli (2006), os níveis de ecotoxicidade aguda do tolueno para peixes e invertebrados aquáticos (CL(D)50; 48h) variam de 3,7 a 1180 mg/L, sendo que a maioria dos organismos apresentam CL(I)50; 48h na faixa de 15 a 30 mg/L.

Silva (2002) analisou duas amostras do chorume bruto do aterro de Gramacho no Rio de Janeiro utilizando o organismo *Danio rerio* e encontrou valores de CL(I)50;48h igual a 2,24%, para ambas as amostras. Já o ensaio realizado com chorume pré-tratado (coagulação/floculação) com o arraste de ar para remoção de amônia apresentou-se menos tóxico com CL(D)50 igual a 7,07% sendo que a amostra do chorume ozonizado com 3,0 g/L de O₃ apresentou ecotoxicidade igual a 15,87%. Segundo esta autora, embora seja um organismo dulcícola, este peixe pode ser considerado também como um organismo estuarino. Além disso, Silva (2002) também ressalta que dentre os inúmeros compostos presentes no chorume que podem causar ecotoxicidade, a amônia merece destaque porque se apresenta em altas

concentrações.

Muniz *et al.* (2010), avaliaram a ecotoxicidade aguda dos metais Co, Cr, Fe e Ni para os peixes *Danio rerio* e encontraram CE(I)50;96h igual a 35,70 mg/L; 35,93 mg/L; 5,5 mg/L e 15,02 mg/L respectivamente.

Santos *et al.* (2010), avaliaram a ecotoxicidade aguda em 96h do inseticida metomil (0,0-1,0-2,0-3,0-4,0-5,0-6,0-7,0 mg/L). Os resultados demonstram uma CL(I)50-96h de 3,40 mg/L de metomil, obtida através da média de quatro ensaios definitivos realizados. Durante a realização dos ensaios agudos para determinação da CL(I)50;96h, assim como nos ensaios subletais, foram observadas alterações comportamentais nas primeiras horas de exposição dos peixes ao metomil em todas as concentrações.

1.2.2.4. Normas e Padronização

Na **Tabela 1.4** encontram-se os métodos de ecotoxicidade normalizados por entidades de padronização para ensaios com *Danio rerio*.

Tabela 1.4 Métodos de ensaio de ecotoxicidade normalizados por entidades de padronização para o método com *Danio rerio*

ENTIDADES/MÉTODOS/REFERÊNCIA	MÉTODOS
Standard Methods, (APHA, 2005)	Toxicity Test Procedures for Fish
OECD Test Guidelines (apud. Cooney, 1995)	Fish, Acute Toxicity Test
FDA-Environmental Aquatic Assessment (apud, Cooney, 1995).	Freshwater Fish Acute Toxicity
ABNT – NBR 15088 (2004b)	Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes.

Fonte: (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006)

1.3. Sistemas de tratamento de efluentes líquidos

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 grades, peneiras, 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, 1999).

A seguir são descritos os níveis de tratamento (preliminar, primário, secundário e terciário) e suas aplicações (GIORDANO, 1999).

- **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 detergentes, corantes, amidas, etc), matéria inorgânica, gorduras e metais pesados (dissolvidos).

- **Secundário** – destina-se à remoção de matéria orgânica biodegradável dissolvida ou coloidal. Nesta etapa podem ser também removidos 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.

1.4. Legislações federais e estaduais para avaliação de ecotoxicidade

1.4.1. Legislação Federal

A utilização de ensaios ecotoxicológicos está prevista na Resolução N° 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) que dispõe dentre outras coisas, sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

De acordo com o Art. 34, § 2º desta resolução: “Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando microrganismos aquáticos, e realizados no efluente.” Ainda de acordo com o artigo 34, “o efluente não poderá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.” Portanto, o órgão ambiental de cada estado fica responsável por estabelecer os critérios de ecotoxicidade a serem realizados no efluente.

1.4.2. Legislações estaduais

1.4.2.1. Legislação do Rio de Janeiro

O INEA (Instituto Estadual do Ambiente), antiga FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente) no Estado do Rio de Janeiro, estabeleceu critérios e padrões de toxicidade para efluentes industriais através da Norma Técnica 213 R-4 (PRONOL, 1990).

Segundo essa norma, “não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais no corpo receptor, com um número de Unidades de Toxicidade Superior a 8 ($UT < 8$), obtido em testes de toxicidade aguda realizados com peixes *Danio rerio*, conforme a capacidade de diluição do rio nas condições especificadas” (PRONOL, 1990). UT igual a 8 (oito) significa dizer que o efluente não pode causar efeito tóxico a um nível de diluição inferior a 12,5%.

Ainda, a NT 213 R-4 do INEA dispõe (PRONOL, 1990): “não é permitido o lançamento contínuo, em rios, de efluentes líquidos industriais com um número de unidades de toxicidade aguda do efluente superior a 8”. Como também, em seus critérios específicos: “7.2 – 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 caso específico”. “7.4 – 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”.

Além disso, no Rio de Janeiro, os efluentes líquidos industriais devem obedecer à DZ 205 R.06 (INEA, 2007) que é uma diretriz que objetiva estabelecer, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP, exigências de controle de poluição das águas que resultem na redução de:

- Matéria orgânica biodegradável de origem industrial;
- Matéria orgânica não biodegradável de origem industrial; e
- Compostos orgânicos de origem industrial que interferem nos mecanismos ecológicos dos corpos d’água e na operação de sistemas biológicos de tratamento implantados pelas indústrias e pelas operadoras de serviços de esgoto.

Para efluentes industriais com carga orgânica superior a 100 kg DBO₅/dia, é exigida remoção de, no mínimo, 90% da DBO₅ segundo a **Tabela 1.5**.

Tabela 1.5 Remoções mínima para carga orgânica biodegradável de efluentes industriais

VAZÃO ≤ 3,5 m ³ /dia	
CARGA (kg DBO ₅ /dia)	REDUÇÃO
carga ≤ 2,0	sólidos grosseiros, sedimentáveis e materiais flutuantes
VAZÃO > 3,5 m ³ /dia	
CARGA (kg DBO ₅ /dia)	REMOÇÃO DE DBO ₅ (%)
2 < carga ≤ 10	40
10 < carga ≤ 100	70
carga > 100	90

Fonte: DZ 205 R06

Com relação à carga orgânica não biodegradável (DQO), a diretriz determina que os efluentes de indústrias com vazão até 3,5 m³/dia somente poderão ser lançados nos corpos d’água, direta ou indiretamente, se sua carga de DQO for inferior a 3,5 kg/dia. Além disso, os efluentes de indústrias com vazão superior a 3,5 m³/dia somente poderão ser lançados nos corpos d’água, direta ou indiretamente, se atenderem aos limites de DQO estabelecidos na

Tabela 1.6 Concentrações máximas de DQO em efluentes de indústrias com vazão superior que 3,5 m³/dia

INDÚSTRIAS	DQO
Indústrias químicas, petroquímicas e refinarias de petróleo	< 250 mg/L
Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários, exclusive unidades de fabricação de antibióticos por processo fermentativo	< 150 mg/L
Fabricação de antibióticos por processo fermentativo	< 300 mg/L
Fabricação de bebidas – cervejas, refrigerantes, vinhos, aguardentes, exclusive destilarias de álcool	< 150 mg/L
Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas, impermeabilizantes, secantes e resinas/massas plásticas	< 300 mg/L
Curtume e processamento de couros e peles	< 400 mg/L
Operações unitárias de tratamento de superfícies efetuadas em indústrias dos gêneros metalúrgico, siderúrgico, mecânico, material de transporte, material elétrico, eletrônico e de comunicações, editorial e gráfico, material plástico, borracha, aparelhos, instrumentos e materiais fonográficos, fotográficos e óticos	< 200 mg/L
Indústrias alimentícias, exclusive pescado	< 400 mg/L
Indústria de pescado	< 500 mg/L
Fabricação de cigarros, charutos e preparação de fumo	< 450 mg/L
Indústria têxtil	< 200 mg/L
Indústrias siderúrgicas e metalúrgicas	
▪ Coqueria, carboquímica e alto forno	< 200 mg/L
▪ Aciaria e laminação	< 150 mg/L
▪ Demais unidades, exceto setor de tratamento de superfícies	< 100 mg/L
Papel e celulose	< 200 mg/L
Estações terceirizadas de tratamento de efluentes líquidos	< 250 mg/L
Chorume de aterro industrial	< 200 mg/L

Fonte: DZ 205 R06.

Além da DZ 205 R06, os efluentes do Rio de Janeiro também têm que atender a DZ 202 R10 (INEA, 1986) que dispõe sobre critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos. Esta diretriz estabelece limites máximos permissíveis que os efluentes podem ter de algumas substâncias tais como metais e substâncias orgânicas tóxicas (INEA, 1986).

1.4.2.2. Legislação de Santa Catarina

A Portaria 017/02 dispõe sobre a ecotoxicidade como parâmetro de caracterização dos efluentes de diferentes origens impondo limites de lançamento para o estado de Santa Catarina (FATMA, 2002). O Art. 1º diz que “As substâncias presentes nos efluentes não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos, alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos no corpo receptor”, que salienta a importância da análise da ecotoxicidade. Já o Art. 2º descreve que “A toxicidade do efluente, bem como do corpo receptor, será determinada em laboratório por testes ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados são expressos em FD (Fator de Diluição)”, determinando o procedimento de análise.

Cabe lembrar que a definição de FDd(%), estabelecida em um parágrafo único por esta Portaria, conforme a ABNT (2009), correspondem à primeira de uma série de diluições que não cause efeito tóxico agudo aos organismos teste (CENO). E FD (Fator de Diluição) corresponde ao UT (Unidade de Toxicidade), que é igual a 100 dividido pelo FDd(%).

Segundo a FATMA (2002), Portaria nº 017/02, a percentagem do efluente no corpo receptor (PER), a qual corresponde a concentração do efluente no corpo receptor (CER), deverá ser menor ou igual ao FDd(%) dividido por 2, para que não cause efeito agudo, evitando assim impacto ao meio aquático. O Art. 5º, também desta Portaria, estabelece os limites máximos de ecotoxicidade para efluentes, utilizando *Daphnia magna* como organismos bioindicadores de toxicidade, conforme mostra a **Tabela 1.7**.

Tabela 1.7 Limites máximos de ecotoxicidade para efluentes de diferentes origens estabelecidos pela portaria 01/02 FATMA

Categoria do Efluente	Subcategoria	Limite de Ecotoxicidade Aguda para <i>Daphnia magna</i>	
		FDd	FDd (%)
Metal Mecânica	Siderurgia	4	25
	Metalurgia	4	25
	Galvanoplastia	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
Continuação da Tabela 1.7			
Papel e Celulose		2	50
Couros, peles e produtos similares		4	25
Têxtil	Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confecção de tinturaria	2	50
Química	Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados	2	50
Farmacêutica		2	50

FONTE: Adaptado de PORTARIA 017/02 DA FATMA

NOTA: FDd: fator de diluição para *Daphnia magna*

FDd (%): porcentagem de amostra na solução teste

1.4.2.3. Legislação de São Paulo

A Resolução da Secretaria do Meio Ambiente - SMA-3 (SMA, 2000) de São Paulo, estabelece: “Art. 1º - Além de atenderem ao disposto na Lei 997/76, que institui o Sistema de Prevenção e Controle de Poluição do Meio Ambiente, com regulamentação aprovada pelo Decreto 8468/76 (Art. 18) e, considerando eventuais interações entre as substâncias no efluente este não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos

aquáticos no corpo receptor”. Para esta Resolução, as relações que determinam a ecotoxicidade permissível são:

$$D.E.R \leq (CE50 \text{ ou } CL50)/100 \text{ ou } D.E.R \leq CENO/10 \quad (1)$$

onde:

D.E.R = diluição do efluente no corpo receptor, em %;

CE(I)50 = concentração do efluente que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos aquáticos, em um determinado período de tempo, em %;

CL(I)50 = concentração do efluente que causa efeito agudo (letalidade) a 50% dos organismos aquáticos, em um determinado período de tempo, em %;

CENO = concentração do efluente que não causa efeito, em %.

Ainda, nos parágrafos 1º e 2º desta Resolução (SMA, 2000) dispõe:

§ 1º - “Os organismos utilizados nos testes de ecotoxicidade, assim como os métodos de ensaio, serão definidos pela CETESB, através de normas técnicas específicas”.

§ 2º - “Os limites de ecotoxicidade são estabelecidos para cada efluente, podendo ser reavaliados pela CETESB, desde que a entidade responsável pela emissão apresente estudos sobre toxicidade do efluente a pelo menos três espécies de organismos aquáticos, variabilidade da ecotoxicidade ao longo do tempo e, dispersão do efluente no corpo receptor”

1.4.2.4. Legislação do Rio Grande do Sul

A FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental - considera a Lei Estadual que institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (FATMA, 2002). O Art. 129 diz: “Nenhum descarte de resíduo poderá conferir ao corpo receptor características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida”.

2. METODOLOGIA

Os efluentes em estudo são provenientes do recebimento de amostras que fazem parte da rotina da empresa. De uma maneira em geral, esses efluentes possuem características distintas. Esse fato é pertinente ao objetivo do trabalho que é a comparação da sensibilidade da *Daphnia similis* e do *Danio rerio* aos diversos tipos de efluentes e seus componentes.

Portanto os efluentes são provenientes das seguintes indústrias:

- Indústria de papel;
- Indústria alimentícia;
- Indústria de bebidas;
- Indústria farmacêutica;
- Indústria de metalurgia;
- Indústria petroquímica;
- Chorume proveniente de aterro sanitário.

Os chorumes são provenientes de três regiões do país (Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul).

2.1. Procedimento de coleta

O frasco contendo as amostras para os ensaios tanto ecotoxicológicos quanto para as análises físico-químicas, eram de plástico e descartados logo após a sua utilização nas análises. Quando a amostra era para ensaios ecotoxicológicos, os frascos eram preenchidos totalmente para minimizar a presença de oxigênio. As datas das coletas e as datas dos ensaios encontram-se na **Tabela 2.1**.

Tabela 2.1 Data da coleta das amostras e dos ensaios realizados com *Daphnia similis* e *Danio rerio*

Ensaio	Data da coleta da amostra	Data do ensaio (<i>Daphnia similis</i>)	Data do ensaio (<i>Danio rerio</i>)
1 (indústria de papel A)	16/06/2010	23/06/2010	23/06/2010
2 (indústria de papel B)	11/06/2010	16/06/2010	16/06/2010
3 (indústria de papel B)	12/07/2010	13/07/2010	13/07/2010
4 (indústria de bebidas)	07/07/2010	13/07/2010	13/07/2010
5 (indústria de bebidas)	04/08/2010	11/08/2010	11/08/2010
6 (indústria farmacêutica)	16/06/2010	23/06/2010	23/06/2010
7 (indústria farmacêutica)	20/07/2010	21/07/2010	21/07/2010
8 (indústria alimentícia)	06/07/2010	13/07/2010	13/07/2010
9 (indústria alimentícia)	04/08/2010	11/08/2010	11/08/2010
10 (indústria metalúrgica)	08/07/2010	04/08/2010	04/08/2010
11 (indústria petroquímica A)	18/06/2010	23/06/2010	23/06/2010
12 (indústria petroquímica A)	26/07/2010	28/07/2010	28/07/2010
13 (indústria petroquímica B)	17/06/2010	23/06/2010	23/06/2010
14 (indústria petroquímica B)	13/07/2010	21/07/2010	21/07/2010
15 (indústria petroquímica C)	29/06/2010	07/07/2010	07/07/2010
16 (indústria petroquímica C)	29/06/2010 ⁽¹⁾	07/07/2010	07/07/2010
17 (indústria petroquímica C)	29/06/2010 ⁽¹⁾	07/07/2010	07/07/2010
18 (chorume bruto SP)	01/07/2010	13/07/2010	28/07/2010
19 (chorume clarificado SP)	05/07/2010 ⁽¹⁾	13/07/2010	29/09/2010
20 (chorume tratado SP)	07/07/2010 ⁽¹⁾	13/07/2010	04/08/2010
21 (chorume bruto RJ)	20/09/2010	29/09/2010	29/09/2010
22 (chorume clarificado RJ)	22/09/2010 ⁽¹⁾	29/09/2010	29/09/2010
23 (chorume tratado RJ)	24/09/2010 ⁽¹⁾	29/09/2010	06/10/2010
24 (chorume bruto RG)	03/08/2010	18/08/2010	28/07/2010
25 (chorume clarificado RG)	05/08/2010 ⁽¹⁾	18/08/2010	18/08/2010
26 (chorume tratado RG)	11/08/2010 ⁽¹⁾	18/08/2010	18/08/2010

(1) Coleta feita após tratamento da planta piloto na TECMA.

2.2. Procedimento de amostragem

A amostragem foi feita de maneira composta para todos os efluentes acima citados, menos para as indústrias de papel, que foi feita amostragem simples.

2.3. Procedimento de preservação das amostras

Após a coleta, as amostras foram transportadas no gelo. Ao chegar ao laboratório, as amostras que eram destinadas aos ensaios ecotoxicológicos foram congelados em temperatura a -10°C . Já as amostras que eram destinadas às análises físico-químicas, foram preservadas sob refrigeração a $4^{\circ}\text{C} \pm 2$. Algumas amostras necessitaram de conservantes como mostra a **Tabela 2.2**.

Tabela 2.2 Tipo de preservação das amostras para as análises físico-químicas

Análise	Tipo de preservação
DQO	Sem adição de conservantes
DBO5	adição de H_2SO_4
RNFT	Sem adição de conservantes
RNFV	Sem adição de conservantes
Metais totais	adição de HNO_3
Metais solúveis	Sem adição de conservantes
Mercúrio	adição de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
Nitrogênio Amoniacal	adição de H_2SO_4
Sulfeto	adição de acetato de zinco (CH_3COO) $_2\text{Zn}$ e NaOH
Cianeto	adição de NaOH
Dureza	adição de HNO_3
Óleos e Graxas	adição de H_2SO_4

2.4. Métodos de ensaios físico-químicos

Os ensaios físico-químicos foram realizados de acordo com o Standard Methods (APHA; AWWA; WEF, 2005), como segue detalhado na **Tabela 2.3**

Tabela 2.3 Norma referente aos ensaios físico-químicos

Ensaio físico-químico	Norma
Determinação de propriedades físicas	Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (SMWW) 21 ^o ed. 2005 - Part 2000
Condutividade Elétrica a 25°C Faixa: 1µS/cm – 20 mS/cm	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2510
Sólidos Totais à 103°C – 105°C Faixa: 1 – 20.000 mg/L	SEWW 21 ^a ed.2005 Method 2540 B
Sólidos Totais Dissolvidos a 180 ± 2°C Faixa: 1 – 20.000 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2540 C
Sólidos Totais Suspensos à 103°C – 105°C Faixa: 1 – 20.000 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2540 D
Sólidos Voláteis e Fixos inflamado em 550°C Faixa: 1 a 20.000 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2540 E
Materiais Sedimentáveis pelo método do Cone Imhoff Faixa: 0,5 mL/L a 1000 mL	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2540 F
Cor por espectrofotometria Faixa: 2 a 50 mg/L em Pt - Co	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 2120 C
Metais	SMWW 21 ^o ed. 2005 Part 3000
Preservação, controle da qualidade e preparação das amostras	SMWW 21 ^a ed.2005 Methods 3010/3020/3030
Determinação de metais por Espectrometria de Absorção Atômica por Chama: Cobre Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Ferro Total Faixa: a partir de 0,3 mg/L Manganês Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Zinco Total Faixa: a partir de 0,02 mg/L Cobalto total Faixa: a partir de 0,05 mg/L Chumbo Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Cádmio Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Níquel Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Ferro Solúvel Faixa: a partir de 0,3 mg/L Prata Total Faixa: a partir de 0,05mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 3111 B
Determinação de metais por Espectrometria de Absorção Atômica por Chama: Cromo Total Faixa: a partir de 0,1 mg/L Alumínio Total Faixa: a partir de 0,3 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 3111 D
Mercúrio Total por Espectrometria Absorção Atômica por vapor a frio Faixa: a partir de 0,01 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 3112 B

Continuação da Tabela 2.3

Cromo Hexavalente colorimétrico Faixa: de 0,02 a 1 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 3500-Cr B
Determinação de componentes inorgânicos não-metálicos	SMWW 21 ^o ed. 2005 Part 4000
Fosfato pelo método colorimétrico com ácido ascórbico Faixa: a partir de 0,01 mg/L de P	SMWW 4500 P (E) 21 ^a ed.2005 Method 4500-P E Method 4500-P
PH pelo método eletrométrico Faixa: 1,00 – 14,00	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500 H+ B
Amônia pelo Método do Fenato Faixa: a partir de 0,016 mg/L de N	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500 NH3 F
Cloreto – Método Argentométrico Faixa: a partir de 5 mg/L de Cl	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500-Cl B
Fósforo total pelo método colorimétrico com ácido ascórbico, após digestão ácida (nítrico e sulfúrico) Faixa: a partir de 0,016 mg/L de P	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500-P B e E
Nitrato – Método da coluna de Cádmio Faixa: a partir de 0,01 mg/L de N	SMWW 21 ^o ed.2005 Method 4500 NO3- E
Nitrito pelo método colorimétrico Faixa: a partir de 0,01 mg/L de N	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500 NO2 B
Sulfato pelo método Turbidimétrico Faixa:a partir de 3 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500- SO4 E
Oxigênio dissolvido pelo método Azida Modificada Faixa: a partir 0,1 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500-O
Sílica solúvel pelo método Colorimétrico Faixa: 1 a 25 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 4500- SiO2 B
Determinação dos componentes orgânicos	SMWW 21 ^o ed. 2005 Part 5000
Surfactantes aniônicos –pelo Método Colorimétrico Faixa: 0,011 a 1,104 mg/L	SMWW 21 ^a ed. 2005 Method 5540 C
Demanda Química de Oxigênio por refluxo Aberto Faixa: a partir de 11 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 5220 B
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) – 5 dias Faixa: a partir de 3 mg/L de O ₂	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 5210 B
Óleos e Graxas pelo método Gravimétrico Faixa:a partir de 2,0 mg/L	SMWW 21 ^a ed.2005 Method 5520 B

SMWW – Standard Methods For The Examination of Water and Wastwater.

Fonte: (APHA; AWWA; WEF , 2005)

2.5. Ensaios Ecotoxicológicos

2.5.1. Ensaio com *Daphnia similis*

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados de acordo com a NBR 12713 (ABNT, 2009) sendo os mesmos realizados em tubos de ensaios aferidos para 10 mL com cinco diluições (mais o controle) e quatro replicatas (**Figura 2.1**). Após o preparo das diluições, os tubos de ensaios foram agitados com o vórtex e colocados na incubadora de ensaios (por mais ou menos 2h) para aclimatá-los, a fim de que se garantisse a inexistência de variação de temperatura no momento da adição dos organismos.

As condições que foram realizadas os ensaios encontram-se na **Tabela 2.4**.

Tabela 2.4 Resumo das condições de ensaio agudo com *Daphnia similis*

Número de diluições:	Cinco (5)
Número de organismos por tubo de ensaio	Cinco (5)
Número de replicatas	Quatro (4)
Idade dos organismos para ensaio	6-24h
Temperatura do ensaio	$\pm 20^{\circ}\text{C}$
Fotoperíodo utilizado	16 horas de luz/8 de escuro
Alimentação dos organismos	2h antes do ensaio

Os filhotes utilizados nos ensaios possuíam de 6-24h. Foram colocados cinco organismos em cada tubo de ensaio com o uso de uma pipeta de borda arredondada. Os neonatos foram alimentados sempre 2h antes dos ensaios. O fotoperíodo de 16h de luz e 8h de escuro foi utilizado na incubadora, que foi mantida sob temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2$. Após 48h, fazia-se a leitura da mobilidade (**Figura 2.2**) a qual consiste em contar os organismos imóveis após uma leve agitação no tubo. Esse procedimento de agitação forma um vórtex, mecanismo que faz com que os organismos tanto móveis quando imóveis subam pela coluna do líquido do tubo. Os organismos eram considerados imóveis se após o período de quinze segundos, eles não se movessem ativamente.

Os resultados foram expressos em CE (I) 50; 48h calculado pelo método estatístico Trimmed Spearman-Kärber. (HAMILTON *et al.* 1997)

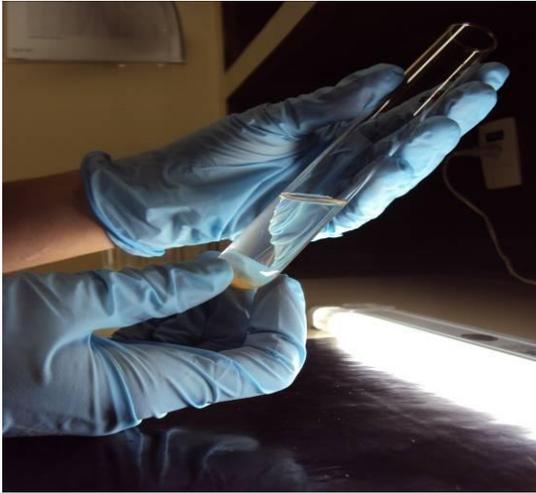


Figura 2.1 Leitura de mobilidade dos organismos a após 48h

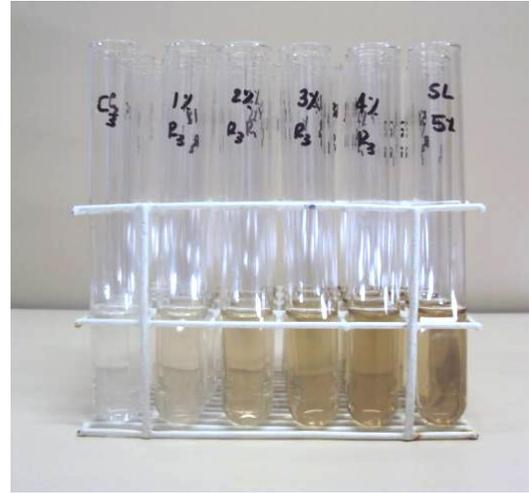


Figura 2.2 Série de cinco diluições (mais o controle) de um ensaio com *Daphnia similis*

O procedimento rotineiro de ensaio era feito de acordo com o esquema da **figura 2.3**, o qual segue descrito.

1. Primeiramente, era verificado a viabilidade da água de diluição, ou seja, se ela estava liberada para seu uso. Além disso, os parâmetros físico-químicos dessa água eram ajustados;
2. Os organismos-testes eram separados bem cedo, em torno das 8h da manhã, para que na hora do ensaio, os mesmos tivessem no mínimo seis (6) horas de vida. Seguia-se a seguinte relação: se os filhotes fossem retirados às 8h, o ensaio poderia começar a partir das 14h. Se os filhotes fossem retirados às 9h, o ensaio só poderia começar depois das 15h e assim por diante. Tomando-se o cuidado de no dia anterior, fazer a limpeza de filhotes bem à tarde, em torno das 16h para que na hora do ensaio, os mesmos não passassem de 24h de idade. Se a limpeza foi feita no dia anterior às 16:00h, no dia seguinte o início do ensaio não poderia passar das 16:00h e assim por diante.
3. Verificava-se se a sensibilidade dos organismos estava dentro dos limites da carta-controle, olhando-se o último ensaio de sensibilidade feito, que não deveria ter mais de um mês de realizado.

4. As soluções-testes eram preparadas em balões volumétricos e transferidas para os tubos de ensaio.
5. Em alguns casos (como os de chorume), era necessário um breve ensaio preliminar com duração de aproximadamente 3h para se estimar a série de diluições necessárias para o ensaio definitivo.
6. Preparava-se o ensaio definitivo. Após o preparo das soluções-teses nos tubos de ensaio, passava-se os tubo no vórtex para homogeneizar e depois os tubos eram colocados na incubadora de ensaio para aclimatar antes do início do ensaio. Os organismos eram então adicionados, com o auxílio de uma pipeta de borda arredondada, nos tubos de ensaio, tomando-se o cuidado de adicioná-los próximos à superfície.
7. Após 48h de exposição, era feito a contagem dos organismos imóveis e era calculado o CE(I)50;48 com o programa estatístico.

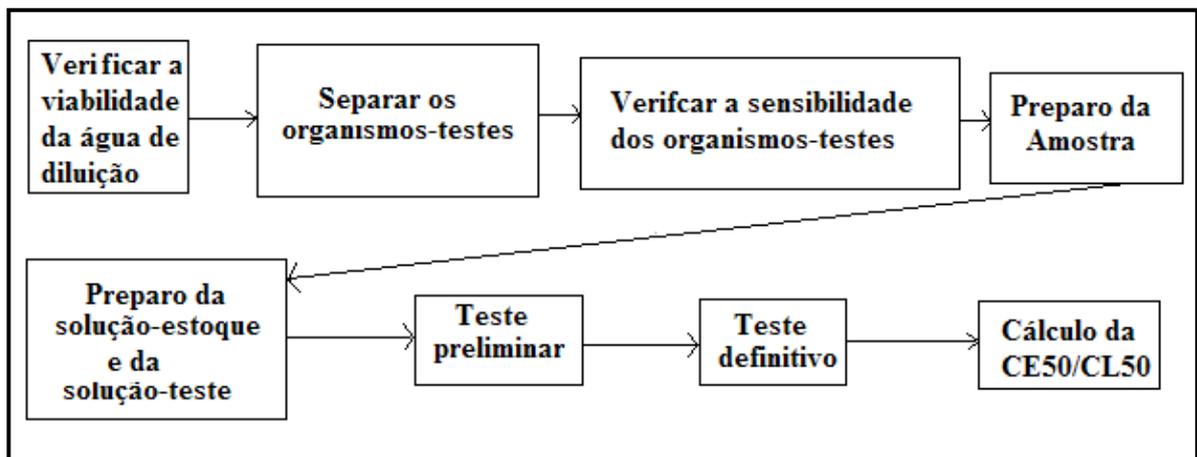


Figura 2.3 Fluxograma do ensaio com *Daphnia similis*

2.5.1.1. Ensaio de sensibilidade de *Daphnia similis*

Foi construída uma carta-controle de *Daphnia similis* utilizando-se a substância de referência KCl (cloreto de potássio) para avaliação da sensibilidade desse organismo. O procedimento para tal ensaio é o mesmo para os ensaios definitivos.

Foram realizados 21 (vinte e um) ensaios durante a construção da carta-controle. Após a montagem desta, um ensaio passa a ser realizado por mês para controle da sensibilidade dos organismos. Além disso, para a carta-controle, foi calculada a média dos valores obtidos, assim

como desvio-padrão e coeficiente de variação. O resultado da carta-controle de *Daphnia similis* encontra-se no **item 3.1**.

A lista com todas as fichas utilizadas no cultivo e ensaio com *Daphnia similis* encontra-se a seguir:

- Ficha de controle de alga;
- Ficha de limpeza diária;
- Ficha de viabilidade da água;
- Ficha de limpeza Semanal;
- Ficha de controle de Meio-Chu;
- Ficha de controle de sólidos totais;
- Ficha de ensaio;
- Ficha de ensaio de sensibilidade.

2.5.2. *Danio rerio*

O *Danio rerio* (peixe) não é cultivado em laboratório. Sua aquisição se dá através da compra com fornecedores qualificados e certificados. Os organismos são comprados sob determinadas especificações, como tamanho médio de 2 cm e comportamento ativo sem muito muco ou incidência de hemorragias e organismos afetados (ABNT, 2006).

Após a compra e chegada no laboratório, os organismos são primeiramente postos em banheira de 90 L durante um a dois dias. Após este período, os organismos são submetidos ao processo de aclimação nos aquários, por aproximadamente sete dias.

Para que este lote tenha continuidade no seu uso, os organismos não podiam apresentar alta taxa de mortes ou doenças. Sendo o lote aprovado, o mesmo era submetido ao ensaio de sensibilidade com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), substância de referência adotada pelo laboratório.

O ensaio definitivo com amostras de efluentes (**Figura 2.4**) consiste na exposição de 10 (dez) organismos em 6 (seis) concentrações numa razão crescente e um volume total de 2 litros. A relação entre a massa de organismos e volume de amostra não deve exceder 1g/L.

Sendo monitorados a cada 24h os valores de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e letalidade.

O efeito avaliado é a letalidade e o mesmo é expresso em CL(I)50;48, ou seja, concentração inicial que causa letalidade a 50% dos organismos em 48h. O método estatístico utilizado para o cálculo foi o Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON, 1977)



Figura 2.4 Ensaio de ecotoxicidade aguda com *Danio rerio*

A **Figura 2.5** mostra resumidamente as etapas utilizadas para o ensaio agudo com o *Danio rerio*.

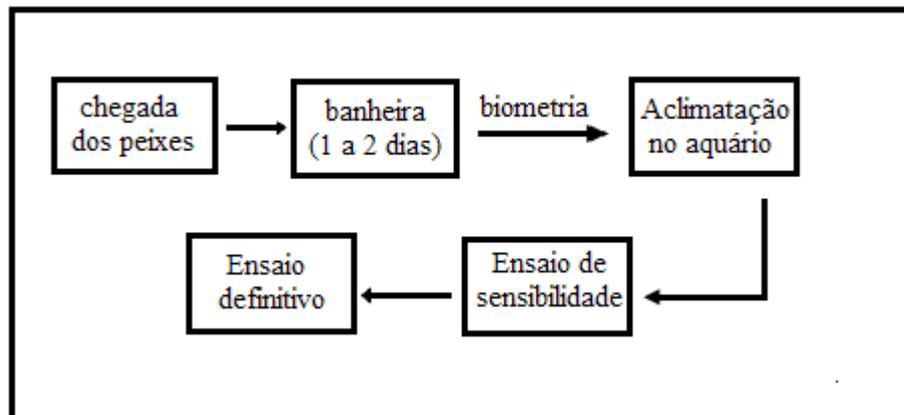


Figura 2.5 Fluxograma do ensaio com *Danio rerio*

A **Tabela 2.5** mostra de forma resumida os requisitos a serem seguidos para o ensaio de ecotoxicidade aguda com *Danio rerio*.

Tabela 2.5 Resumo das condições de ensaio agudo com *Danio rerio*

Número de diluições:	6 (seis) + controle
Número de organismos por béquer (2L)	Dez (10)
Número de replicatas	Nenhuma
Comprimento dos organismos	2,0 cm ± 1 cm.
Temperatura do ensaio	23°C a 27°C
Fotoperíodo utilizado	16 horas de luz/8 de escuro
Alimentação dos organismos	Sem alimentação.

2.5.2.1. Ensaio de sensibilidade de *Danio rerio*

A cada lote de peixes que chegava ao laboratório para o ensaio, era feito um ensaio de sensibilidade. o qual consiste na exposição de 10 organismos em 6 (seis) concentrações numa razão crescente e um volume total de 1 litro, durante 48h. Sendo monitorados a cada 24h os valores de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e letalidade dos organismos. O resultado era expresso em CL(I)50;48h. A substância de referência utilizada é o $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potássio). O resultado era registrado na carta-controle (**Figura 3.2**). As informações referentes à carta-controle encontram-se no **item 3.2**.

As fichas utilizadas no laboratório para o controle dos ensaios com *Danio rerio* são:

- Ficha de controle de aclimação dos peixes;
- Ficha de biometria;
- Ficha de água reconstituída;
- Ficha de ensaio de sensibilidade;
- Ficha de ensaio.

2.6. Procedimento Experimental

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados utilizando os dois organismos-teste em estudo (*Daphnia similis* e *Danio rerio*). Neste item é mostrado o que cada indústria realiza no tratamento de seus efluentes, de onde foram retirados as amostras para os ensaios ecotoxicológicos (com exceção da indústria petroquímica C e dos chorumes que as amostras foram retiradas do tratamento realizado pela planta piloto na TECMA).

2.6.1. Efluente de indústria de papel

Foram estudadas amostras de duas indústrias de papel (A e B). Os efluentes dessas indústrias são gerados na produção da massa de papel e sua reciclagem (águas de lavagens de máquinas de fôrma). Neste sentido, o tratamento é primário (clarificação físico-química por flotação, para remoção de fibras), sendo os efluentes e a massa de papel, reusados no processo). Parte do efluente referente a purga é tratada pelo processo de lodos ativados.

Foram realizados três ensaios com os efluentes tratados de duas indústrias de papel (A) e (B) como mostra a **Figura 2.6**.

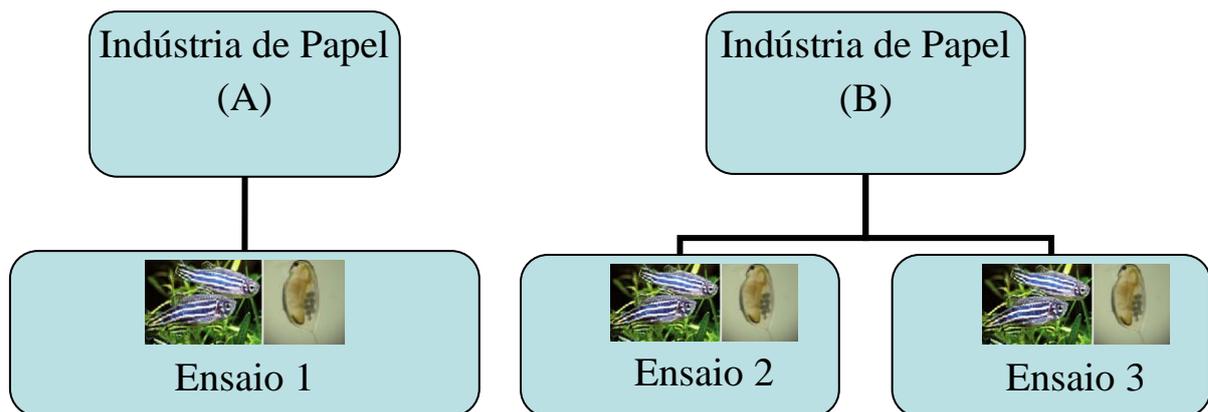


Figura 2.6 Ensaios com os efluentes tratados de uma indústria de papel

2.6.2. Efluente de indústria de bebidas

Os efluentes dessa indústria são gerados nas lavagens das salas de xaroparia, linhas de enchimento de latas e garrafas, pisos, descartes de produtos retornadas do mercado e esgotos sanitários. Além disso, esses efluentes são ricos em açúcares, alguns corantes e outros componentes das bebidas apresentando também partículas de carvão oriundas da xaroparia e óleos minerais oriundos de vazamentos das máquinas de processo e das oficinas de manutenção. O processo mais usual de tratamento desse efluente é constituído de três etapas:

- Preliminar (remoção de areia, separação de água e óleo e peneiramento);
- Primário (correção de pH);
- Secundário (reator anaeróbio seguido de lodos ativados).

Foram realizados dois ensaios com os efluentes tratados de uma indústria de bebida como mostra a **Figura 2.8**.

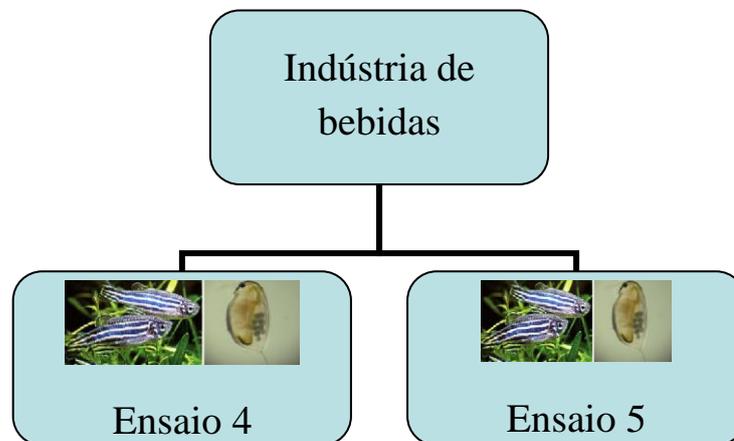


Figura 2.7 Ensaios com os efluentes tratados de uma indústria de bebidas

2.6.3. Efluente de indústria farmacêutica

Os efluentes são gerados em indústria de síntese, os quais apresentam altas concentrações de matéria orgânica, sais e ecotoxicidade. A indústria de misturas produz efluentes muito semelhantes aos seus produtos diluídos, pois preponderantemente são originados nas lavagens de pisos das áreas de produção, equipamentos e tanques de processo. Os processos de tratamento objetivam normalmente a correção de pH, a remoção da matéria orgânica, e eventualmente a redução de cor. Alguns efluentes contendo antibióticos também necessitam serem inativados antes do processo biológico de tratamento, pois afetam a eficiência do mesmo. Os processos de tratamento são compostos das seguintes etapas:

- Primário (correção de pH);
- Secundário (lodos ativados).

Foram realizados dois ensaios com efluentes tratados da indústria farmacêutica como mostra a **Figura 2.9**.

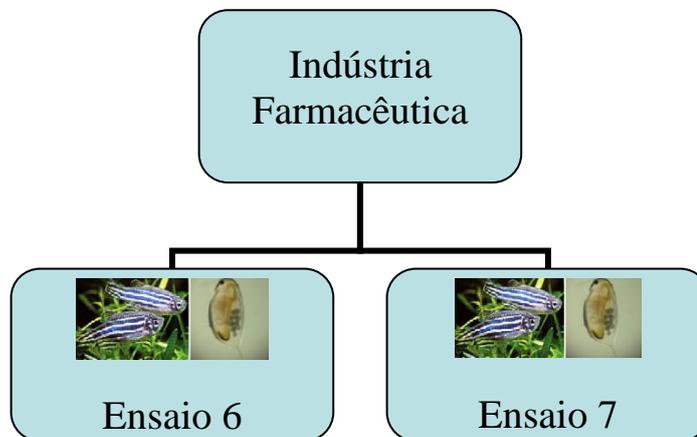


Figura 2.8 Ensaios com efluentes tratados da indústria farmacêutica

2.6.4. Efluente de indústria alimentícia

Essa indústria alimentícia é produtora de biscoitos e margarina, portanto, não apresenta ecotoxicidade decorrente do processo, sendo o tratamento principalmente voltado para a remoção da alta concentração de matéria orgânica. As etapas de tratamento são realizadas segundo a descrição abaixo:

- Preliminar: Separador de água e óleo (SAO);
- Primário: Clarificação físico-química (coagulação química + flotação);
- Secundário: Tratamento biológico por lodo ativado.

Foram realizados dois ensaios com efluentes tratados da indústria alimentícia como mostra a **Figura 2.7**.

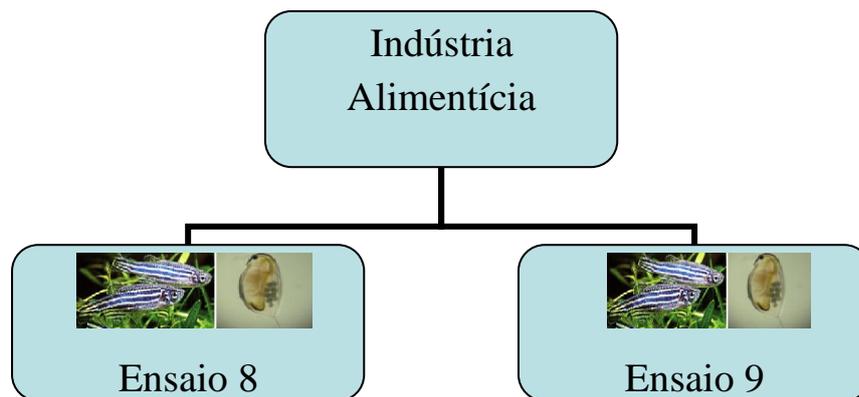


Figura 2.9 Ensaios com efluentes tratados da indústria alimentícia

2.6.5. Efluente proveniente de processos metalúrgicos

O efluente deste tipo de indústria possui diversos metais provenientes do processo de decapagem. O tratamento visa a remoção desses metais através do reajuste de pH de acordo com a curva de precipitação dos mesmos. O efluente em estudo possui metais variados, demonstrando a diversidade de decapagem que a indústria realiza.

Foi realizado um ensaio com o efluente da indústria de metalurgia. A amostra foi coletada após a decapagem de metais, como mostra a **Figura 2.10**.

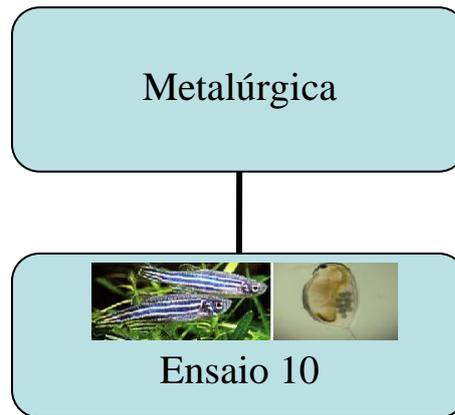


Figura 2.10 Ensaio com o efluente da indústria de metalurgia

2.6.6. Efluente de indústria petroquímica

Os efluentes petroquímicos são compostos de resíduos de petróleo de diversas origens, como seus derivados e produtos químicos utilizados no processamento de refino ou beneficiamento. Existe também a presença de poluentes originados do próprio petróleo (fenóis, metais pesados, hidrocarbonetos, etc.), ou originados no transporte (sais de água de lastro).

Foram estudados efluentes de três indústrias petroquímicas, as quais foram chamadas de A, B e C. A indústria A fabrica aditivos para lubrificantes. Já as indústrias B e C fabricam os lubrificantes. Os processos de tratamento objetivam reduzir a carga orgânica, sua ecotoxicidade inerente, a carga oleosa incluindo óleos emulsionados e a presença de compostos nitrogenados.

O tratamento das indústrias A e B consistem somente de separador de água e óleo (SAO).

Já a indústria C, realiza as seguintes etapas de tratamento:

- Preliminar (remoção de areia e separação de água e óleo);
- Primário (clarificação com coagulação, floculação e sedimentação);
- Secundário (lagoas aeradas ou lodos ativados).

Foram realizados dois ensaios com as duas amostras dos efluentes tratados da indústria petroquímica A. Da mesma forma foram realizados dois ensaios com as duas amostras dos efluentes tratados da indústria petroquímica B. Já com a indústria petroquímica C, foram realizados 3 (três) ensaios distribuídos nas seguintes etapas de tratamento: efluente bruto

(ensaio 15); efluente clarificado (ensaio 16) e efluente tratado (ensaio 17). As amostras dos efluentes clarificado e tratado foram coletados da planta piloto da TECMA, a qual realizou o tratamento.

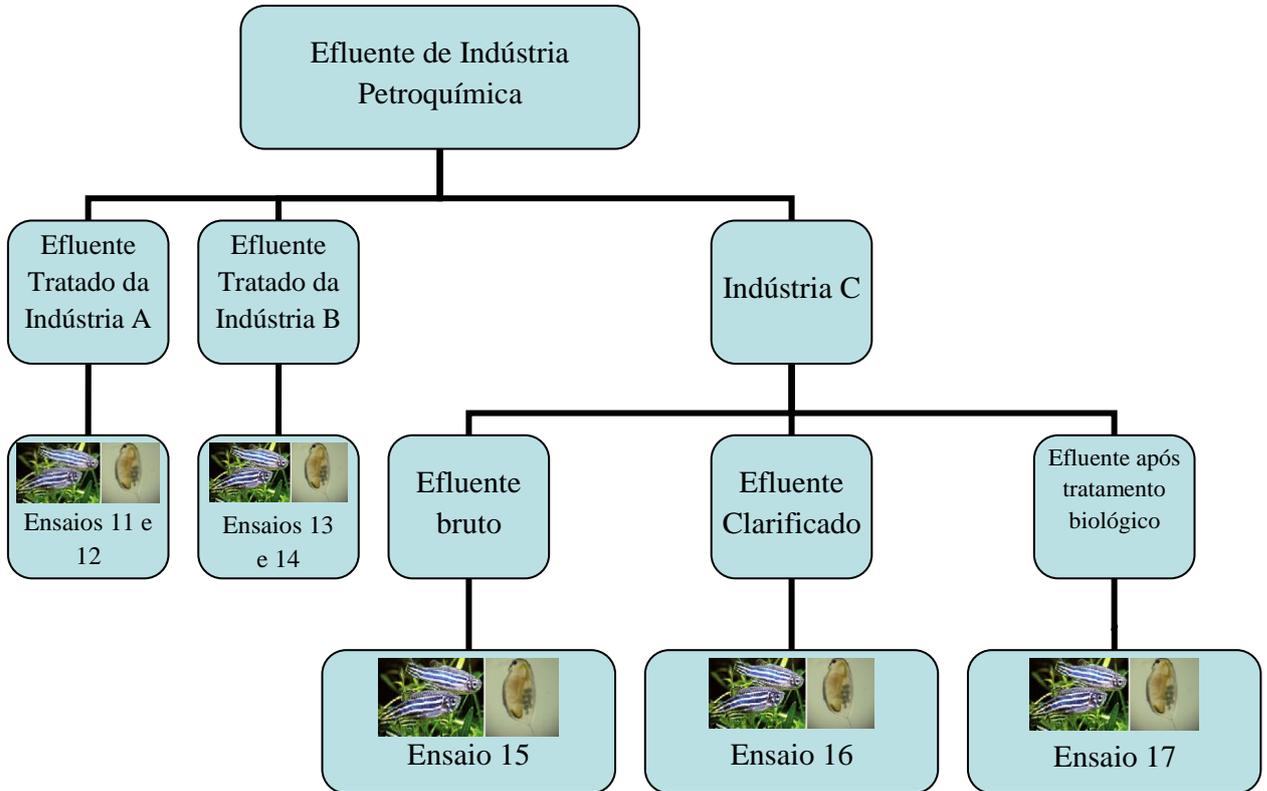


Figura 2.11 Ensaio com as indústrias petroquímicas

2.6.7. Efluente proveniente de aterro sanitário

Foram estudados chorumes de três aterros sanitários diferentes: São Paulo (**Figura 3.4**), Rio de Janeiro (**Figura 3.7**) e Rio Grande do Sul (**Figura 3.8**). O aterro de Rio Grande do Sul encontra-se fechado, e a vazão do chorume é de 80 m³ de chorume por dia, sendo um aterro de pequeno porte. O aterro de São Paulo possui uma vazão média de 1.300 m³ por dia, sendo considerado um aterro de médio porte. Já o chorume do Rio de Janeiro é oriundo do aterro sanitário de Gramacho que é de grande porte, além de ter 26 anos de funcionamento, com uma vazão média de chorume de 2.000 m³ por dia.

O tratamento dos três chorumes consistiu resumidamente em clarificação físico-química com cal, *stripping* para remoção de amônia e correção de pH com CO₂. Após a

clarificação, os efluentes passaram pelo tratamento biológico com lodos ativados. O tratamento mais detalhado é descrito a seguir.

Primeiramente com o chorume bruto era feita a caracterização físico-química de parâmetros como: alcalinidade, condutividade, DBO, DQO, cloretos, e metais como cálcio, boro, fósforo, mercúrio entre outros.

- **Aeração**

O chorume bruto era aerado durante duas horas. Depois era realizado a remoção da espuma.

- **Clarificação**

Para o chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro foi utilizado 18g de cal. Para o chorume do aterro sanitário de São Paulo foi utilizado 20g de cal. Já para o chorume proveniente do aterro sanitário de Rio Grande do Sul, foi utilizado 16g de cal para a clarificação.

- **Stripping**

Nesta etapa, o sobrenadante era aerado por 4h. Em seguida era feita análise de Nitrogênio Amoniacoal, DBO e DQO.

- **Correção**

Era feita a titulação da amostra com HCl para estimar o consumo de CO₂. Em seguida era verificado o volume de lodo e a concentração de cálcio deste lodo.

- **Reator biológico**

Foi verificada a concentração inicial do lodo e acompanhado de seu crescimento. Depois era feito o controle de pH, temperatura, condutividade e anotado as observações de ocorrências fora das normalidades.

Foi realizado um ensaio com o chorume bruto do Rio de Janeiro. Um ensaio com o chorume bruto de Rio Grande do Sul e um ensaio com o chorume bruto de São Paulo como mostra a **Figura 2.12**.

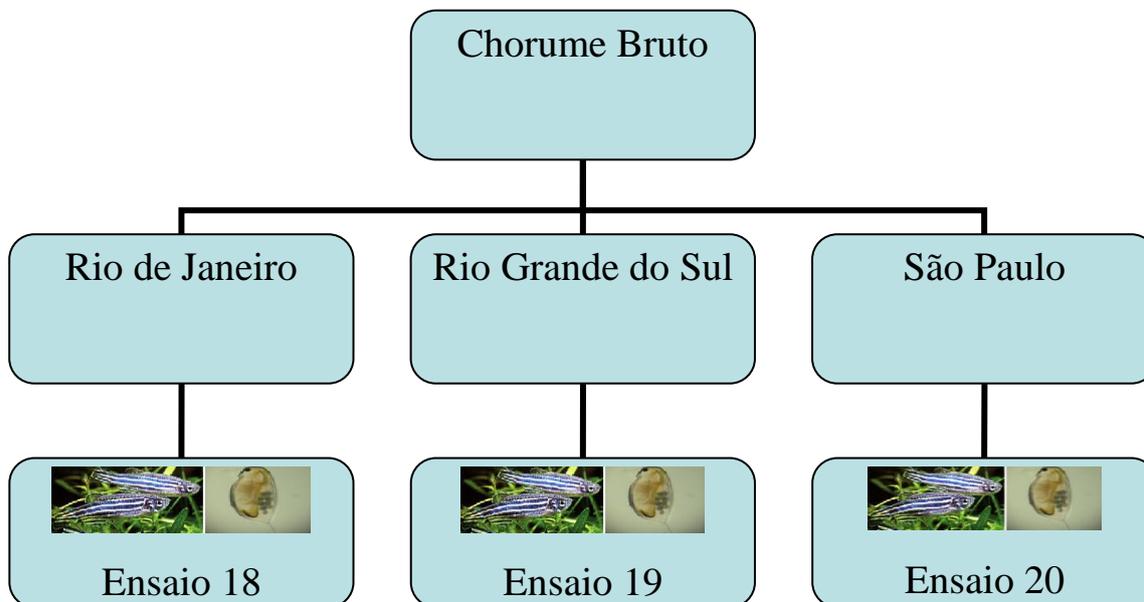


Figura 2.12 Ensaios com os chorumes brutos

Foi realizado um ensaio com cada chorume após o tratamento clarificado e também um ensaio com cada chorume após o tratamento biológico com lodo ativado. Os esquemas com os ensaios se encontram na **Figura 2.13**.

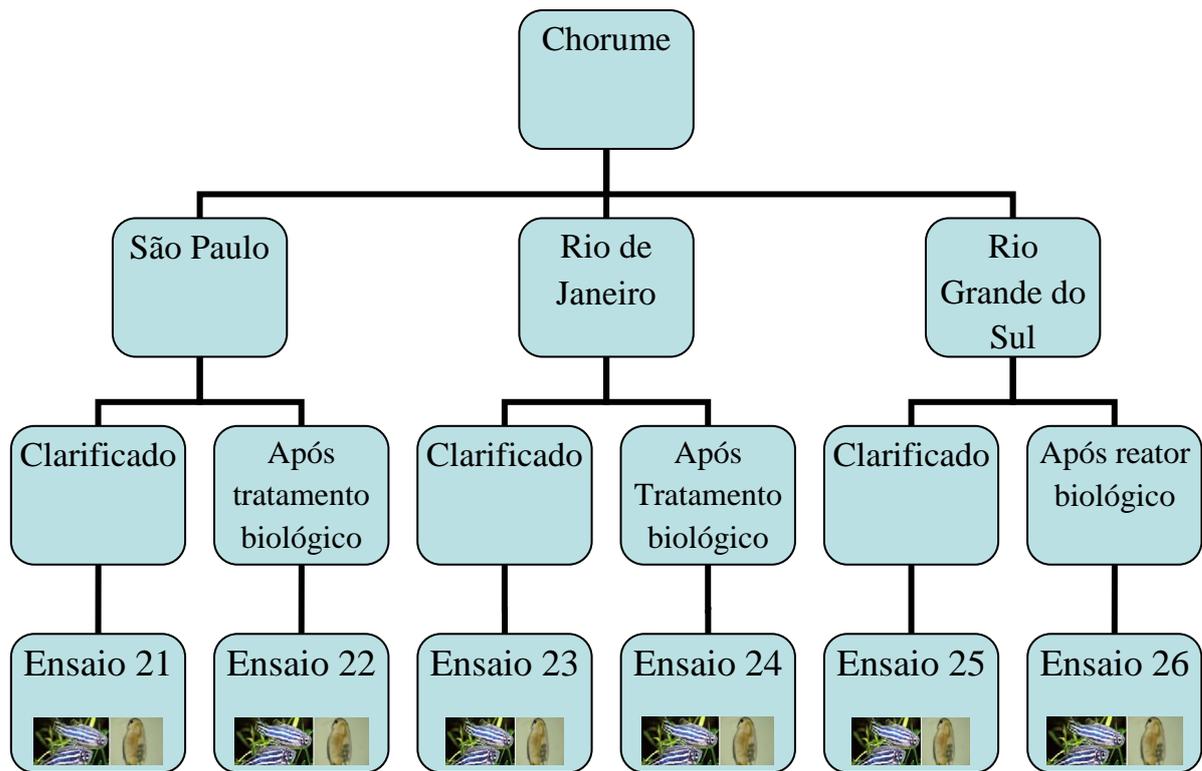


Figura 2.13 Ensaios com os chorume tratados

2.7. Cultivo do organismo-teste *Daphnia similis*

O método de cultivo com *Daphnia similis* foi implantado tendo como base a norma NBR 12713 (ABNT, 2009). A implantação do cultivo do organismo e do cultivo da alga para sua alimentação foram feitos em quatro meses. Após esse período, os ensaios foram iniciados. O estoque inicial de daphnia foi trazido do laboratório do Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) assim como o estoque inicial de algas (*Monoraphidium dibowskii*). Frascos de 2L de água mineral contendo 50 daphnias eram mantidos em incubadoras com temperatura controlada a $20^{\circ}\text{C} \pm 2$, fotoperíodo de 16h de luz e 8 h de escuro e iluminação de aproximadamente 500 lux (Figura 2.14). Dentro da incubadora, ficava um termômetro de máxima e mínima calibrado.

A cultura foi mantida em idades separadas: 0-7; 7-14; 14-21; 21-28 dias. A limpeza parcial era feita todos os dias, onde eram retiradas excretas, carapaças e filhotes. Essas informações eram registradas na ficha de limpeza diária, assim como tipo de alimento e sua quantidade fornecida à cultura. Semanalmente era feita a troca total da água, em que os organismos eram transferidos para frascos com um novo lote de água mineral limpa. O

controle de sobrevivência das adultas era monitorado e registrado na ficha de limpeza semanal.



Figura 2.14 Incubadora de *Daphnia similis*

2.7.1. Água de cultivo

A água utilizada no cultivo era água mineral a qual era adquirida semanalmente. Para comprovação da qualidade da água, toda vez que chegava um lote novo, era feito um ensaio de viabilidade (Figura 2.15).



Figura 2.15 Ensaio de viabilidade da água

Esse ensaio consistia em expor 10 organismos em cada uma das 5 (cinco) replicatas de recipientes de vidro contendo 100 ml da água a ser testada. Além disso, com o controle, fazia-se o mesmo procedimento com a água do lote anterior. Se não houvesse morte de 10% dos organismos no lote novo de água, a mesma estava pronta para ser utilizada no cultivo. Além disso, a água era ajustada para pH igual a 7,0 e dureza entre 40,0 e 48,0 mg de CaCO₃/L. O lote aprovado de água era estocado no barrilete de 20L sob aeração constante, sendo ainda filtrada em rede de fitoplâncton sempre antes de sua utilização, seja no cultivo, seja no ensaio. A composição da água mineral encontra-se descrita na **Tabela 2.6**.

Tabela 2.6 Composição química da água mineral utilizada para o cultivo e ensaio de *Daphnia similis*

Bicarbonato	39,66 mg/L
Cálcio	7,64 mg/L
Sódio	6,863 mg/L
Cloreto	4,25 mg/L
Nitrato	2,04 mg/L
Potássio	1,752 mg/L
Magnésio	1,282 mg/L
Sulfato	1,27 mg/L
Estrôncio	0,097 mg/L
Fluoreto	0,08 mg/L
Bário	0,058 mg/L
Brometo	0,04 mg/L
Características físico-químicas	
pH a 25°C - 6,04	
Temperatura da H ₂ O na fonte - 23,6°C	
Condutividade a 25°C - 85,7 µS/cm	
Resíduo de evaporação a 180°C calculado - 81,73 mg/L	
Radioatividade na fonte a 25°C e 760 mmHg - 9,50 mches	

2.7.2. Alimentação com alga

Para alimentação das daphnias, foi necessário o cultivo da alga *Monoraphidium dibowskii* no laboratório. Para tal, era necessário o cultivo em meio sólido (meio chü + ágar-ágar) (**Figura 2.16**). Para o preparo de meio chü, foram feitas algumas soluções as quais encontram-se listados na norma NBR 12648 (ABNT, 2005). Os reagentes utilizados para o

preparo das soluções encontram-se na **Tabela 2.7**. Para manutenção da alga em meio sólido, foi preparado o mesmo meio chü, porém com a adição de ágar-ágar. Mensalmente, eram feitos repiques das algas (para manutenção da cultura em meio sólido) em condições assépticas, e mantidas sob iluminação constante de 4500 lux por uma semana. Após o crescimento desejável, essas algas são mantidas no escuro a 4°C.

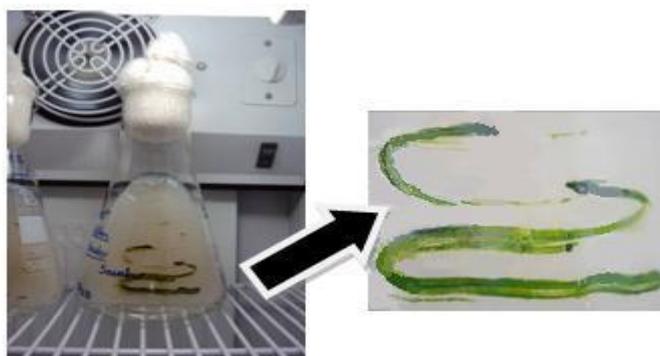


Figura 2.16 Manutenção de alga em meio sólido

Tabela 2.7 Lista de reagentes usados para preparo de meio chü (meio de cultura para alga)

Reagente	Lote	Marca
NaNO ₃ - P.A	904049	Vetec
KOH- P.A	605189	Vetec
Co (NO ₃) ₂ . 6 H ₂ O - P.A	900032	Vetec
MoO ₃ P.A	403012	Pro Analyst
H ₃ BO ₃ - P.A	904582	Vetec
K ₂ HPO ₄ - P.A	604393	Vetec
KH ₂ PO ₄ - P.A	902190	Vetec
CuSO ₄ . 5H ₂ O- P.A	Q0008	QHEMIS
MnCl ₂ . 4H ₂ O- P.A	703865	Vetec
ZnSO ₄ .7H ₂ O - P.A	900199	Vetec
EDTA	807128	Vetec
MgSO ₄ .7H ₂ O -P.A	108280	Synth
NaCl - P.A	705611	Vetec
FeSO ₄ .H ₂ O - P.A	32558	FM
CaCl ₂ . 2H ₂ O - P.A	902661	Vetec

Para o preparo do alimento, era feito o repique para o meio líquido (meio-chu) em 4 erlenmeyers (de 250 ml) contendo 100 ml de meio. Retirava-se uma pequena amostra da alga

do meio sólido e passava-se para os erlenmeyers. Após esse procedimento, os erlenmeyers eram colocados em uma mesa agitadora (175 rpm) por uma semana sob iluminação constante de 4500 lux (**Figura 2.17**).



Figura 2.17 Meio líquido contendo alga na mesa agitadora

Após uma semana de crescimento na mesa agitadora, o conteúdo dos erlenmeyers era colocado no garrafão de vidro com 4L de meio Chu, também sob iluminação constante de 4500 lux para crescimento exponencial (**Figura 2.18**). Semanalmente retirava-se 500 mL de alga. Após o período de um mês, fazia-se um novo garrafão e recomeçava-se o processo desde o início. A alga que era retirada semanalmente para alimento das daphnias, recebia um novo lote, quando era então mantida na geladeira por uma semana (sob refrigeração de 4°C - 10°C). Diariamente era fornecido 5 mL de alga por frasco de daphnia. A alga fornecida para alimento não era centrifugada.

As informações referentes ao controle de qualidade da alga eram registradas nas fichas de controle de alga.

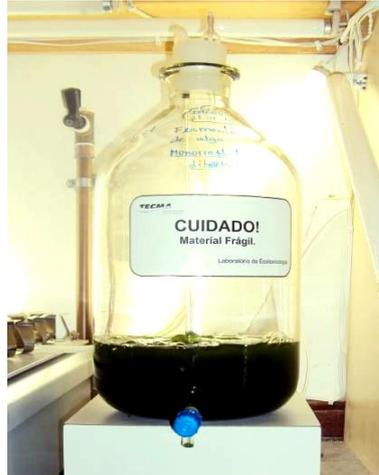


Figura 2.18 Garrafão fermentador de alga

2.7.3. Alimentação complementar (Ração)

Como a reprodução das daphnias foi mais intensa, com a adição à sua alimentação, de ração solubilizada para peixe PURINA, a mesma passou a ser dada diariamente como alimento complementar às daphnias. Seu preparo era feito macerando 10g ração em 1L de água mineral. Após esse procedimento, colocava-se o líquido em um funil de separação de 1L sob aeração constante por uma hora (**Figura 2.19**). Esperava-se o material sedimentar, e após mais uma hora, retirava-se o líquido sobrenadante para guardá-lo em pequenos frascos. A ração solubilizada era guardada congelada por um mês, mas no momento de sua retirada da geladeira, quando passava a ser usada na alimentação, o alimento passava a ter validade de uma semana, sob refrigeração a 4°C. Diariamente era adicionado 1 ml de ração à cada frasco de cultura de *Daphnia similis*. Toda vez que era preparada a ração, era realizado o controle de sólidos totais (**Figura 2.20**) para que a o mesmo não ultrapassasse o valor previsto na norma ABNT ISO 12713 (ABNT, 2009) que é de 2,5 a 3,1 mg/L de sólidos totais por organismo.



Figura 2.19 Solubilização da ração para o preparo do alimento de *Daphnia similis*

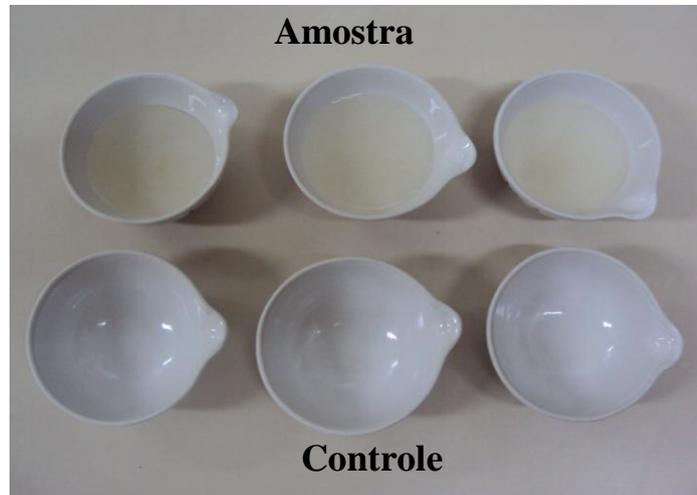


Figura 2.20 Cadinhos para o controle dos sólidos totais

2.8. Cálculo da porcentagem da redução de ecotoxicidade

Após a estimativa dos valores de CL (I) 50; 48h e CE (I) 50; 48h, foi calculada a porcentagem de redução de ecotoxicidade através da fórmula 2 e 3 (ISIDORI *et al.* 2003):

Cálculo para o *Danio rerio*:

$$\% \text{ de Redução} = 1 - \left(\frac{\text{CL(I)50 Bruto}}{\text{CL(I)50 Tratado}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Cálculo para o *Daphnia similis*:

$$\% \text{ de Redução} = 1 - \left(\frac{\text{CE(I)50 Bruto}}{\text{CE(I)50 Tratado}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

2.9. Classificação das amostras quanto ao potencial tóxico

Os valores de CL(I)50; 48h e CE (I)50; 48h obtidos nos ensaios foram utilizados para classificar os efluentes quanto ao potencial tóxico de acordo com a CETESB (1987) como mostra a **Tabela 2.8**.

Tabela 2.8 Escala de Toxicidade (CETESB, 1987c)

Muito tóxica	< 25%
Moderadamente Tóxica	25%-50%
Tóxica	51%-75%
Levemente tóxica	> 75%

2.10. Equipamentos utilizados no estudo

Os equipamentos utilizados no estudo encontram-se no **apêndice A** no final do presente trabalho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Carta-controle de *Daphnia similis*

Foram realizados 21 ensaios de sensibilidade com KCl como mostra a **Tabela 3.1**. A carta-controle está representada pela **Figura 3.1**.

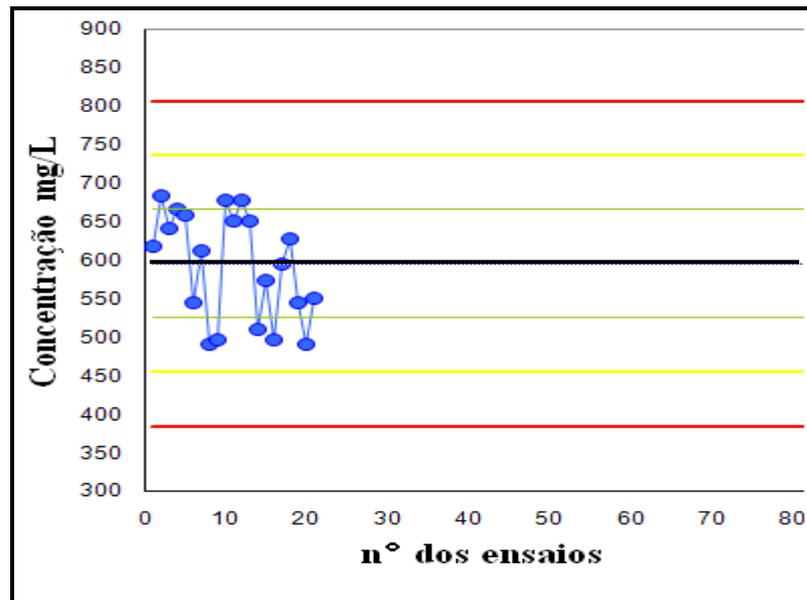


Figura 3.1 Carta-controle de *Daphnia similis*

A data dos ensaios para a montagem da carta-controle, assim como os valores de concentração encontrados, estão na **Tabela 3.1**. O valor médio encontrado de sensibilidade da *Daphnia similis* é CE(I)50;48h igual a 596.15 mg/L de KCl. O desvio-padrão da carta-controle é de 70.45 e o coeficiente de variação é 11%. Sendo portanto, o limite superior igual a 737,05 mg/L e o limite inferior igual a 455.25 mg/L.

Buratini (2002) após a realização de três ensaios agudos com *Daphnia similis*, utilizando a substância de referência com KCl, encontrou os seguintes valores de CE(I)50;48h: 1190 mg/L, 690 mg/L e 986 mg/L. Sendo a média dos três ensaios igual a 986,66 mg/L.

A média encontrada por Buratini (2002) é maior que a média encontrada no presente estudo, demonstrando que os organismos do estudo da autora poderiam ser mais resistentes que os organismos do presente estudo. Porém, a média foi obtida a partir de um número muito

pequeno de ensaios, não servindo portanto, como parâmetro de comparação.

Tabela 3.1 Ensaios de sensibilidade de *Daphnia similis* com Cloreto de Potássio (KCl)

n	Data	Conc. (mg/L)	n	Data	Conc. (mg/L)
1	8/7/10	619	12	12/8/10	678
2	8/7/10	685	13	10/9/10	652
3	9/7/10	642	14	7/10/10	511
4	29/7/10	666	15	19/11/10	574
5	29/7/10	660	16	26/11/10	498
6	30/7/10	545	17	2/12/10	596
7	30/7/10	612	18	3/12/10	628
8	6/8/10	492	19	23/12/10	545
9	6/8/10	498	20	28/1/10	492
10	12/8/10	678	21	11/2/11	552
11	12/8/10	652			

A **Tabela 3.2** é referente aos parâmetros da carta-controle da *Daphnia similis*, cuja data de elaboração foi o dia 08/07/10, quando foi realizado o primeiro ensaio.

Tabela 3.2 Parâmetros referentes à carta-controle de *Daphnia similis*

Parâmetro:	Ecotoxicidade Aguda CE(I)50;48h
Concentração:	mg/L
Tipo de Carta:	Exatidão
Média, mg/L :	596,15
Desvio Padrão, mg/L:	70,45
Coefficiente de variação:	11,74%
Data da Elaboração:	08/07/10

3.2. Carta-controle *Danio rerio*

A carta-controle do peixe *Danio rerio* (**Figura 3.2**) já estava pronta quando foi realizado o trabalho. A substância de referência utilizada pelo laboratório, foi o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$).

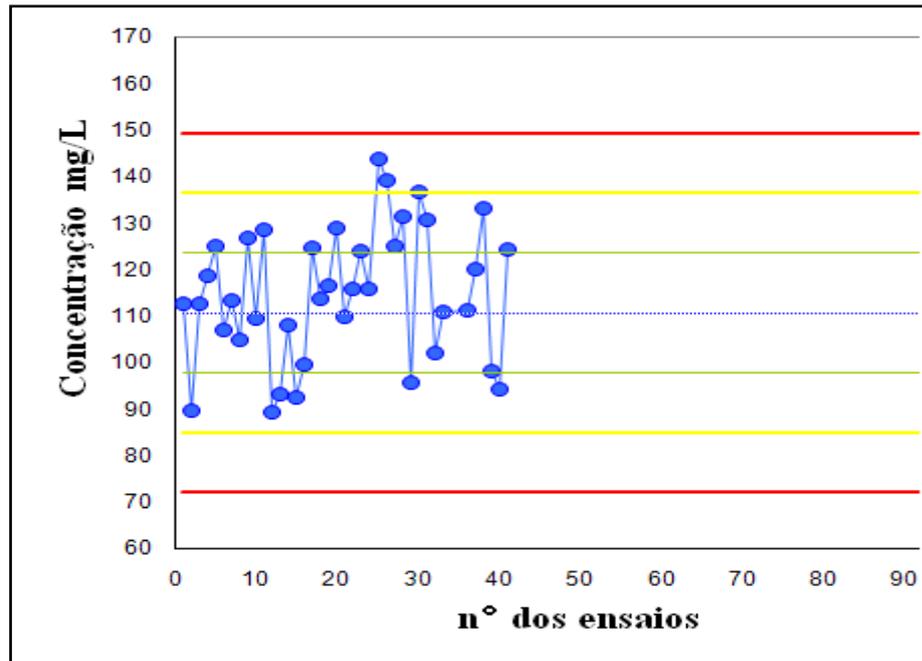


Figura 3.2 Carta-controle do *Danio rerio*

A **Tabela 3.3** mostra os números dos ensaios, a data e os resultados obtidos (mg/L) dos ensaios de sensibilidade do organismos *Danio rerio*.

Tabela 3.3 Ensaios de sensibilidade de *Danio rerio* com Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$).

n	Data	Conc. (mg/L)	n	Data	Conc. (mg/L)	n	Data	Conc. (mg/L)
1	1/9/09	112,74	14	7/4/10	108,34	28	19/7/10	131,65
2	8/9/09	89,91	15	9/4/10	92,64	29	28/7/10	95,86
3	10/9/09	112,70	16	12/4/10	99,64	30	31/8/10	136,97
4	22/9/09	118,64	17	19/4/10	124,95	31	14/9/10	130,83
5	14/10/09	125,26	18	21/4/10	113,86	32	22/9/10	102,02
6	21/10/09	107,23	19	30/4/10	116,64	33	20/10/10	110,87
7	25/11/09	113,40	20	6/5/10	128,90	34	22/10/10	111,43
8	16/12/09	104,92	21	7/5/10	109,98	35	3/11/10	120,25
9	14/1/10	127,01	22	14/5/10	116,06	36	17/11/10	133,31
10	28/1/10	109,52	23	28/5/10	123,98	37	24/11/10	98,29
11	1/2/10	128,82	24	18/6/10	115,89	38	26/11/10	94,41
11	1/2/10	128,82	25	23/6/10	143,95	39	8/12/10	124,58
12	24/3/10	89,47	26	30/6/10	139,44			
13	1/4/10	93,21	27	7/7/10	125,31			

A **Tabela 3.4** mostra os parâmetros referentes à carta-controle do *Danio rerio*. A média encontrada para os ensaios de sensibilidade é 110,89 mg/L. O desvio-padrão é 12,88 mg/L e o coeficiente de variação igual a 11%. O limite superior da carta é igual a 136,65 mg/L e o limite inferior é 85,13 mg/L.

Tabela 3.4 Parâmetros referentes à carta-controle de *Danio rerio*

Parâmetro:	Ecotoxicidade
Organismo:	<i>Danio rerio</i>
Concentração:	mg/L de K ₂ Cr ₂ O ₇
Tipo de Carta:	Exatidão
Média, mg/L :	110.89
Desvio Padrão, mg/L :	12,88 mg/L
Coeficiente de Variação:	11%
Data da Elaboração:	26/02/2010

3.3. Resultados dos ensaios ecotoxicológicos.

Os resultados dos ensaios foram organizados em tabelas comparando-se os dados da *Daphnia similis* em CE(I)50;48h e do *Danio rerio* em CL(I)50;48h. Para cada ensaio foi feita uma tabela com parâmetros físico-químicos exigidos pela legislação vigente (NT-202 R10 e DZ- 205 R 06) para cada tipo de indústria. Esses parâmetros são referentes à DBO₅, DQO, RNFT entre outros.

Além disso, para o ensaio com *Daphnia similis*, foi medido a variação de oxigênio dissolvido, pH nos tubos de ensaio e evidenciado a porcentagem de sobrevivência do grupo controle. Para os ensaios com o peixe *Danio rerio*, foi medido a variação do oxigênio dissolvido e pH nos béqueres do ensaio, assim como a porcentagem de sobrevivência do controle. Essas informações encontram-se na parte inferior das tabelas das análises físico-químicas de cada ensaio.

Os ensaios ecotoxicológicos só foram considerados válidos se ao final do ensaio:

- Não houvesse morte (*Danio rerio*) ou imobilidade (*Daphnia similis*) de 10% dos organismos no grupo controle;
- O oxigênio dissolvido não apresentasse valores abaixo de 2 mg/L de O₂.

Todos os resultados de CE(I)50;48h e CL(I)50;48h, foram plotados em uma única tabela comparativa (**Tabela 3.5**).

Tabela 3.5 Resultados dos ensaios ecotoxicológicos e as respectivas análises físico-químicas

Origem do efluente	Número do Ensaio	Resultado do ensaio com <i>Daphnia similis</i>			Resultado do ensaio com <i>Danio rerio</i>			Análise físico-química
		CENO(%)	UT	CE(I)50;48h	CENO(%)	UT	CL(I)50;48h	
Indústria de papel	Ensaio 1	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.7
Indústria de papel	Ensaio 2	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.8
Indústria de papel	Ensaio 3	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.9
Indústria de bebidas	Ensaio 4	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.11
Indústria de bebidas	Ensaio 5	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.12
Indústria farmacêutica	Ensaio 6	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.14
Indústria farmacêutica	Ensaio 7	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.15
Indústria de alimentícia	Ensaio 8	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.17
Indústria de alimentícia	Ensaio 9	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.18
Indústria metalúrgica	Ensaio 10	< 6,25%	>16	11,87%	12,5%	8	39,99%	Tabela 3.20
Indústria petroquímica A	Ensaio 11	100	1	Não Tóxico	50%	2	65,98%	Tabela 3.22
Indústria petroquímica A	Ensaio 12	6,25%	16	29,73%	6,25%	16	15,39%	Tabela 3.23
Indústria petroquímica B	Ensaio 13	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.25
Indústria petroquímica B	Ensaio 14	100	1	Não Tóxico	100	1	Não Tóxico	Tabela 3.26
Indústria petroquímica C (efluente bruto)	Ensaio 15	0,10%	± 512	0,17%	1,56%	64	2,36%	Tabela 3.28
Indústria petroquímica C (efluente clarificado)	Ensaio 16	< 6,25%	16	16,29%	25%	4	32,99%	
Indústria petroquímica C (efluente tratado)	Ensaio 17	12,5%	8	25%	100	1	Não Tóxico	
Chorume do Aterro Sanitário de São Paulo (bruto)	Ensaio 18	1,5%	±64	1,88%	0,19%	± 512	0,45%	Tabela 3.32
Chorume do Aterro Sanitário de São Paulo (clarificado)	Ensaio 19	3%	± 32	10,11%	2%	± 64	4,47%	Tabela 3.33
Chorume do Aterro Sanitário de São Paulo (tratado)	Ensaio 20	6,25%	16	12,07%	6,25%	16	17,68%	Tabela 3.34
Chorume do Aterro Sanitário do Rio de Janeiro (bruto)	Ensaio 21	1%	±128	2,24%	1%	± 128	2,24%	Tabela 3.38
Chorume do Aterro Sanitário do Rio de Janeiro (clarificado)	Ensaio 22	12,5%	8	22,53%	12,5%	8	18,95%	
Chorume do Aterro Sanitário do Rio de Janeiro (tratado)	Ensaio 23	25%	4	35,36%	12,5%	8	25%	
Chorume do Aterro Sanitário do Rio Grande do Sul (bruto)	Ensaio 24	3,5%	±32	1,88%	0,75%	± 128	1,18%	Tabela 3.42
Chorume do Aterro Sanitário do Rio Grande do Sul (clarificado)	Ensaio 25	4,3%	±32	5,94%	3,6%	± 32	3,93%	Tabela 3.43
Chorume do Aterro Sanitário do Rio Grande do Sul (tratado)	Ensaio 26	45,5%	±2	72,37%	35%	± 4	39,91%	Tabela 344

3.3.1. Efluente de indústria de papel

O efluente bruto da indústria de papel A, possui alta concentração de DBO₅ (em torno de 2180 mg/L de O₂) e DQO (em torno de 7182 mg/L de O₂). O efluente final já apresenta uma grande redução da DBO₅ e DQO que se encontram em torno de 5 mg/L de O₂ a 157 mg/L de O₂, respectivamente. Foi realizado um ensaio ecotoxicológico (nº 1) com a amostra desse efluente tratado (**Tabela 3.6**). Os resultados das análises físico-químicas do ensaio 1 (referente à indústria A), encontram-se nas **Tabela 3.7**.

Assim como o efluente da indústria de papel A, o efluente da indústria de papel B também possui alta concentração de DQO (em torno de 2000 mg/L de O₂). Porém as amostras dos dois efluentes tratados dessa indústria demonstraram grande redução, passando para <15 mg/L de O₂ em uma amostra tratada e 158 mg/L de O₂ em outra amostra tratada.

Foi realizado um ensaio ecotoxicológico com cada um desses dois efluentes tratados da indústria de papel B. A **Tabela 3.6** mostra os resultados dos ensaios ecotoxicológicos com as duas amostras dos efluentes tratados. Já as análises físico-químicas dos ensaios 2 e 3 (referentes à indústrias B) encontram-se nas **Tabelas 3.8 e 3.9** respectivamente.

Tabela 3.6 Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria de papel

	<i>Daphnia similis</i> CE (I)50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 1 (indústria A)	NT	NT
Ensaio 2 (indústria B)	NT	NT
Ensaio 3 (indústria B)	NT	NT

NT- Não Tóxico

Os três efluentes analisados para as duas indústrias de papel não apresentaram ecotoxicidade nem para *Daphnia similis* e nem para *Danio rerio*. Zagatto *et al* (1988), encontraram ecotoxicidade a *Daphnia similis* (CE(I)50; 24h= 30%) com o efluente de papel analisado no artigo, porém, não encontrou para a indústria de papel e celulose. Como não foi evidenciado neste artigo os resultados físico-químicos dos efluentes em questão, torna-se difícil saber o porquê da ecotoxicidade encontrada.

Os resultados encontrados no presente estudo mostram que os parâmetros analisados do efluente final, encontram-se dentre dos limites da legislação vigente. O **apêndice B** mostra o histórico dos resultados físico-químicos (realizado pela TECMA) dessas duas indústrias mostrando o seu bom funcionamento não só nas amostragens estudadas, mas também ao longo

do tempo, o que pode indicar ser este um processo seguro do ponto de vista ecotoxicológico para o tipo de efluente em questão.

Tabela 3.7 Resultado das análises físico-químicas do ensaio 1 com o efluente da indústria de papel A

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	2180		5			
DQO, mg/L de O ₂	7182		157	-	200	
Fósforo Total, mg/L de P	2		0,56	1	-	
Nitrogênio Total, mg/L de N	5		1	10	-	
Óleos e Graxas Totais, mg/L			<6,0	20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		5770	7			
Resíduo Não Volátil, mg/L		3163				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 1	7,77- 8,5	6,41-7,2	5%	7,69-7,99	3,73-4,35	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.8 Resultado das análises físico-químicas do ensaio 2 com o efluente da indústria de papel B

	Afluente	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06		
Alumínio mg/L		0,90	3,0			
DBO ₅ , mg/L de O ₂	467	6				
Detergente		<0,4	2,0			
DQO, mg/L de O ₂	2239	<15		200		
Fenóis mg/L		<0,08	0,2			
Materiais Sedimentáveis, mL/L		<0,5	1,0			
Óleos e Graxas Totais, mg/L		< 6,0	20			
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		9				
Sulfato mg/L de SO ₄ ²⁻		27				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 2	6,92 – 8,01	6,9 – 7,23	0%	7,50-7,66	5,24-5,69	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.9 Resultado das análises físico-químicas do ensaio 3 com o efluente da indústria de papel B

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	480		9			
DQO, mg/L de O ₂	1702		158		200	
Fósforo Total, mg/L de P	3		1	1		
Nit. Total, mg/L de N	9		13	10		
Óleos e Graxas Totais, mg/L			<6	20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		4988	9			
Resíduo Não Volátil, mg/L		2828				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 3	7,76 – 8,36	5,50 – 6,0	0%	7,71-8,22	6,73-6,97	0%

OD – Oxigênio dissolvido

3.3.2. Efluente de indústria de bebidas

O tratamento realizado para o efluente dessa indústria se encontra bastante eficiente com relação à redução de concentração de matéria orgânica, visto que o efluente bruto possui DBO₅ entre 1992 e 5661 mg/L de O₂ e DQO entre 3649 e 8876 mg/L de O₂. Já o efluente tratado possui DBO₅ em torno de 4 mg/L e DQO em torno de 45 mg/L. Foram realizados dois ensaios (4 e 5) com duas amostras dessa indústria. Os resultados encontrados estão na **Tabela 3.10**. Já os resultados das análises físico-químicas encontram-se nas **Tabelas 3.11 e 3.12**.

Tabela 3.10 Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria de bebidas

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 4	NT	NT
Ensaio 5	NT	NT

NT-Não tóxico

As duas amostras dos efluentes dessa indústria de bebidas não apresentaram ecotoxicidade nem para *Daphnia similis* e nem para *Danio rerio*. O tratamento realizado por essa indústria (preliminar, primário e secundário com lodos ativados) encontra-se bastante eficiente com relação à redução de carga orgânica, pois como já foi comentado no subitem 1.3.1.3, o efluente bruto possuía DBO₅ entre 1992 e 5661 mg/L de O₂ e DQO entre 3649 e

8876 mg/L de O₂. Já o efluente tratado possui DBO₅ em torno de 4 mg/L e DQO em torno de 45 mg/L de O₂. Efluente deste tipo de indústria possui como composição principal composto como açúcares, álcool, sucos de frutas e corantes de grau alimentício que em sua maioria são de fácil degradação, justificando assim, a ausência de ecotoxicidade ao *Danio rerio* e a *Daphnia similis*. No **apêndice B** encontra-se o histórico das análises físico-químicas (realizadas pela TECMA), mostrando a eficiência do sistema de tratamento ao longo dos meses.

Tabela 3.11 Análise físico-química do ensaio 4 com o efluente tratado da indústria de bebidas

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	1992		4		90%	
Detergentes (MBAS), mg/L			<0,4	2	-	
DQO, mg/L de O ₂	3649		51	-	150	
Materiais Sedimentáveis, mg/L			<0,5	1	-	
Óleos e Graxas Totais, mg/L			<6,0	20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		4054	31			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		3326				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 4	7,78 – 8,42	7,09 – 8,12	0%	7,56-8,25	6,16-6,82	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.12 Análise físico-química do ensaio 5 com o efluente tratado da indústria de bebidas

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06	
DBO ₅ , mg/L O ₂	5661		4			
Detergentes (MBAS), mg/L			<0,40	2		
DQO, mg/L O ₂	8876		45		150	
Materiais Sedimentáveis, mL/L			<0,5	1.0		
Óleos e Graxas Totais, mg/L			<6,0	20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		3569	28			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		3277				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 5	8,25-8,37	7,02 – 7,32	0%	7,85-8,86	6,33-7,94	0%

OD – Oxigênio dissolvido

3.3.3. Efluente de indústria farmacêutica

Os efluentes brutos dessa indústria costumam ter alta concentração de RNFT (Resíduo Não - filtrável Total) ou Sólidos em Suspensão Total, que é em torno de 4000 mg/L, porém nos efluentes tratados, essa concentração é reduzida para 18 mg/L. Além disso, os efluentes tratados desta indústria possuem baixa DQO (entre 15 e 34 mg/L) e uma considerável concentração de óleos e graxas foi encontrado em um dos efluentes (20 mg/L).

Foram realizados dois ensaios ecotoxicológicos (6 e 7) com duas amostras de efluente dessa indústria. Os resultados dos ensaios encontram-se na **Tabela 3.13** e os resultados das análises físico-químicas encontram-se nas **Tabelas 3.14 e 3.15**. No **apêndice B**, encontra-se o histórico das análises físico-químicas dessa indústria (realizadas pela TECMA) ao longo do ano.

Tabela 3.13 Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria farmacêutica

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 6	NT	NT
Ensaio 7	NT	NT

NT- Não tóxico

Os dois efluentes analisados para a indústria farmacêutica não apresentaram ecotoxicidade nem para *Daphnia similis* e nem para *Danio rerio*. Isso se deve à redução de RNFT e DQO nos efluentes tratados, sendo reduzidos a valores muito baixos como 18 mg/L e 34 mg/l respectivamente, somente utilizando tratamento primário específico por linha de produção, seguido de secundário por lodos ativados. A estação de tratamento existente na indústria opera com boa regularidade como mostra o histórico das análises físico-químicas dessa indústria no **apêndice B**, realizadas pela TECMA.

Nesse sentido, os parâmetros analisados do efluente final, encontram-se dentro dos limites da legislação vigente como mostram as análises físico-químicas das **Tabelas 3.14 e 3.15**. Porém, Zagatto *et al.* (1988) encontrou CE(I)50; 24h igual 48,5% quando analisou o efluente farmacêutico tratado utilizando *Daphnia similis*.

Tabela 3.14 Análise físico-química do ensaio 6 com o efluente tratado da indústria farmacêutica

	Afluente	Tanque de aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ- 205 R 06	
Detergente (MBAS) , mg/L			<0,4	2,0	-	
DQO, mg/L O ₂	423		<15	-	150	
Fenóis, mg/L			<0,08	0,2	-	
Fósforo Total, mg/L de P			0,51	1	-	
Matateriais Sedimentáveis, mL/L			<0,5	1,0	-	
Nitrogênio Kjeldahl, mg/L			1,1		-	
Óleos e Graxas Total, mg/L	9		<6,0	20		
pH a 25°C			7,47	5,0-9,0		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		4173	18			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		2503				
Sulfeto mg/L de S ⁻²			<0,1	1		
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 6	7,36 – 7,67	6,71 – 7,92	0%	7,18-7,56	5,68-6,74	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.15 Análise físico-química do ensaio 7 com o efluente tratado da indústria farmacêutica

	Afluente	T.aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ 205 R06	
Detergente (MBAS), mg/L			< 0,40	2,0	-	
DQO, mg/L O ₂	424		34	-	150	
Fenóis, mg/L			<0,08	0,2	-	
Fósforo Total, mg/L de P			0,77	1	-	
Materiais Sedimentáveis, mL/L			< 0,5	1,0	-	
Nitrogênio Kjeldahl, mg/L			20		-	
Óleos e Graxas Total, mg/L	< 6,0		< 0,6	20		
pH a 25°C			8,19	5,0-9,0		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		4035	13			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		2660				
Sulfeto mg/L de S ⁻²			< 0,1	1		
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 7	7,85 – 8,34	5,0 – 5,62	0%	7,55-8,22	6,16-6,87	0%

OD – Oxigênio dissolvido

3.3.4. Efluente de indústria alimentícia

Apesar dos efluentes brutos dessa indústria alimentícia possuírem alta concentração de matéria orgânica (DQO entre 2170 mg/L e 13281 mg/L), esses valores caem para aproximadamente 30 mg/L ou menos no efluente tratado, como mostram os resultados das análises físico químicas dos ensaios da indústria alimentícia que encontram-se nas **Tabelas 3.17 e 3.18**.

Foram realizados dois ensaios (8 e 9) com dois efluentes dessa indústria. Os resultados encontram-se na **Tabela 3.16**.

Tabela 3.16 Resultado dos ensaios agudos com os efluentes tratados da indústria alimentícia

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 8	NT	NT
Ensaio 9	NT	NT

NT- Não tóxico

Os dois efluentes analisados para a indústria alimentícia também não apresentaram ecotoxicidade nem para *Daphnia similis* e nem para *Danio rerio*. No **apêndice B**, encontra-se o histórico das análises físico-químicas (realizadas pela TECMA) dessa indústria alimentícia.

Tabela 3.17 Resultado das análises físico-químicas do ensaio 8 com o efluente da indústria alimentícia

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ 205 R06	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	6087		3		90%	
Detergente (MBAS) , mg/L			<0,4	2,0	-	
DQO, mg/L O ₂	13281		<15	-	400	
Fósforo Total, mg/L de P			0,05		-	
Materiais Sedimentáveis, mL/L			<0,5	1,0	-	
Nitrogênio Kjeldahl, mg/L			0,4		-	
Óleos e Graxas (veg.), mg/L	39		<6	30	-	
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		4425	9			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		3535				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 8	7,71 – 7,79	7,06 – 7,28	0%	7,43-7,62	6,48-7,20	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.18 Resultado das análises físico-químicas do ensaio 9 com o efluente da indústria alimentícia

	Afluente	Tanque de Aeração	Efluente	NT-202 R10	DZ 205 R06	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	242		<3			
Detergente (MBAS) , mg/L			<0,4	2,0	-	
DQO, mg/L O ₂	2170		31	-	400	
Fósforo Total, mg/L de P			0,41		-	
Materiais Sedimentáveis, mL/L			<0,5	1,0	-	
Nitrogênio Kjeldahl, mg/L			0,8		-	
Óleos e Graxas (veg.), mg/L	< 6		<6	30	-	
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L		3373	32			
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L		2623				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 9	7,72 – 8,16	7,51 – 7,08	0%	8,17-8,56	6,24-7,23	0%

OD – Oxigênio dissolvido

3.3.5. Efluente proveniente de processos metalúrgicos

Mais uma vez é importante mencionar que o efluente em estudo possui metais variados, demonstrando a diversidade de decapagem que a indústria realiza. A maioria dos metais presentes em seu efluente está acima do limite da legislação vigente que é a NT-202 R10, como alumínio, boro, cobre, cromo e níquel, conforme mostram as análises físico químicas demonstradas na **Tabela 3.20**. Além disso, esse efluente possui alta concentração de amônia (441 mg/L) podendo conferir grande ecotoxicidade ao mesmo. Foi realizado um ensaio agudo com uma amostra desse efluente. O resultado encontra-se na **Tabela 3.19**.

Tabela 3.19 Resultado do ensaio agudo com o efluente da indústria metalúrgica após decapagem de metais

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 10	11,87%	39,99%

O ensaio realizado com efluente da indústria metalúrgica (processo de tratamento de superfície) apresentou ecotoxicidade para os dois organismos testados. Sendo que a *Daphnia similis* respondeu de forma mais sensível que o *Danio rerio* com CE(I)50;48h igual a 11,87% e CL(I)50;48h igual a 39,99%, respectivamente. Segundo a escala de toxicidade da CETESB

(1987c), esse efluente é classificado como muito tóxico a *Daphnia similis* e moderadamente tóxico ao *Danio rerio*. A alta ecotoxicidade desse efluente pode ser explicada, por exemplo, pelo alto teor de amônia (441 mg/L).

Além disso, o cromo hexavalente foi encontrado na concentração de 0,3 mg/L. A CETESB (1980) constatou que a sensibilidade para a *Daphnia similis* a esta substância (mesmo que em 24h) foi de 0,16 mg/L e para o *Danio rerio* o mesmo estudo constatou (mesmo que para 96h) que a CL(I)50;96h foi 90 mg/L, estando portanto a emissão de cromo hexavalente bem alto para os níveis de ecotoxicidade de *Daphnia similis*, mas não para o peixe. Além disso, vários metais estão em concentrações acima do limite de emissão estabelecidos pela legislação pertinente como mostra o resultado físico-químico 10, sendo estas substâncias: cobre (20 mg/L), boro (16 mg/L), alumínio (15,7 mg/L) e níquel total (3,01 mg/L) entre outros.

A CETESB (1987) constatou que a CE(I) 50;24h da *Daphnia similis* ao cobre foi de 0,01 mg/L, estando portanto esse metal também contribuindo para a grande ecotoxicidade do efluente em questão. Com relação ao níquel total, encontrado no efluente com 4,26 mg/L, apesar dele estar acima do limite da legislação (1,0 mg/L), seu valor não é suficiente para causar ecotoxicidade ao organismo *Danio rerio* baseado no estudo de Muniz *et al.* (2010), em que seu ensaio com níquel foi encontrado CL(I)50;96h de 15,02 mg/L.

Tabela 3.20 Análise físico-química do ensaio 10 com o efluente da indústria metalúrgica após a decapagem de metais

	Ponto 1	NT-202 R10	DZ 205 R06
Alumínio, mg/L	15,72	3,0	
Amônia, mg/L	441	5	
Arsênio, mg/L	<0,100	0,100	
Bário, mg/L	<0,500	5,00	
Boro, mg/L	16	5,0	
Cádmio, mg/L	<0,100	0,100	
Chumbo, mg/L	<0,100	0,500	
Cianeto, mg/L	<0,100	1	
Cloro Ativo, mg/L	0,290	5,0	
Cobalto, mg/L	0,079	1,00	
Cobre, mg/L	19	0,500	
Cromo Total, mg/L	14	0,500	
DBO ₅ , mg/L de O ₂	6		
Detergente, mg/L	<0,400	2,0	
DQO, mg/L de O ₂	148	-	200
Estanho, mg/L	0,132	4,0	
Fenóis, mg/L	0,122	0,200	
Ferro Solúvel, mg/L	2,3	15	
Fósforo Total, mg/L	<0,200	1	

Manganês Solúvel, mg/L	<0,10	1.0
Materiais Sedimentáveis, mg/L.	50	1,0
Mercúrio, mg/L	< 0,005	0,010
Níquel, mg/L	4,26	1
Nitrogênio Total, mg/L l	83	10.0
Óleos Graxas Total, mg/L	17	20
Óleos Graxas (vegetais), mg/L	<6	30
Óleos e Graxas (Minerais), mg/L	16	20
pH (cor)	8,54	5 a 9
Prata, mg/L	<0,100	0,100
Selênio, mg/L	<0,050	0,100
Sulfato, mg/L de SO ₄ ²⁻	13,5	
Sulfeto, mg/L de S ⁻²	<0,100	1.0
Sulfito, mg/L de SO ₃ ²⁻	<1,00	1.0
Temperatura (C°)	25	40
Zinco, mg/L	0,50	1.0

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 10	7,05 – 8,02	7,43 – 7,87	0%	3,8-6,33	7,65-7,68	0%

OD – Oxigênio dissolvido

3.3.6. Efluente proveniente de indústria petroquímica

Os efluentes tratados da indústria A não possuem valores altos nem de DBO₅ nem de DQO, que ficaram em torno de 3 e 30 mg/L de O₂, respectivamente. Além disso, não apresentaram altos teores de óleos e graxas (6 mg/L) e de detergentes MBAS (<0,40 mg/L), como mostram os resultados das análises físico-químicas que encontram-se na **Tabela 3.22 e 3.23**. Foram realizados dois ensaios de ecotoxicidade aguda (11 e 12) com as amostras de efluentes da indústria petroquímica A. O resultado encontra-se na **Tabela 3.21**.

Tabela 3.21 Resultado dos ensaios agudos com os dois efluentes tratados da indústria petroquímica A

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 11	NT	65,98%
Ensaio 12	29,73%	15,39%

NT- Não tóxico

O ensaio 11 analisado com o efluente tratado da indústria petroquímica A, apresentou ecotoxicidade para o *Danio rerio* com CL(I)50;48h igual 65,98% e não apresentou

ecotoxicidade para *Daphnia similis*. Sendo portanto, classificado como tóxico ao *Danio rerio* na escala de toxicidade, CETESB (1987c). Porém, o ensaio 12, com outra amostra do efluente da mesma indústria (A), apresentou ecotoxicidade para ambos, sendo que o *Danio rerio*, com a $CL(I)50;48h = 15$, 39% (muito tóxico) continuou respondendo de forma mais sensível que a *Daphnia similis*, que apresentou $CE(I)50;48h = 29,73\%$ (moderadamente tóxico). Os resultados das análises físico-químicas dos ensaios 11 e 12 estão dentro dos limites da legislação estadual do Rio de Janeiro, não sendo portanto possível, diante só desses parâmetros, definir o agente tóxico. Porém, vale ressaltar que o oxigênio dissolvido nos béqueres de ensaio de peixe no ensaio 11, apresentaram valores muito baixos no final do ensaio (em torno de 1.10 mg/L de O_2). Esse valor muito baixo se apresentou principalmente nas concentrações de 100% e 50%, mostrando que os peixes podem não ter suportado valores tão baixos de oxigênio dissolvido. O mesmo não ocorreu no ensaio 11 com *Daphnia similis*, em que os valores de oxigênio dissolvido, não se apresentaram baixos, como mostra a **Tabela 3.23**. No **apêndice B** encontra-se o histórico das análises físico-químicas (realizadas pela TECMA) dos efluentes dessa indústria.

Tabela 3.22 Análise físico-química do ensaio 11 com o efluente tratado da indústria petroquímica A

	Vertedouro S.A.O	NT-202 R10	DZ-205 R06			
Cádmio, mg/L	<0,10	0,100	-			
Chumbo, mg/L	<0,10	0,500	-			
DBO ₅ , mg/L de O ₂	30					
Detergente, mg/L	<0,40	2,0	-			
DQO, mg/L de O ₂	138	-	250			
Fenóis, mg/L	<0,08	0,200	-			
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,50	1,0	-			
Merúrio, mg/L	<0,005	0,010	-			
Níquel, mg/L	<0,1	1,0	-			
Óleos e Graxas Total	6	20				
pH a 25°C	6,64	5,0 a 9,0				
Sulfeto, mg/L de S ²⁻	0,4	1,0				
Zinco, mg/L	<0,17	1,0	-			
	<i>Daphnia similis</i>					
	<i>Danio rerio</i>					
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 11	7,52 – 7,66	6,75 – 7,73	0%	6,50-7,02	1,10-4,58	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.23 Análise físico-química do ensaio 12 com o efluente tratado da indústria petroquímica A

	Vertedouro S.A.O	NT-202 R10	DZ 205 R06
Chumbo, mg/L	<0,1	0,500	-
DBO ₅ , mg/L de O ₂	36		
Detergente, mg/L	<0,4	2,0	-
DQO, mg/L de O ₂	148	-	250
Fenóis, mg/L	<0,080	0,200	-
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5	1,0	-
Mercúrio, mg/L	<0,005	0,010	-
Níquel, mg/L	<0,1	1,0	-
Óleos e Graxas Total, mg/L	6	20	
pH a 25°C	6,85	5,0 a 9,0	
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	28		
Sulfeto, mg/L de S ²⁻	0,7	1,0	
Zinco, mg/L	0,27	1,0	-

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 12	7,87 – 8,13	6,08 – 8,06	0%	3,85-7,41	5,34 – 6,78	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Os efluentes tratados da indústria B são um pouco parecidos com os da indústria A, pois possuem valores próximos no tocante a óleos e graxas e detergentes MBAS, porém possuem maiores concentrações de matéria orgânica medida como DBO₅ e DQO, que ficaram em torno de 30 e 140 mg/L, respectivamente, como mostram os resultados das análises físico-químicas das **Tabela 3.25** e **3.26**. Foram realizados dois ensaios com as amostras dos efluentes da indústria petroquímica B. Os resultados encontram-se na **Tabela 3.24**.

Tabela 3.24 Resultado dos ensaios agudos com os dois efluentes tratados da indústria petroquímica B

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 13	NT	NT
Ensaio 14	NT	NT

NT- Não tóxico

Nenhuma das duas amostras do efluente da indústria B apresentou ecotoxicidade aos organismos testados. Da mesma forma que a indústria petroquímica A, a indústria B também apresentou todos os parâmetros físico-químicos dentro dos limites da legislação e a DQO encontrada nas duas amostras foram baixas (44 e 27 mg/L em O₂). Talvez por essa indústria só trabalhar com envasamento de aditivos de lubrificantes, o efluente só irá apresentar

ecotoxicidade quando houver um derrame na hora de envasar o produto e esses aditivos eventualmente caírem no sistema de tratamento. Nessas duas amostragens provavelmente não ocorreu tal fato. No **apêndice B** encontra-se o histórico das análises físico-químicas (realizadas pela TECMA) dos efluentes da indústria B.

Tabela 3.25 Análise físico-química do ensaio 13 com o efluente tratado da indústria petroquímica B

	Efluente			NT-202 R10		DZ 205 R06
DBO ₅ , mg/L de O ₂	<3					
Detergente, mg/L	<0,4			2,0		-
DQO, mg/L de O ₂	44			-		250
Fenóis, mg/L	<0,080			0,200		
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5			1,0		-
Óleos e Graxas Total, mg/L	<6,0			20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	3					
Sulfeto, mg/L de S ²⁻	<0,1			1,0		
Zinco, mg/L	<0,17			1,0		-
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 13	7.51 – 7.65	7.09 – 7.77	0%	6.79-7.24	4.77-5.27	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.26 Análise físico-química do ensaio 14 com o efluente tratado da indústria petroquímica B

	Efluente			NT-202 R10		DZ 205 R06
DBO ₅ , mg/L de O ₂	3					
Detergente, mg/L	< 0,4			2,0		-
DQO, mg/L de O ₂	27			-		250
Fenóis, mg/L	< 0,080			0,2		
Materiais Sedimentáveis, mL/L	< 0,5			1,0		-
Óleos e Graxas Total, mg/L	< 6			20		
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	< 1					
Sulfeto, mg/L de S ²⁻	0,1			1,0		
Zinco, mg/L	< 0, 17			1,0		-
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 14	7.75 – 7.88	6.43 – 6.65	0%	7.32-7.61	5.24-5.95	0%

OD – Oxigênio dissolvido

No efluente C, foram realizados ensaios que captaram amostras das diversas etapas de tratamento (bruto, clarificado e após reator biológico). O efluente bruto possui alta

concentração de matéria orgânica medida como DBO₅ e DQO, sendo os valores 657 mg/L e 3489 mg/L, respectivamente. Além de fósforo total que também se apresentou alto (23 mg/L). Já o efluente clarificado apresentou um aumento da DBO₅ (770 mg/L) e uma diminuição da DQO (2934 mg/L), diminuindo também a quantidade de fósforo total (8,24 mg/L). O efluente que foi tratado pelo reator biológico possui uma considerável redução de DBO₅ (43 mg/L) e também de DQO, porém continuando razoavelmente alto (535 mg/L). A quantidade de fósforo total do efluente após o reator biológico foi de 18 mg/L, continuando acima do limite permissível da legislação vigente, que é de 1 mg/L. Os resultados das análises físico-químicas encontram-se na **Tabela 3.28**.

Com o efluente C foram feitos três ensaios com as seguintes etapas do tratamento: bruto, após o físico-químico (clarificado com PAC) e após o reator biológico. O resultado se encontra na **Tabela 3.27**.

Tabela 3.27 Resultado dos ensaios agudos com os efluentes da indústria petroquímica C

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 15 (efluente bruto)	0,17%	2,36%
Ensaio 16 (efluente clarificado)	16,29%	32,99%
Ensaio 17 (efluente tratado)	25%	NT

NT- Não tóxico

O efluente bruto se apresentou muito tóxico para os dois organismos-teste. Nesse sentido, os dois organismos apresentaram sensibilidade semelhante, apesar da *Daphnia similis* ter respondido de maneira levemente mais sensível, pois apresentou CE(I)50;48h igual a 0,17% e o *Danio rerio* apresentou a CL(I)50;48h igual a 2,36%. Vale ressaltar que no final do ensaio 15 com o peixe, o oxigênio dissolvido apresentou valores muito baixos (em torno de 2,0 mg/L de O₂).

A amostra 15 do efluente da mesma indústria após o físico-químico continuou sendo mais tóxico para *Daphnia similis* com CE(I)50;48h igual a 16,29%, considerada ainda como muito tóxico pela CETESB, (1987c). Já com o *Danio rerio*, o resultado apresentou CL(I)50;48h igual a 32,99%, sendo considerado moderadamente tóxico. Apesar dessa amostra ter apresentando mais ecotoxicidade à *Daphnia similis*, mais uma vez o oxigênio dissolvido no final do ensaio com o *Danio rerio* apareceu com valores muito baixos, o que não aconteceu no ensaio com *Daphnia similis*. O ensaio 17 com o efluente após o reator biológico, apresentou

ecotoxicidade a *Daphnia similis* com a CE(I)50;48h igual a 25 %, porém, o mesmo ensaio com o peixe, não houve letalidade ao mesmo, mesmo havendo concentrações baixas de OD nos béqueres de ensaio.

Apesar do tratamento acima referido, o efluente continuou sendo classificado como moderadamente tóxico a *Daphnia similis*, sendo que a DQO continuou alta mesmo depois de tratado o efluente (536 mg/L de O₂), podendo se encontrar ali, alguma substância muito tóxica que faz parte do processo da indústria C, a qual como já foi dito, fabrica lubrificantes. Por questão de tempo, esta substância não pôde ser identificada neste trabalho. Porém, conforme informações da própria indústria, pode se tratar de mistura de solventes clorados, por isso solúvel, não tóxico aos microrganismos do reator do lodo ativado, mas que pode ter causado ecotoxicidade aos organismos. A **Figura 3.3** ilustra a ecotoxicidade relativa desses efluentes aos dois organismos.

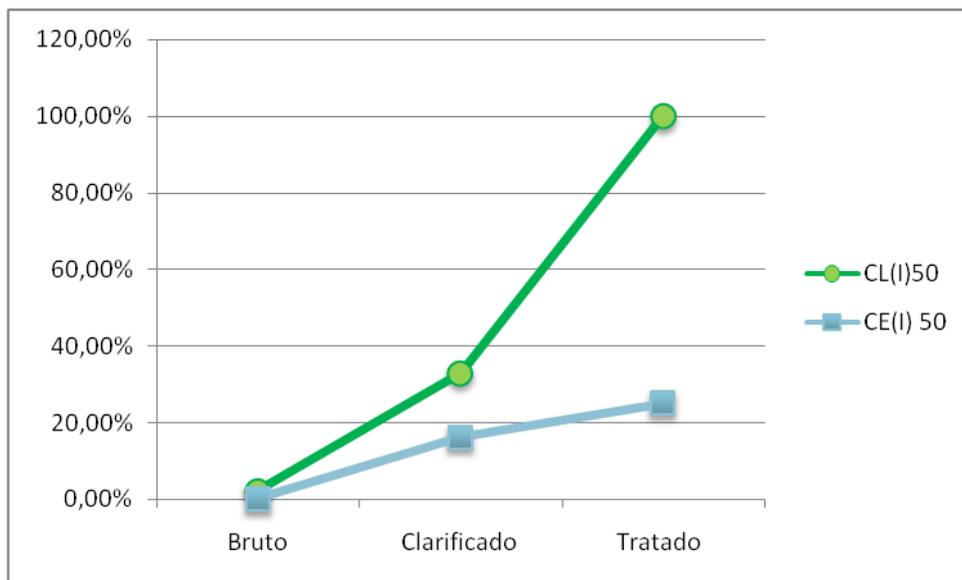


Figura 3.3 Comparação da sensibilidade de *Daphnia similis* e *Danio rerio* aos efluentes da indústria petroquímica C

Tabela 3.28 Análises físico-químicas das etapas de tratamento da indústria petroquímica C. Ensaios 15, 16 e 17

	(Ensaio 15) Efluente bruto	(Ensaio 16) Efluente clarificado	(Ensaio 17) Efluente Tratado	NT-202 R10	DZ 205 R06
DBO ₅ mg/L de O ₂	657	770	43		
DQO mg/L de O ₂	3489	2934	535	-	250
Fósforo Total mg/L de P	23,5	8,24	18	1	-
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	1,80	0,47	0,72	20	-
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L			14		
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L					

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 15	7,90 – 8,17	5,7 – 8,04	0%	8,27-10,22	1,81-2,80	0%
Ensaio 16	7,34 – 7,80	6,90 – 7,65	0%	7,17-7,72	1,71-4,57	0%
Ensaio 17	7,46 – 7,70	3,32 – 7,28	0%	7,12-7,98	2,75-3,30	0%

OD – Oxigênio dissolvido

A **Tabela 3.29** mostra que, apesar do efluente tratado da indústria C continuar muito tóxico ao organismo *Daphnia similis*, foi removido 99% da ecotoxicidade do efluente bruto para o clarificado e do bruto para o tratado, demonstrando já ser uma redução significativa.

Tabela 3.29 Redução de ecotoxicidade para *Daphnia similis* com o tratamento do efluente C

Bruto-Clarificado	99,00%
Clarificado-Tratado	35%
Bruto-Tratado	99%

Com relação à redução de ecotoxicidade do efluente C com o organismo *Danio rerio*, também houve uma grande redução do bruto para o clarificado (93%) e do bruto para o tratado (100%), conseguindo alcançar portanto, a redução total de ecotoxicidade para esse organismo.

Tabela 3.30 Redução de ecotoxicidade para *Danio rerio* com o tratamento do efluente C

Bruto-Clarificado	93,00%
Clarificado-Tratado	35%
Bruto-Tratado	100%

3.3.7. Chorumes provenientes de aterros sanitários

3.3.7.1. Chorume do aterro sanitário de São Paulo

A **Figura 3.4** mostra o chorume do aterro sanitário de São Paulo nas três etapas que foram realizados os ensaios: bruto, clarificado e após o tratamento biológico.



Figura 3.4 Chorume de São Paulo (Bruto-Clarificado-Após Tratamento Biológico)

Na **Tabela 3.31** encontram-se os resultados dos ensaios ecotoxicológicos realizados com o chorume do aterro sanitário de São Paulo.

Tabela 3.31 Resultados dos ensaios agudos do chorume do aterro sanitário de São Paulo

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 18 (chorume bruto)	1,88%	0,45%
Ensaio 19 (chorume clarificado)	10,11%	4,47%
Ensaio 20 (chorume tratado)	12,07%	17,68%

Como mostra a **Tabela 3.31**, os dois organismos apresentaram sensibilidade próxima com relação ao chorume do aterro sanitário de São Paulo. Todos os efluentes tanto brutos, quanto clarificados e tratados, são classificados como sendo muito tóxicos.

A **Figura 3.5** apresenta a sensibilidade de *Danio rerio*, apresentado como CL(I)50 e a sensibilidade de *Daphnia similis* apresentado como CE(I)50. Essa figura mostra que a *Daphnia similis* demonstrou maior sensibilidade do que o *Danio rerio*, porém essa diferença não foi muito significativa.

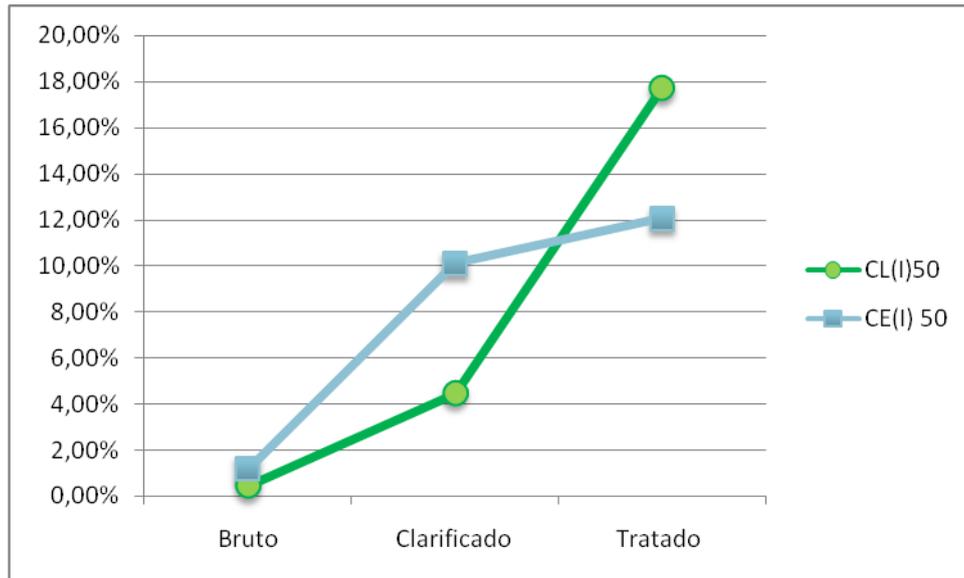


Figura 3.5 Sensibilidade de *Danio rerio* e *Daphnia similis* ao chorume do aterro sanitário de São Paulo

As Tabelas 3.32, 3.33 e 3.34 apresentam as análises físico-químicas do chorume bruto, clarificado e tratado respectivamente com o chorume do aterro sanitário de São Paulo.

Tabela 3.32 Análise físico-química do ensaio 18 com o chorume bruto do aterro sanitário de São Paulo

	Bruto
Alcalinidade Total, mg/L de CaCO ₃	9005
Boro, mg/L	15,6
Cálcio, mg/L	72915
Cloreto, mg/L	4.411
Condutividade a 25°C, µS/cm	32000
Cor	11746
DBO ₅ , mg/L de O ₂	571
DQO, mg/L de O ₂	4708
Magnésio, mg/L	125
Nitrogênio Kjeldhal, mg/L de N	1757
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	1335
pH (cor)	8,32
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	12132
Sulfato, mg/L de SO ₄ ²⁻	183
Zinco, mg/L	0,592

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 18	7.93-8.36	5.63-6.71	0%	7.27-8.09	3.43-5.02	0%

OD – Oxigênio dissolvido

É importante chamar a atenção para alta condutividade desse chorume bruto, que é de 32000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Além da alta concentração de matéria orgânica medida indiretamente como DQO (4708 mg/L de O_2) e nitrogênio amoniacal (1335 mg/L) como mostra a **Tabela 3.32**.

Tabela 3.33 Análise físico-química do ensaio 19 com o chorume clarificado do aterro sanitário de São Paulo

	Clarificado 1	Clarificado 2	Clarificado 3			
Alcalinidade Total, mg/L de CaCO_3	6549	6077	5801			
Condutividade a 25°C, $\mu\text{S}/\text{cm}$	13230	11420	14350			
Cor	3349	3310				
DQO, mg/L de O_2	2682	2584				
Dureza Cálcio, mg/L	13	10				
Magnésio, mg/L	1,602	<1,5	1,636			
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	1274	1338				
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 19	7,95-8,43	5,71-7,71	0%	7,34-7,62	5,98-6,67	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.34 Análise físico-química do ensaio 20 com o chorume tratado do aterro sanitário de São Paulo

	Tratado					
Alcalinidade Total, mg/L	682					
Cloreto, mg/L	2702					
Condutividade a 25°C, $\mu\text{S}/\text{cm}$	13190					
Cor	3055					
DBO ₅ , mg/L de O_2	8					
DQO, mg/L de O_2	1509					
Dureza (Cálcio), mg/L	2704					
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	3,34					
Nitrato, mg/L de NO_4^2	57240					
pH (cor)	8,26					
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	36					
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	24					
Sulfato, mg/L de SO_4^2	86					
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 20	6,38-7,39	6,78-7,45	0%	6,46-7,33	5,0-7,23	0%

OD – Oxigênio dissolvido

A **Tabela 3.34** já demonstra uma grande diminuição da condutividade (13190 $\mu\text{S}/\text{cm}$), da DQO (1509 mg/L de O_2) e do nitrogênio amoniacal (3.34 mg/L).

A condutividade do chorume bruto do aterro sanitário de São Paulo era de 32.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Tabela 3.32**), passando a 13190 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no tratado (**Tabela 3.34**). Mesmo com essa significativa diminuição na condutividade, essa continua alta considerando que os organismos são dulcícolas. A DQO também se encontra bastante reduzida no efluente tratado final (1509 mg/L em O_2) porém ainda alta, podendo ser uma das causas da grande ecotoxicidade do efluente. O nitrogênio amoniacal encontra-se muito baixo no efluente tratado: 3,34 mg N- NH_3/L , porém, o efluente continua sendo muito tóxico. Lembrando que Silva (2002) ressaltou anteriormente que não se pode atribuir à amônia, isoladamente, a causa da ecotoxicidade do efluente e que a ecotoxicidade do chorume tem sido pouco correlacionada com a concentração de amônia e a DQO, no entanto, a remoção conjunta destes dois parâmetros parece reduzir a ecotoxicidade do chorume. Em acordo com Silva (2002), a redução desses dois parâmetros acompanhou também a redução da ecotoxicidade do chorume de São Paulo aos dois organismos.

3.3.7.2. Chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro

A **Figura 3.4** mostra o chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro nas três etapas em que foram realizados os ensaios: bruto, clarificado e após o tratamento biológico (tratado).



Figura 3.6 Chorume do Rio de Janeiro (Bruto-Clarificado-Depois Tratamento Biológico)

Na **Tabela 3.35** encontram-se os resultados dos ensaios ecotoxicológicos realizados com o chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro.

Tabela 3.35 Resultados dos ensaios agudos do chorume do aterro sanitário de Rio de Janeiro

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 21 (chorume bruto)	2,24%	2,24%
Ensaio 22 (chorume clarificado)	22,53%	18,95%
Ensaio 23 (chorume tratado)	35,36%	25,00%

Os dois organismos apresentaram sensibilidade muito semelhante ao chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro, o qual se apresentou muito tóxico quando bruto, com CE(I)50;48h e CL(I)50;48h igual a 2,24%. O efluente tratado mostrou-se moderadamente tóxico tanto para a *Daphnia similis* quanto para o *Danio rerio*.

Esses resultados estão de acordo com os resultados de Silva (2002) que também encontrou ecotoxicidade semelhante para *Danio rerio* com CL(I)50;48h igual a 2,24% e para *Daphnia similis* com CE(I)50;48h entre 2,04% e 2,26% com o chorume bruto desse mesmo aterro sanitário (Rio de Janeiro). Já para o efluente clarificado, Silva (2002) encontrou resultados de ecotoxicidade com *Daphnia similis* diferentes do presente estudo, com CE(I)50;48h igual a 6,42% e 2,78%, contrastando com os resultados encontrados no presente estudo, em que a CE(I)50;48h foi igual a 22,53%. O mesmo ocorre com o *Danio rerio*, pois Silva (2002) encontrou valores de CL(I)50;48h para o chorume clarificado igual a 7,07% , contrastando mais uma vez com o presente estudo onde foi encontrado CL(I)50;48h igual a 18,95%.

Silva (2002) ao tratar o chorume com ozônio a 3g O₃/L conseguiu chegar ao valor de CL(I)50;48h igual a 15,87% e CE(I)50;48h igual a 4,46%, mostrando-se ainda mais tóxico que os resultados encontrados no presente estudo com o chorume tratado por lodos ativados, em que a CL(I)50;48h foi igual a 25% e a CE(I)50;48h foi igual e 35%.

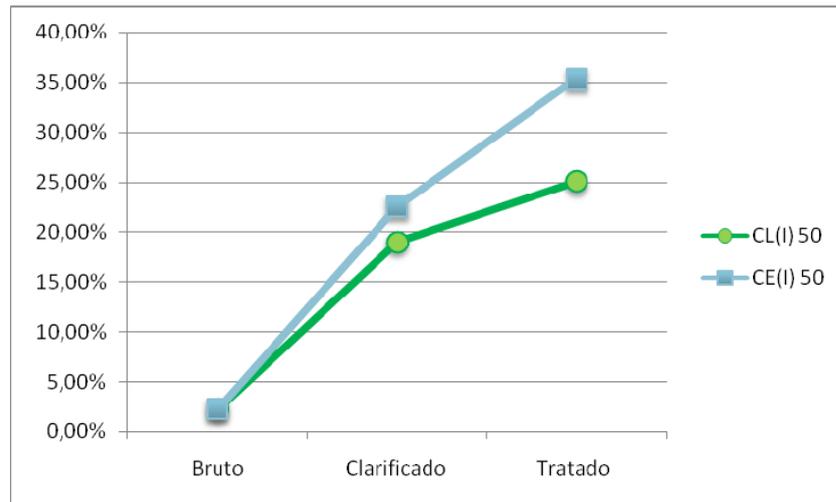


Figura 3.7 Sensibilidade de *Danio rerio* e de *Daphnia similis* ao chorume de Rio de Janeiro

A **Figura 3.6** mostra a sensibilidade dos dois organismos as três etapas de tratamento: bruto, clarificado e tratado (tratamento biológico com lodos ativados) em que os dois organismos apresentaram sensibilidade semelhante, apesar do organismo *Danio rerio* apresentar-se um pouco mais sensível ao chorume tratado.

A **Tabela 3.36** mostra a redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro para o organismo *Daphnia similis*.

Tabela 3.36 Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro para *Daphnia similis*

	<i>Daphnia similis</i> CE(I)50;48h
Bruto-Clarificado	90%
Clarificado-Tratado	37%
Bruto-Tratado	93,75%

O tratamento com clarificação seguido de *stripping* se demonstrou bastante eficiente na redução de ecotoxicidade com relação ao bruto, apresentando uma redução de ecotoxicidade em torno de 90% para os dois organismos em questão. Porém, o tratamento biológico, não contribuiu de forma significativa para a redução de ecotoxicidade, reduzindo apenas 25% para *Daphnia similis* e 37% para *Danio rerio* levando em consideração apenas a redução do clarificado para o tratado como mostram as **Tabelas 3.36 e 3.37**.

Tabela 3.37 Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro para *Danio rerio*

	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Bruto-Clarificado	88%
Clarificado-Tratado	25%
Bruto-Tratado	91%

A **Tabela 3.38** apresenta as análises físico-químicas do chorume bruto, clarificado e tratado com o chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro

Tabela 3.38 Análises físico-químicas dos ensaios de cada etapa de tratamento do chorume do aterro sanitário do Rio de Janeiro (ensaios 21, 22 e 23)

	Ensaio 21 (Chorume Bruto)	Ensaio 22 (Chorume Primário)	Ensaio 23 (Chorume Secundário)
Cálcio, mg/L	302	24	136
Cloreto, mg/L	4240		
Condutividade a 25°C	28200	15620	2400
DBO ₅ , mg/L de O ₂	203	119	95
Detergente, mg/L			
DQO, mg/L de O ₂	3085	2046	1582
Nitrogênio Amoniacal, mg/L	1582	818	20
Fósforo Total, mg/L			14
Materiais Sedimentáveis, mL/L			<0,5
Óleos e Graxas Totais, mg/L			<6
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L			158
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L			113

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 21	7,90-8,38	6,51-7,02	0%	7,90-8,38	6,51-7,02	0%
Ensaio 22	7,38-8,29	5,10-6,90	0%	6,96-7,32	5,80-6,35	0%
Ensaio 23	6,26-8,16	6,55-7,0	0%	7,78-8,26	4,09-5,25	0%

OD – Oxigênio dissolvido

O chorume do Rio de Janeiro apresentou uma grande redução de condutividade que passou de 28200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no bruto, para 15620 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no clarificado e 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no tratado (**Tabela 3.38**). Acredita-se que a grande redução de condutividade e nitrogênio amoniacal tenha contribuído fortemente para a redução da ecotoxicidade dos chorume tratado do Rio de Janeiro aos organismos do presente estudo.

3.3.7.3. Chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul

A **Figura 3.4** mostra o chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul nas três etapas em que foram realizados os ensaios: bruto, clarificado e após o tratamento biológico (tratado).



Figura 3.8 Chorume de Rio Grande do Sul (Bruto-Clarificado-Após Tratamento Biológico)

Na **Tabela 3.35** encontram-se os resultados dos ensaios ecotoxicológicos realizados com o chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul.

Tabela 3.39 Resultado dos ensaios agudos com o chorume de Rio Grande do Sul

	<i>Daphnia similis</i> CE (I) 50;48h	<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h
Ensaio 24 (chorume bruto)	1,88%	1,18%
Ensaio 25 (chorume clarificado)	5,94%	3,93%
Ensaio 26 (chorume tratado)	72,37%	39,91%

Como pode ser observado o chorume de Rio Grande do Sul também se apresentou extremamente tóxico aos dois organismos, principalmente o bruto e o clarificado. Porém, o ensaio com o chorume tratado apresentou uma drástica redução de ecotoxicidade, principalmente à *Daphnia similis*.

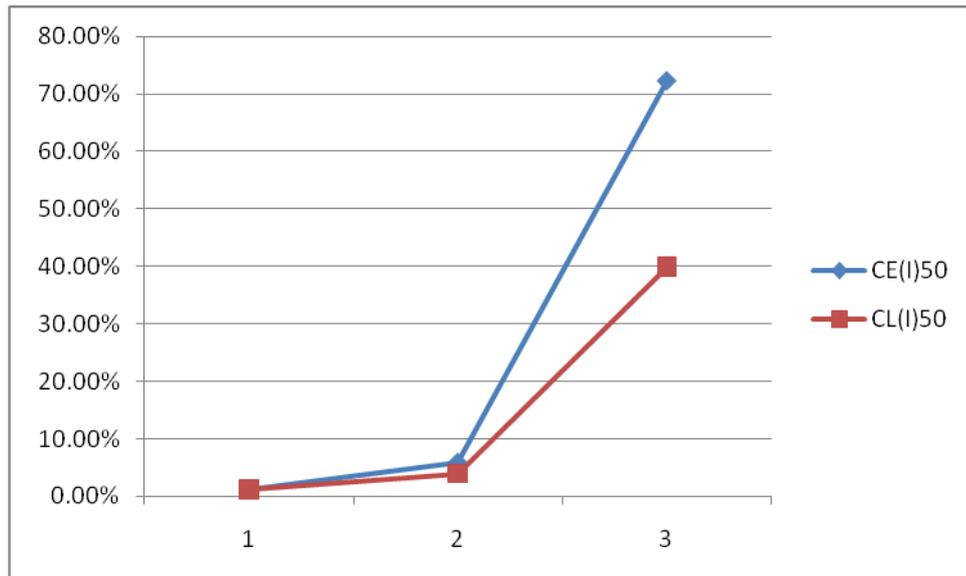


Figura 3.9 Sensibilidade de *Daphnia similis* e *Danio rerio* com o chorume de Rio Grande do Sul

Pela **Figura 3.9** pode-se observar que a sensibilidade dos dois organismos encontrava-se parecida até o chorume clarificado, porém, o chorume tratado desse aterro, apresentou uma grande redução de ecotoxicidade principalmente ao organismo *Daphnia similis* com CE(I)50;48h igual a 72,37%, em contraste com a resposta do peixe *Danio rerio* com CL(I)50;48h igual a 39,91%, que também apresentou grande redução de ecotoxicidade, porém menos que a *Daphnia similis*.

Tabela 3.40 Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul para *Daphnia similis*

	<i>Daphnia similis</i> CE(I)50;48h
Bruto-Clarificado	68,40%
Clarificado-Tratado	92%
Bruto-Tratado	98%

Tabela 3.41 Redução de ecotoxicidade do chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul para *Danio rerio*

<i>Danio rerio</i> CL(I)50;48h	
Bruto-Clarificado	70,00%
Clarificado-Tratado	90%
Bruto-Tratado	98%

Como já foi comentado anteriormente, as **Tabelas 3.40 e 3.41** mostram a grande redução de ecotoxicidade apresentada com o tratamento do chorume de Rio Grande do Sul que foi em torno de 98% do bruto para o tratado. O tratamento clarificado se demonstrou relativamente eficiente, pois conseguiu reduzir em torno de 90% da ecotoxicidade deste chorume bruto aos dois organismos do presente estudo.

As **Tabelas 3.42, 3.43 e 3.44** apresentam as análises físico-químicas do chorume bruto, clarificado e tratado respectivamente com o chorume do aterro sanitário de Rio Grande do Sul.

Tabela 3.42 Análise físico-química do ensaio 24 com o chorume bruto do aterro sanitário do Rio Grande do Sul

Chorume Bruto	
Alcalinidade Total, mg/L	5117
Cálcio, mg/L	85
Cloreto, mg/L	1862
Condutividade a 25°C	16650
Cor, mg/L em Pt - Co	11952
DBO ₅ , mg/L de O ₂	<3
DQO, mg/L de O ₂	14569
Magnésio, mg/L	<1,5
Nitrogênio Kjeldhal, mg/L de N	1234
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	1234
pH (cor)	7,75
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	7818
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	304
Zinco, mg/L	0,08

	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Variação de pH nos tubos	Variação de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Variação de pH nos béqueres	Variação de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 24	5,98-6,37	7,04-8,65	0%	4,01-5,82	7,14-8,03	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Alguns parâmetros do chorume bruto do aterro sanitário do Rio Grande do Sul se encontraram em grandes concentrações e por isso são importantes serem ressaltados, como a

condutividade (16550 $\mu\text{S/cm}$), DQO (14569 mg/L de O_2) e nitrogênio amoniacal (1234 mg/L).

Tabela 3.43 Análise físico-química do ensaio 25 com o chorume clarificado do aterro sanitário do Rio Grande do Sul

	Clarificado 1	Clarificado 2	Clarificado 3			
Alcalinidade Total, mg/L	4094	2249	2286			
Condutividade a 25°C	12720	11790	9650			
Cor	652	696				
DQO, mg/L de O_2	789	671				
Dureza (Ca), mg/L	295	14				
Magnésio, mg/L	1636	<1,5	<1,5			
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	803	421				
pH a 25°C	9,97	12,95	12,81			
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 25	7.41-8.81	6.02-7.58	0%	7.40-7.76	5.44-6.02	0%

OD – Oxigênio dissolvido

Tabela 3.44 Análise físico-química do ensaio 26 com o chorume tratado do aterro sanitário do Rio Grande do Sul

	Chorume Tratado					
Alcalinidade Total, mg/L	484					
Cloreto, mg/L	1950					
Condutividade, mg/L a 25°C	10250					
Cor	1674					
DBO ₅ , mg/L de O_2	26					
DQO, mg/L de O_2	661					
Dureza (Cálcio), mg/L	32					
Nitrogênio Amoniacal, mg/L de N	10101					
Nitrato, mg/L	272					
pH (cor)	7,53					
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	109					
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	75					
	<i>Daphnia similis</i>			<i>Danio rerio</i>		
	Varição de pH nos tubos	Varição de OD nos tubos	Porcentagem de imobilidade no controle	Varição de pH nos béqueres	Varição de OD nos béqueres	Porcentagem de letalidade no controle
Ensaio 22	7.36-8.48	5.8-6.84	0%	7.28-7.32	5.0-6.33	0%

OD- Oxigênio dissolvido

Já o chorume tratado do Rio Grande do Sul apresentou redução de condutividade (10250 $\mu\text{S/cm}$), DQO (661 mg/L de O_2) e nitrogênio amoniacal (10101 mg/L).

A redução das concentrações acima mencionadas tem grande relação com a grande redução de ecotoxicidade apresentada por este chorume, principalmente ao organismo *Daphnia similis*. Pois o chorume tratado apresentou uma baixa concentração de nitrogênio amoniacal no tratado em relação ao bruto, que era 1234 mg/L de N no bruto, passando para 10 mg/L de N no tratado. Com relação à condutividade, houve uma diminuição, porém não significativa, passando de 16550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a apenas 10550 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A grande redução da DQO também pode ter contribuído para a redução de ecotoxicidade passando de 14569 mg/L de O_2 no bruto para 661 mg/L de O_2 no tratado.

3.3.7.4. Resultados comparativos da ecotoxicidade dos chorumes

A **Figura 3.10** mostra resumidamente a ecotoxicidade comparativa da *Daphnia similis* aos três chorumes em estudo (São Paulo, Rio de Janeiro, e Rio Grande do Sul).

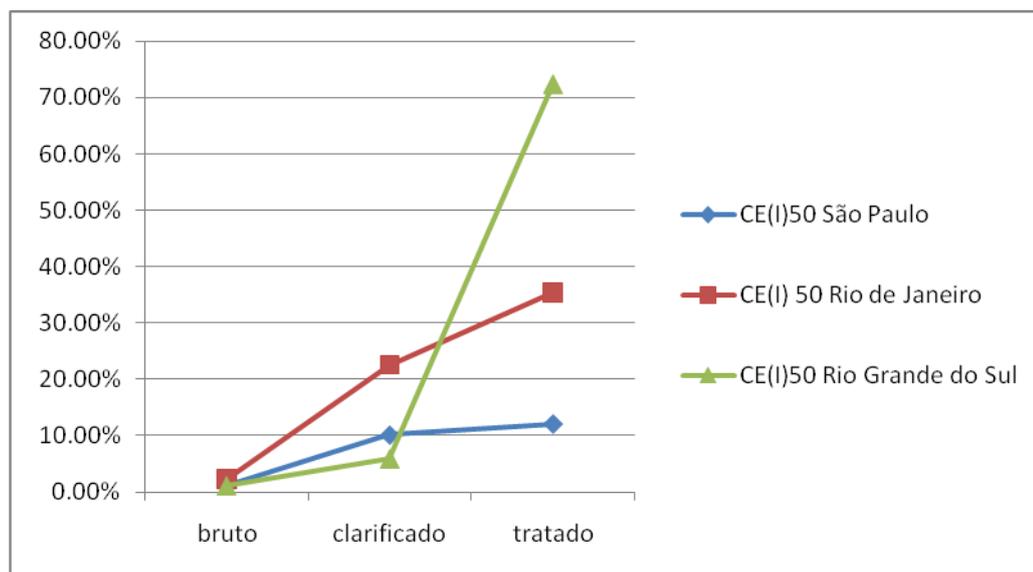


Figura 3.10 Sensibilidade de *Daphnia similis* aos três chorumes

Segundo a **Figura 3.10**, pode-se observar que os três chorume brutos apresentaram ecotoxicidade semelhante a *Daphnia similis*, que variou de (1,88% - 2,24%). O chorume tratado de São Paulo foi o que se apresentou como sendo o mais tóxico e o de Rio Grande do Sul o menos tóxico para este organismo. De todos os chorumes, a *Daphnia similis* demonstrou menor sensibilidade ao chorume tratado de Rio Grande do Sul.

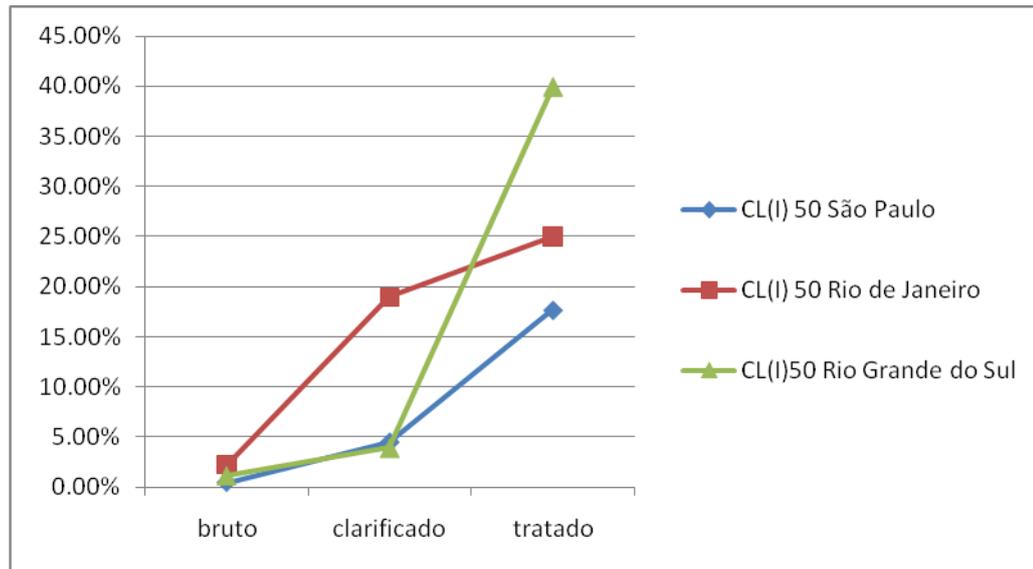


Figura 3.11 Sensibilidade de *Danio rerio* aos três chorumes

Já a **Figura 3.11** mostra de forma resumida a ecotoxicidade comparativa do *Danio rerio* aos três chorumes em estudo (São Paulo, Rio de Janeiro, e Rio Grande do Sul). Segundo esta figura, os ensaios com os chorumes brutos também apresentaram ecotoxicidade semelhante as quais ficaram em torno de 0,45% a 2,24%. O tratamento do chorume de Rio Grande do Sul também foi o que conseguiu resultado mais expressivo com relação à ecotoxicidade ao *Danio rerio*, com CL(I)50;48h passando de 1,18% do bruto a 39,91% do tratado. Além disso, esse mesmo chorume tratado em questão possui a menor concentração de DQO (661 mg/L em O₂), contra a DQO do Rio de Janeiro de 1582 mg/L em O₂, e 1509 mg/L em O₂ do chorume de São Paulo. De certa forma, a **Figura 3.11** não se apresentou muito diferente da **Figura 3.10** com o organismo *Daphnia similis* no que se refere à sua forma, porém, os dois organismos divergiram quanto à sensibilidade principalmente com relação ao tratado de Rio Grande do Sul.

4. CONCLUSÕES

A implantação do método de ensaio com *Daphnia similis* foi realizado de acordo com os critérios da norma ABNT NBR 12713 (ABNT, 2009) tendo a sensibilidade da *Daphnia similis* registrada em carta-controle, com média de 596,15 mg/L de KCl. Porém, não se sabe se a sensibilidade deste organismo está compatível com outros trabalhos, até mesmo porque o uso do cloreto de potássio (KCl) ainda é relativamente recente comparando-o a outras substâncias de referência como dicromato de potássio.

Com relação aos efluentes da indústria alimentícia, bebidas, farmacêutica e papel, não foi encontrada ecotoxicidade aguda a nenhum dos dois organismos testados.

O efluente proveniente de processos metalúrgicos precisa de um tratamento mais eficaz, principalmente com relação à remoção de diversos metais. Recomenda-se a utilização não só do organismo *Danio rerio*, mas principalmente de *Daphnia similis* para o monitoramento desse efluente, pois, como ficou evidenciado no presente estudo, esta espécie se demonstrou mais sensível que o *Danio rerio*.

Com relação aos efluentes petroquímicos, não foi possível evidenciar um organismo mais sensível ao processo de tratamento, pois para a indústria petroquímica A o peixe *Danio rerio* apresentou maior sensibilidade. Já para o efluente da indústria petroquímica C, a *Daphnia similis* demonstrou-se mais sensível. Para a indústria C, recomenda-se fazer correções no tratamento do seu efluente, pois mesmo tendo sido eficaz na remoção de ecotoxicidade ao *Danio rerio*, ainda apresentou grande ecotoxicidade a *Daphnia similis* e valor de DQO elevado (536 mg/L de O₂).

Sobre os efluentes provenientes de aterro sanitário, o chorume de São Paulo, de uma maneira em geral, se apresentou como sendo o mais tóxico dos três aterros sanitários em estudo. E o chorume tratado de Rio Grande do Sul demonstrou-se ser o menos tóxico dos três aterros, principalmente com relação à *Daphnia similis*. Embora, a ecotoxicidade de efluentes nem sempre esteja relacionada com os teores de substâncias presentes, é possível supor que, talvez por possuir o menor valor de DQO (661 mg/L de O₂), esse chorume tenha apresentado a menor ecotoxicidade, apesar da condutividade continuar relativamente alta (10250 µS/cm).

Os efluentes que se encontraram dentro dos limites da legislação (DZ 205 e NT 202), não apresentaram ecotoxicidade aos organismos em estudo, com exceção da indústria petroquímica A em que mesmos os efluentes se encontrando dentro dos limites permissíveis apresentaram, na sua maioria, ecotoxicidade.

Com relação a NT 213/90 R04 do Rio de Janeiro, o único efluente considerado tóxico por essa norma, seria o efluente tratado da indústria petroquímica A (ensaio 12), em que a UT para o peixe (igual a 16) se encontrou acima do permitido, que é ≤ 8 . Porém, se a utilização da *Daphnia similis* estivesse prevista nessa norma com o mesmo limite de UT ≤ 8 , além do efluente da indústria petroquímica A (ensaio 12), outro efluente também se enquadraria como tóxico, que é o efluente da indústria metalúrgica (ensaio 10), ambos com UT igual a 16.

5. RECOMENDAÇÕES

Considerando que os ensaios realizados com *Daphnia similis* e *Danio rerio* são destinados à determinação da ecotoxicidade aguda das águas, e que muitas das amostras não apresentaram efeito tóxico ao nível de detecção do método aplicado, recomenda-se a aplicação de ensaios mais sensíveis que permitam detectar o efeito a níveis subletais, como por exemplo, ensaios crônicos com *Ceriodaphnia dubia*.

Com relação aos limites de DQO para a indústria petroquímica A, propõe-se abaixar o limite de 250 mg/ L de O₂, visto que o mesmo não foi suficiente para não causar ecotoxicidade aos organismos em estudo de acordo com os resultados da indústria petroquímica A.

Propõe-se no presente estudo que o limite de ecotoxicidade do Rio de Janeiro seja relacionado com a ecotoxicidade de cada efluente como a portaria 017/02 de Santa Catarina.

Torna-se imprescindível que se estimule estudos de levantamento de vazões de efluente e do corpo receptor, para melhor estimar os efeitos de diluição, assim como é exigido pela legislação de São Paulo (SMA 03/00), em que o Q_{7,10} do corpo receptor é levado em conta.

Ainda sobre a NT 213/90 do Rio de Janeiro, percebe-se que ela é muito pouco restritiva com relação a limite de ecotoxicidade ($UT \geq 8$) e com relação aos organismos a serem utilizados no monitoramento, pois como foi exposto no trabalho, os organismos podem apresentar sensibilidade diferentes a alguns efluentes, e a escolha do organismo mais sensível dependendo do efluente (ou até mesmo o uso de no mínimo dois organismos) parece ser uma saída mais razoável.

Ensaio de *Daphnia similis* deveriam ser utilizados como critério de avaliação de efluentes no estado do Rio de Janeiro, uma vez que este organismo apresentou maior sensibilidade que o peixe *Danio rerio* a alguns efluentes.

Como ensaios ecotoxicológicos agudos visam a detectar efeitos severos em uma comunidade ecológica, acaba apresentando respostas tardias, quando o efluente muitas vezes já está causando morte aos organismos. Nesse sentido, monitoramento de biomarcadores no efluente apresenta mais uma alternativa a ser utilizada em conjunto com ensaios biológicos, por possuir a vantagem de possibilitar a detecção de exposições potencialmente tóxicas bem antes que efeitos adversos possam ocorrer.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 21 st Ed. American Public Health Association, Washington, D. C. 2005
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) *NBR 12713 Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda: Método de ensaio com Daphnia sp* (Cladorcera, Crustácea). Rio de Janeiro. 2009. 23p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) *NBR 15088 Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda : Método de ensaio com peixes*. Rio de Janeiro. 2006. 19p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) *NBR 12648 Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas* (Chlorophyceae) Rio de Janeiro. 2005. 24p
- BARNES, R. D. *Zoologia dos Invertebrados*. 4º Ed. São Paulo: Livraria Roca Ltda. 1984. 1179 p.
- BERTOLETTI, E. *Toxicidade e concentração de agentes tóxicos em efluentes industriais na grande São Paulo*. Ciência e Cultura. São Paulo, 1990.
- BIRGE, W. J.; BLACK, J. A. WESTERMAN, A. G. Short-term fish and amphibian tests for determining the effects of toxicant stress on early life stages and estimating chronic vales for single compounds and complex effluents. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 49:807-821. 1985.
- BRAGA, B. *Introdução à Engenharia Ambiental*, 2ª Ed. São Paulo: Pearson, 2005.
- BRUNGS, W. A. *et al*. Effects of pollution on freshwater fish. *Journal Water Pollution Control Federation*:.p:1425-1493, Jun. 1977.
- BUIKEMA JR., A. L.; LEE, D. R.; CAIRNS JR., J. A screening bioassay using *Daphnia pulex* for refinery wastes discharged into freshwater. *J. test. Eval*, 4 (2): 119-25, 1976.
- BUIKEMA, A. L, Jr.; SHERBERGER, S. R. *Daphnia. Carolina Tips*. Vol. XL nº 10 – Carolina Biological Supply Company, ISSN 0045-5865. 1977
- BUIKEMA, A. L. Jr.; GEIGER, J. G.; LEE, D.R.; *Daphnia toxicity test – Aquatic Invertebrate bioassays*, ASTM STP 715. Buikemia, A. L. Jr: Cairns, J. J. (eds.) American Society and Testing Materials. Philadelphia, Pennsylvania, p.48-69. 1980
- BURATINI, S. V.; BERTOLETTI, E.; ZAGGATO, P.A.. Evaluation of *Daphnia similis* as tests species in ecotoxicological assays. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 73: 878 -882. 2004.

BURATINI, S.V. 2002. A utilização do cloreto de potássio como substância de referência no controle da sensibilidade das culturas de *Daphnia similis*. Resumos VII ECOTOX Vitória. ES.

CALAMARI, D. *et al.* Influence of water hardness on cadmium toxicity to *Salmo gairdneri* Rich. *Water res.* Vol. 14, 1441-1426. 1980.

CARNIATO, J, G; GERALDO, S, M; PELEGRINI, N, N, B; PATERNIANI, J, E, S; PELEGRINI, R, T. Revista Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 4, n.2, p. 092-101. Jul/Dez 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Programa Bioensaios. Relatório de Atividades.* 1980. São Paulo. CETESB, 1980. 55p e anexos. Relatório Técnico.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Avaliação da toxicidade das águas, sedimentos dos rios e efluentes industriais da região de Cubatão.* São Paulo, CETESB. 1986. 136p. Relatório Técnico.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB)a *Avaliação de toxicidade de efluentes líquidos de algumas indústrias localizadas na bacia do rio Piracicaba.* CETESB. 1987. 8p. Relatório Técnico.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB)b. *Avaliação de toxicidade de despejos industriais na região da Grande São Paulo.* São Paulo, CETESB, 1987. 92p. Relatório Técnico.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB)c. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aplicação de microrganismo e culturas celulares na avaliação da toxicidade de efluentes industriais na região da grande São Paulo, CETESB. 1987 - 146p. Relatório Final.

COMISSÃO PERMANENTE DE NORMALIZAÇÃO TÉCNICA – PRONOL. *NT – 213.R-4: Critérios e Padrões para Controle da Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais.* Rio de Janeiro: 1990. p. 07.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17/03/2005. Brasília/DF. Diário Oficial da União, nº53, de 18 de março de 2005. P. 58-63. 2005

COSTAN, G.; BERMINGHAM, N.; BLAISE, G.; FERARD, J. F. Potencial Exotoxic Effects Prob (PEEP): a novel index to assess and compare the toxic potencial of industrial effluents. *Environmental Toxicology and Water Quality: an International Journal*, vol. 8. 1993.

COONEY, J. D.. Freshwater tests: *Fundamentals of aquatic toxicology.* In. Rand. 2th ed. Ed. G. M. 1995. 1125p.

EUROPEAN COMMUNITY. Council directive 99/31/EC of 26 april 1999 on the landfill of waste. Official Journal of European Union, Brussels, Belgium, 16.07.1999, L 182.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. Limites Máximos de Toxicidade Aguda para Efluentes de Diferentes Origens. Portaria n° 017/02 de 18 de abril de 2002.

GALVÃO FILHO, J. B. Treatability studies and toxicity reduction in pulp Mill effluents. São Paulo, 1987. 11p.

GERARD-GOLDSTEIN, E. Testes de Toxicidade de Efluentes Industriais. *Revista Ambiente*. São Paulo, SP. Vol.2. N° 1. 1988.

GIORDANO, G. Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos. 257 pg. Tese de Doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC). Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. Rio de Janeiro, 2003

GIORDANO, G. Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando eletrolítico para o tratamento de esgoto. 113 pg. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambiental – Universidade federal Fluminense (UFF). Niterói, 1999.

HAMILTON, M. A; RUSSO, R. C; THURSTON, R. V. 1977. Trimmed Spearman – Karber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. *Envirion. Scien. Technol.* V.11, n.7, p 714-719. Correction: V12, n.4; p 417; 1978.

HISAOKA, K, K.; FIRLIT, C. F. Ovarian cycle and egg production in the zebrafish, *Danio rerio*. *Copeia*, n° 4, 788-792. 1962.

HUANG, V. DIYAMANDOGLU, V. FILLOS, J. “Ozonation of leachates from aged domestic landfill”, *Ozone Science; Engineering*, vol. 15, pp. 433–444, 1993.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. *Manual de métodos para avaliação de toxicidade*. Curitiba: IAP, 1997. p. 101.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. *Procedimento técnico para determinação de metais*. Curitiba: IAP, 2002. p. 07.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA) – *DIRETRIZ 202 R.10. Critérios e Padrões para Lançamentos de Efluentes Líquidos*. Rio de Janeiro: 1986. p.04

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA) – *DIRETRIZ 205 R.06. Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de origem Industrial*. Rio de Janeiro: 2007, 6p.

ISIDORI, M., LAVORGNA, M. NARDELLI,; PARRELLA, A. Toxicity identification evaluation of leaches from municipal solid waste landfills: a multispecies approach. *Chemosphere*. 2003. Vol.52: 85-94,

JORDÃO, E. P., PÊSSOA, C. A. – *Tratamento de Esgotos Domésticos*, 4ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: SEGRAC, 2005.

J.-H. IM, H.-J. WOO, M.-W. CHOI, K.-B. HAN e C.-W. KIM, “Simultaneous organic and nitrogen removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system”, 2000. FALTANDO A REVISTA, ED. *Et al*)

KNIE, J. L. W., LOPES, E. W. B., 2004. Testes Ecotoxicológicos: *métodos, Técnicas e Aplicações*, Florianópolis, SC.

LAALE, H. W. The biology and us of zebrafish, *Danio rerio* in fisheries research. A literature review. *J. Fish Biol.* Vol. 10, 121-173. 1977

LIED, E. B. Análise da eficiência do sistema de tratamento de águas residuárias (STAR) de um abatedouro frigorífico na redução da toxicidade aguda. Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia – XI ECOTOX. 2010. Bombinhas (SC), 19 a 23 de setembro de 2010. CD-ROOM.

MARTTINEN, R, S; KETTUNEN, K. SORMUNEN, R. SOIMASUO e J. RINTALA, “Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates”, *Bioresource Technology*, vol. 54, pp. 17–20, 2002.

MATSUMURA-TUNDISI, T. Occurrence of species of the genus *Daphnia similis* in Brazil. *Hidrobiologia*. Vol. 112: 161-165. 1985.

MORAES, M. C. F. Estudos dos efeitos da radiação ionizante na toxicidade aguda de efluentes que representam surfactantes aniônicos. 2004. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo,

MUNIZ, D. H. de F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Avaliação da toxicidade aguda dos metais cobalto, cromo, ferro e níquel para peixes da espécie *Danio rerio* e *Hyphessobrycon eques*. XI Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia – XI ECOTOX. Bombinhas (SC), 19 a 23 de setembro de 2010. CD-ROOM.

NIWEGLOWSKI, A. M. A.; SILVA, E. M. de F. M. Importância dos Parâmetros Ecotoxicológicos em Estudos Ambientais. In: Manual de Avaliação de Impactos Ambientais, Curitiba: SUREHMA, 1999. p. 06.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. ABES. 1ª EDIÇÃO. 2006.

RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MCCARTY, L. S.; Introduction to Aquatic Toxicology. In: RAND, G. M. Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, *Environmental Fate and Risk Assessment*. Washington, D. C., Taylor; Francis, 2ªEd, p.3-67, 1995.

RATTNER, B. A.; HEATH, A. G. Environmental Factors affecting contaminant toxicity in aquatic and terrestrial vertebrates. In: HOFFMAN, D.J.; RATNNER, B.A.; BURTON, G.A.Jr.; CAIRNS, J. Jr. Eds. *Handbook of Ecotoxicology*. 755p. 1995

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; LOMBARDI, A, T. Suitability of *Daphnia similis* as an alternative organism in ecotoxicological tests: implications for metal toxicity. *Ecotoxicology*, 2010. Aug; 19(6): 1027-33. Epub 2010 Mar 20.

SANTOS, P. I. M. dos; SILVA, A. C. B. e; SANTOS, E. A. dos; MEDEIROS, G. F. Avaliação da Toxicidade aguda do inseticida metomil e o seu efeito sobre a atividade da acetilcolinesterase do peixe *Danio rerio*. XI Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia – XI ECOTOX. Bombinhas (SC), 19 a 23 de setembro de 2010.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - SMA. Resolução SMA-3, de 22 de fevereiro de 2000. O Secretário do Meio Ambiente, em face da deliberação da Diretoria Plena da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental que aprovou a necessidade de implementar o controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no Estado de São Paulo. *Diário Oficial*, São Paulo, 25 fev. 2000. p. 24.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO URBANO E DO MEIO AMBIENTE. PARANÁ. Coordenadoria de estudos e defesa do meio ambiente. Coletânea de Legislação Ambiental Federal e Estadual. Curitiba: 1990.

SILVA, A. C. Tratamento do Chorume de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade Rio de Janeiro. 2002 79 p., 29,7 cm, Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

SPRAGUE, J. B. Factors that modify toxicity. In: RAND, G.M.; PETROCELLI, S.R. Eds. *Fundamentals of aquatic toxicology*. 666p. 1985

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 21 st Ed. American Public Health Association, Washington, D. C. 2005

NITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Technical Support Document for Water Quality-Based Toxic Control. Washington D.C., EPA, 1985, 74p.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Washington, DC: USEPA, 2002. 266p (EPA/821-R-02-012).

VAN LEEWEN, C. J. Short-term toxicity testing. In: KRUIF, H. A. M; ZWART, D.; VISWANATHAN, P. N. RAY, P.K. Eds. *Manual on Aquatic Ecotoxicology*. 332 p. 1988.

WALSH, F. E.; BAHNER, L. H.; HORNING, W. B. Toxicity of textile mill effluents to freshwater and estuarine algae, crustaceans and fishes. *Environmental Pollution*. Série A, 21: 169-79, 1980.

WERNER, L.I.; BURATINI, S.V. Sensibilidade de *Daphnia similis*: efeitos da dieta e da água de cultivo/diluição. Resumos VII ECOTOX, Vitória, ES. 2002.

ZAGGATO, P. A., BERTOLETI, E. *Ecotoxicologia Aquática – Princípios e Aplicações*. Rima, São Carlos, SP. 2006. 464 p.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E.; GOLDSTEIN, E. G. Toxicidade de efluentes industriais da bacia do rio Piracicaba. In: *Revista Ambiente*, v. 2, n. 1, p. 39-42, 1988.

ZAGGATO, P. A.; GOLDSTEIN, E. G. Estudo comparative entre as taxas de reprodução de *Daphnia similis* Claus, 1876 e *Daphnia magna* Straus, 1820: resultados preliminares. In. Simp. Bras. Aquicul. III, 1984. São Carlos, SP. 411-323

Sites consultados:

BRESSAN, L. Enciclopédia Animal. <http://enciclopediaanimal.wordpress.com/las-dafnias-o-daphnias/> (acessado em: 23/05/2010)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Zebrafish> (acessado em 04.05.2010)

TheEbertGroup

<http://www.evolution.unibas.ch/ebert/publications/parasitismdaphnia/ch2.htm>

<http://www.evolution.unibas.ch/ebert/publications/parasitismdaphnia/ch2f9.htm>

(acessado em 15/08/2010).

APÊNDICE A - Lista de materiais utilizada para a implementação do método ecotoxicológico com *Daphnia similis* no laboratório.

Mesa Agitadora – Nova Ética Mod.109

Microscópio Óptico – Lambda Mod. LQT3

Câmara de Neubauer Improved

Medidor de pH – Digimed Mod. DM-2P

Condutivímetro - Digimed Mod. DM-3P

Oxímetro – YSI Incorporated Mod. 550A

Luxímetro – ICEL Manaus Mod. LD510

Balança Analítica – Sartorius Mod. BL 2105

Capela de Fluxo Laminar – Filtracom BiolFlux Mod. I90A

Pipeta Automática de Volume Variável – 1-5 mL Boeco Germany Mod. 6055653

Lupa – Lambda Mod. LET-2 (Ocular de 10X de aumento)

Fermentador – Garrafão de pirex com torneira no fundo.

Barriletes 20L

Geladeiras Amostradoras – Gelopar Mod. GPTU – 230

Luminária de Luz Branca – Golden Plus Mod. TL 2004B 127V

Cadinho de Porcelana 20 mL

Rede de Zooplâncton

Graal e pistilo

Sistema de Filtração até 60 µm – Produtest

Bombas de ar – Mijang Mod. NS -350

Autoclave – Quimis Mod. Q-190-24

Estufa de Esterilização – Quimis Mod. 17-B252

Tubos de Ø= 20 mm, C= 150 mm aferidos para 10 mL

Estante para tubos

Balão volumétrico 100 mL, 250 mL, 500 mL, 1000 mL e 2000 mL

Pipeta volumétrica 5 mL, 10 mL, 500 mL, 1000 mL e 2000 mL

Funil de Separação de 1L

Suporte para funil – 6,5 de diâmetro

Pipeta Pasteur

Pipeta de borda arredondada de 3mm

Pipeta graduada 10 mL

Pipeta graduada 2 mL

Frascos de vidro 2 L

Frascos de vidro 500 mL

Erlenmeyer 500 mL

Erlenmeyer 250 mL

Placas de Petri

Algodão Hidrofóbico

Gase

Alças de Inoculação de platina

APÊNDICE B - Histórico dos resultados físico-químicos ao longo do tempo

INDÚSTRIA DE BEBIDAS

DATA	DBO ₅ Afluente (mg/L de O ₂)	DBO ₅ Efluente (mg/L de O ₂)	DQO Afluente (mg/L de O ₂)	DQO Efluente (mg/L)	RNFT Afluente (mg/L)	RNFT Efluente (mg/L)	Óleos e Graxas Efluente (mg/L)	Detergente Efluente (mg/L)
6/1/2010	5378	100	6603	520	2875	-	17	< 0,4
13/1/2010	-	-	5114	179	2553	-	< 6,0	< 0,4
20/1/2010	3532	8	6003	40	4158	-	< 6,0	< 0,4
27/1/2010	-	-	7304	260	3198	-	< 6,0	< 0,4
3/2/2010	3332	5	6271	361	4105	-	< 6,0	< 0,4
10/2/2010	-	-	8423	39	3915	-	< 6,0	< 0,4
24/2/2010	1936	9	3149	45	4763	-	< 6,0	< 0,4
3/3/2010	3052	4	4904	15	4863	-	< 6,0	< 0,4
10/3/2010	-	-	5787	15	6738	-	< 6,0	< 0,4
17/3/2010	1796	3	2701	40	6790	-	< 6,0	< 0,4
24/3/2010	-	-	796	76	4510	-	< 6,0	< 0,4
31/3/2010	4709	3	8451	20	4710	-	< 6,0	< 0,4
7/4/2010	-	-	6346	48	5328	-	< 6,0	< 0,4
14/4/2010	-	-	25804	49	5745	-	< 6,0	< 0,4
19/4/2010	2123	4	2201	33	6378	-	< 6,0	< 0,4
28/4/2010	-	-	3848	38	6905	-	< 6,0	< 0,4
5/5/2010	2573	4	5339	53	5408	-	< 6,0	< 0,4
12/5/2010	-	-	5406	38	5282	-	< 6,0	< 0,4
19/5/2010	233	5	4315	15	5908	17	< 6,0	< 0,4
24/5/2010	-	-	-	-	-	9	-	-
26/5/2010	-	-	1727	77	4267	16	8,85	< 0,4
31/5/2010	-	-	-	-	-	66	-	-
1/6/2010	4930	19	10577	152	4208	95	< 6,0	< 0,4
7/6/2010	-	-	-	-	-	128	-	-
9/6/2010	-	-	4193	144	3805	139	< 6,0	< 0,4
14/6/2010	-	-	-	-	-	125	-	-
16/6/2010	2776	16	4821	192	3733	202	< 6,0	< 0,4
21/6/2010	-	-	-	-	-	111	-	-
23/6/2010	-	-	8559	94	3224	91	< 6,0	< 0,4
28/6/2010	-	-	-	-	-	72	-	-
30/6/2010	2130	4	6624	91	3975	59	< 6,0	< 0,4
5/7/2010	-	-	-	-	-	41	-	-
7/7/2010	1992	4	3649	51	4054	31	< 6,0	< 0,4
12/7/2010	-	-	-	-	-	18	-	-
14/7/2010	-	-	4559	52	3650	21	< 6,0	< 0,4
19/7/2010	-	-	-	-	-	57	-	-
21/7/2010	3633	10	6164	49	3600	43	< 6,0	< 0,4
26/7/2010	-	-	-	-	-	55	-	-
28/7/2010	-	-	19921	54	3637	33	< 6,0	< 0,4
2/8/2010	-	-	-	-	-	24	-	-
4/8/2010	5661	4	8876	45	3569	28	< 6,0	< 0,4
11/8/2010	-	-	-	-	-	15	-	-
11/8/2010	-	-	6406	34	3953	17	< 6,0	< 0,4

16/8/2010	-	-	-	-	-	8	-	-
18/8/2010	1964	3	3235	24	4283	<1	< 6,0	< 0,4
23/8/2010	-	-	-	-	-	4	-	-
25/8/2010	-	-	3629	19	3890	8	< 6,0	< 0,4
30/8/2010	-	-	-	-	-	11	-	-
1/9/2010	3254	7	6060	19	3760	11	< 6,0	< 0,4
8/9/2010	-	-	996	30	3410	12	< 6,0	< 0,4
13/9/2010	-	-	-	-	-	5	-	-
15/9/2010	2583	4	4251	15	3370	9	< 6,0	< 0,4
20/9/2010	-	-	-	-	-	14	-	-
22/9/2010	-	-	7107	33	4237	19	< 6,0	< 0,4
27/9/2010	-	-	-	-	-	12	-	-
29/9/2010	-	-	2705	30	3613	14	< 6,0	< 0,4

INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

Data	DQO Efluente (mg/L de O ₂)	DBO ₅ Efluente (mg/L de O ₂)	RNFT Afluente (mg/L)	RNFV Afluente (mg/L)	RNFT Efluente (mg/L)	Óleos e Graxas Efluente (mg/L)	Detergente Efluente (mg/L)	Nitrogênio Kjeldahl Efluente (mg/L)
5/1/2010	90	6	5240	3895	50	<6	<0,4	0,6
13/1/2010	90	3	-	-	34	<6	<0,4	-
19/1/2010	88	4	5775	4285	61	<6	<0,4	2
27/1/2010	100	4	-	-	36	<6	0,68	-
3/2/2010	39	<3	4525	3273	24	<6	<0,4	1,3
10/2/2010	58	3	-	-	33	0	<0,4	-
19/2/2010	44	4	5300	2785	51	<6	<0,4	1,9
25/2/2010	125	9	-	-	76	<6	<0,4	-
3/3/2010	15	4	4110	2905	28	<6	<0,4	3,2
10/3/2010	64	10	-	-	59	<6	<0,4	-
17/3/2010	20	7	2295	1650	19	<6	<0,4	0,7
24/3/2010	91	<3	-	-	55	<6	<0,4	-
6/4/2010	33	<3	4023	2830	15	<6	<0,4	<0,1
7/4/2010	29	5	3338	2486	32	<6	<0,4	17
14/4/2010	34	6	-	-	8	<6	<0,4	-
21/4/2010	25	4	5915	4480	23	<6	<0,4	0,7
28/4/2010	33	<3	-	-	42	<6	<0,4	-
5/5/2010	23	23	3078	2345	23	<6	<0,4	0,7
12/5/2010	43	<3	-	-	20	<6	<0,4	-
19/5/2010	24	<3	3507	2650	17	<6	<0,4	1,2
26/5/2010	17	<3	-	-	15	<6	<0,4	-
2/6/2010	17	5	3320	2508	10	<6	<0,4	0,5
9/6/2010	<15	<3	-	-	15	<6	<0,4	-
16/6/2010	17	<3	3910	2995	13	<6	<0,4	1,1
23/6/2010	63	10	-	-	29	<6	<0,4	-
30/6/2010	21	5	4880	3912	6	<6	<0,4	0,7
7/7/2010	<15	3	4425	3535	9	<6	<0,4	0,4
14/7/2010	68	<3	-	-	6	<6	<0,4	-
22/7/2010	20	<3	3928	3017	6	<6	<0,4	0,2
28/7/2010	99	6	-	-	60	<6	<0,4	-
4/8/2010	31	<3	3373	2623	32	<6	<0,4	0,8
11/8/2010	<15	6	-	-	58	<6	<0,4	-
19/8/2010	133	3	3830	3040	63	<6	<0,4	0,6
1/9/2010	17	<3	3200	2433	29	<6	<0,4	0,7
9/9/2010	120	<3	1550	1304	41	<6	<0,4	1,4
15/9/2010	22	<3	-	-	26	<6	<0,4	-
22/9/2010	25	<3	4087	4020	22	<6	<0,4	2,3

INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Data	DBO ₅ Afluente (mg/L de O ₂)	DBO ₅ Afluente (mg/L de O ₂)	DQO Efluente (mg/L de O ₂)	DQO Efluente (mg/L de O ₂)	RNFT Afluente (mg/L)	RNFV Afluente (mg/L)	RNFT Efluente (mg/L)	Nitrogênio Kjeldahl Efluente (mg/L)
5/1/2010	-	-	180	< 15	6470	3715	7	0,29
13/1/2010	240	< 3	685	< 15	4770	2865	3	1,205
21/1/2010	-	-	191	22	6090	5153	21	1,022
27/1/2010	99	3	210	24	6825	4050	<1	0,401
3/2/2010	-	-	230	15	6110	3865	7	0,555
9/2/2010	90	3	329	15	8290	4707	31	0,711
18/2/2010	-	-	310	15	5540	5245	14	0,77
24/2/2010	265	3	339	15	5730	3255	<1	0,565
3/3/2010	-	-	220	15	5275	3015	1	0,345
10/3/2010	69	3	580	17	5925	3500	6	0,428
17/3/2010	-	-	636	15	4050	2945	1	0,285
23/3/2010	82	3	186	34	5163	3297	<1	< 0,1
31/03/2010	-	-	481	43	5387	3147	6	6,214
6/4/2010	-	-	206	33	5043	2898	24	13,206
14/4/2010	108	3	298	15	5390	3220	1	0,511
20/4/2010	-	-	263	15	5377	3233	4	0,751
28/4/2010	169	3	519	15	5085	3355	6	0,834
5/5/2010	-	-	770	15	4596	2750	48	0,805
10/5/2010	275	3	550	15	4583	2554	17	1,036
19/5/2010	-	-	386	15	5013	3030	<1	0,944
25/5/2010	180	3	480	15	7353	4098	7	1,256
2/6/2010	-	-	391	15	4720	2860	4	0,576
8/6/2010	182	3	553	16	3968	2338	8	1,035
16/6/2010	-	-	423	15	4173	2503	18	1,147
22/6/2010	197	3	554	18	3990	2409	9	1,266
30/6/2010	-	-	423	27	4110	2510	36	1,17
6/7/2010	-	-	496	19	4665	2870	12	0,633
14/7/2010	0,17	3	533	28	4190	2695	<1	0,999
20/7/2010	-	-	424	34	4035	2660	13	19,556
28/7/2010	268	6	1775	18	3800	2500	9	0,693
3/8/2010	-	-	329	17	3817	2473	16	1,056
11/8/2010	169	4	1016	15	3727	2187	4	0,517
17/8/2010	-	-	280	15	4255	2800	4	1,05
28/8/2010	187	3	818	15	3730	2415	6	1,019
31/8/2010	-	-	666	15	4050	2740	4	0,755
8/9/2010	-	-	179	18	3737	2230	13	0,77
14/9/2010	90	< 3,0	199	< 15	3445	2175	8	0,49
21/9/2010	-	-	416	23	3957	2517	12	0,57
28/9/2010	88	4	315	< 15	2225	1270	11	2,04

PETROQUÍMICA A

Data	DBO₅ Efluente (mg/L de O₂)	DQO Efluente (mg/L de O₂)	RNFT Efluente (mg/L)	Óleos e Graxas Efluente (mg/L)	Fenóis Efluente (mg/L)	Cádmio Efluente (mg/L)	Detergente Efluente (mg/L)
7/1/2010	7	45	4	<6	<0,1	<0,1	<0,4
15/1/2010	8	20	20	<6	<0,1	<0,1	<0,4
22/1/2010	9	55	23	<6	<0,1	<0,1	<0,4
28/1/2010	60	66	33	<6	<0,1	<0,1	<0,4
4/2/2010	3	26	13	<6	<0,1	<0,1	<0,4
12/2/2010	20	58	30	<6	<0,1	<0,1	<0,4
19/2/2010	37	72	29	<6	<0,1	<0,1	<0,4
25/2/2010	8	55	8	<6	<0,1	<0,1	<0,4
4/3/2010	90	115	26	<6	<0,1	<0,1	<0,4
12/3/2010	19	22	20	<6	<0,1	<0,1	<0,4
16/3/2010	7	38	12	<6	<0,1	<0,1	<0,4
24/3/2010	18	22	7	<6	<0,1	<0,1	<0,4
1/4/2010	42	42	3	<6	<0,1	<0,1	<0,4
9/4/2010	7	37	2	<6	<0,1	<0,1	<0,4
12/4/2010	4	21	5	<6	<0,1	<0,1	<0,4
20/4/2010	5	40	8	<6	<0,1	<0,1	<0,4
28/4/2010	30	48	29	8	<0,1	<0,1	<0,4
6/5/2010	97	218	19	<6	<0,08	<0,1	<0,4
14/5/2010	31	96	8	<6	<0,08	<0,1	<0,4
17/5/2010	136	235	20	<6	<0,08	<0,1	<0,4
25/5/2010	138	229	26	<6	<0,08	<0,1	<0,4
2/6/2010	11	19	8	<6	<0,08	<0,1	<0,4
10/6/2010	72	183	24	<6	<0,08	<0,1	<0,4
18/6/2010	30	138	21	6	<0,08	<0,1	<0,4
21/6/2010	138	225	23	13	<0,08	<0,1	<0,4
29/6/2010	30	104	17	<6	<0,08	<0,1	<0,4
7/7/2010	12	79	13	<6	<0,08	<0,1	1,29
15/7/2010	77	238	<1	<6	<0,08	<0,1	<0,4
23/7/2010	77	276	42	10	<0,08	<0,1	<0,4
26/7/2010	36	148	28	6	<0,08	<0,1	
5/8/2010	12	16	12	<6	<0,08	<0,1	0,67
11/8/2010	18	58	18	<6	<0,08	<0,1	0,44
19/8/2010	28	207	66	13	<0,08	<0,1	<0,4
27/8/2010	35	148	35	<6	<0,08	<0,1	0,5
3/9/2010	29	109	23	<6	<0,1	<0,1	<0,4
8/9/2010	<3	15	<1	<6	<0,1	<0,1	<0,4
16/9/2010	50	180	23	<6	<0,1	<0,1	0,43
24/9/2010	5	44	10	<6	<0,1	<0,1	<0,4

PETROQUÍMICA B

Data	DBO ₅ Efluente (mg/L de O ₂)	DQO Efluente (mg/L de O ₂)	RNFT Efluente (mg/L)	Óleos e Graxas Efluente (mg/L)	Fenóis Efluente (mg/L)	Detergente Efluente (mg/L)
8/1/2010	3	30	76	10	<0,1	<0,4
14/1/2010	<3	15	1	<6	<0,1	<0,4
19/1/2010	<3	34	<1	<6	<0,1	<0,4
29/1/2010	4	30	6	<6	<0,1	<0,4
5/2/2010	7	30	1	<6	<0,1	<0,4
11/2/2010	<3	<15	17	<6	<0,1	<0,4
18/2/2010	8	15	5	<6	<0,1	<0,4
26/2/2010	5	<15	6	<6	<0,1	<0,4
5/3/2010	6	30	8	<6	<0,1	<0,4
11/3/2010	<3	25	5	<6	<0,1	<0,4
17/3/2010	<3	18	21	<6	<0,1	<0,4
25/3/2010	13	100	13	<6	<0,1	<0,4
31/3/2010	<3	28	8	<6	<0,1	<0,4
8/4/2010	3	29	<1	<6	<0,1	<0,4
16/4/2010	3	20	30	<6	<0,1	<0,4
19/4/2010	4	35	5	<6	<0,1	<0,4
27/4/2010	3	35	8	<6	<0,1	<0,4
5/5/2010	13	22	6	<6	<0,08	<0,4
13/5/2010	<3	20	<1	<6	<0,08	<0,4
21/5/2010	5	19	10	<6	<0,08	<0,4
28/5/2010	<3	24	<1	<6	<0,08	<0,4
9/6/2010	<3	17	1	<6	<0,08	<0,4
11/6/2010	9	22	5	<6	<0,08	<0,4
17/6/2010	<3	44	3	<6	<0,08	<0,4
23/6/2010	<3	15	3	<6	<0,08	<0,4
1/7/2010	<3	20	3	<6	<0,08	<0,4
9/7/2010	4	23	3	<6	<0,08	<0,4
13/7/2010	3	27	<1	<6	<0,08	<0,4
22/7/2010	<3	21	4	<6	<0,08	<0,4
27/7/2010	4	36	4	6	<0,08	<0,4
5/8/2010	15	27	2	<6	<0,08	<0,4
12/8/2010	<3	22	1	<6	<0,08	<0,4
20/8/2010	<3	<15	2	13	<0,08	<0,4
24/8/2010	9	35	5	<6	<0,08	<0,4
1/9/2010	<3	31	8	<6	<0,08	<0,4
9/9/2010	<3	18	3	<6	<0,1	<0,4
22/9/2010	<3	<15	5	<6	<0,1	<0,4