

## I-040 - AVALIAÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE EFLUENTES DE REATORES FOTOCATALÍTICOS PARA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS CINZA

**Thais Caregnatto Thomé<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

**Willian Ribeiro Ide<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UFMS. Doutorando em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UFMS. Técnico do Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Carlos Nobuyoshi Ide**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Mato Grosso (UEMT), atual UFMS. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Maria Lucia Ribeiro**

Engenheira Química pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Química (Físico-Química) pela Universidade de São Paulo. Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora titular na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**Ingrid Cecília Walker**

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Costa e Silva, Cidade Universitária, Campo Grande – MS, CEP: 79090-900 - Brasil. - e-mail: thaisthome04@gmail.com

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Av. Costa e Silva, Cidade Universitária, Campo Grande – MS, CEP: 79090-900 - Brasil. E-mail: willian.ide@ufms.br/willian.ide@hotmail.com

### RESUMO

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm se destacado no tratamento de águas residuárias por serem eficientes e apresentarem um custo baixo. Um tipo de POA muito utilizado é o sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, que consiste na aplicação de peróxido de hidrogênio e radiação UV. Neste processo ocorre a geração de radicais hidroxila (OH<sup>•</sup>), que são altamente oxidantes, capazes de degradar a matéria orgânica e inativar os microrganismos existentes no efluente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ecotoxicidade da desinfecção de águas cinza com peróxido de hidrogênio e radiação UV, para reuso em atividades menos nobres, como para a descarga, lavagem de calçadas, irrigação de plantas, entre outros. Para os testes ecotoxicológicos foram utilizados os bioindicadores *Daphnia similis* (microcrustáceo) e *Danio rerio* (peixe paulistinha). Através dos testes, verificou-se que o tratamento com o sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a uma dosagem de 150 mg.L<sup>-1</sup> de peróxido de hidrogênio, apresenta toxicidade aguda aos organismos, enquanto, nas amostras de água cinza bruta, onde não havia dosagem de peróxido, não foi constatada toxicidade. Conclui-se que a toxicidade foi provavelmente provocada pelo peróxido de hidrogênio residual presente nas amostras de água cinza após exposição solar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Cinza, Processos Oxidativos Avançados, *Daphnia similis*.

### INTRODUÇÃO

Grandes regiões metropolitanas do mundo já estão enfrentando graves problemas de falta de água e, o Brasil, não está livre desse risco. Segundo dados das Nações Unidas, citados por CARR (2000), estima-se que nos próximos 50 anos, mais de 40% da população mundial viverá em países que enfrentam estresse hídrico ou escassez de água. Em função disso, fica evidente a necessidade de economizar e reaproveitar o recurso hídrico, tendo consciência o problema de escassez com o aumento cada vez maior da demanda e, também, com a diminuição da qualidade, já que geralmente os esgotos são lançados nos corpos hídricos (REBÊLO, 2011).

Diante disso, há algumas medidas principais a serem tomadas para evitar que a situação atinja o nível de calamidade. Uma delas é combater o desperdício, já que no Brasil muita água é perdida antes mesmo de chegar às torneiras. Outra solução é ampliar a reutilização da água cinza, que é o foco principal desse trabalho.

As águas cinza podem ser definidas como o esgoto gerado a partir de atividades domésticas, não incluindo o efluente gerado no vaso sanitário. Elas recebem esse nome, pois, quando armazenadas durante um certo período, apresentam uma cor acinzentada (EMMERSON, 1998).

Segundo May (2008), as águas cinza podem ser divididas em dois grupos: águas cinza escuras e águas cinza claras. As águas cinza claras são as águas residuais originadas de banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas. Já as águas cinza escuras incluem ainda as águas residuais provenientes da pia da cozinha e máquina de lavar louças. A autora afirma também que microrganismos patogênicos podem ser encontrados nas águas cinzas e nas águas pluviais como, por exemplo, a bactéria *Escherichia coli*, que é comumente utilizada como indicador de contaminação fecal. Assim, o tratamento das águas cinza deve ser praticado com o intuito de eliminar a matéria orgânica e remover ou inativar os organismos patogênicos presentes nessas águas.

Alguns questionam o uso das águas cinza devido aos riscos que podem proporcionar a saúde do homem. Estes riscos estão associados à presença de metais pesados (GUILBAUD *et al.*, 2012), compostos orgânicos (FINLEY *et al.*, 2009) e microrganismos patogênicos (TANDLICH *et al.*, 2009) nas águas cinza. Até hoje, nenhuma incidência de doenças relacionadas com a reutilização das águas cinza foi relatada. No entanto, os estudos sobre os impactos na saúde causados pela reutilização de água cinza ainda são limitados (WINWARD *et al.*, 2008).

Para a Organização Mundial da Saúde, os riscos para a saúde associados com a utilização de águas cinzas na agricultura são considerados inferiores às de águas residuais ou negras. A água cinza geralmente tem concentrações mais baixas de agentes patogênicos nele do que de águas residuais, mas pode ainda conter alguns agentes patogênicos, que são introduzido na água cinza pela lavagem de fraldas dos bebês, lavanderia, higiene pessoal ou a partir de outras fontes.

Então, para utilização das águas cinza é necessário fazer um tratamento prévio, a fim de promover a desinfecção da mesma. Para isso, existem vários tipos de métodos e técnicas. Os Processos Oxidativos Avançados (POA<sub>s</sub>) são métodos que estão sendo aplicados no pré e pós-tratamento de efluentes, como a desinfecção da água cinza, pois têm comprovado grande eficiência, baixo custo e não gera subprodutos indesejáveis da desinfecção tradicional.

Os POA<sub>s</sub> UV/TiO<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe, O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/Fe, O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>, UV- O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ Fe, são amplamente utilizados na degradação de efluentes. Esses processos são caracterizados pela geração de radicais livres que degradam a matéria orgânica. Sendo assim, os compostos poluentes são mineralizados ou convertidos em outros de cadeia menor ou menos nocivos, os quais podem ser submetidos posteriormente a um tratamento biológico (THIRUVENKATACHARI *et al.*, 2007).

Até recentemente, o monitoramento das águas era feito com base em parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Percebeu-se que a complexidade da mistura interfere nas técnicas analíticas, dificultando sua caracterização. Com isso, os ensaios de toxicidade passaram a ser cada vez mais empregados, auxiliando na identificação de problemas, sem desprezar a identificação da contaminação, sempre que possível (HIGA, 2008).

Então, para avaliar a qualidade da água após os processos de desinfecção, têm sido realizadas análises da toxicidade da água para que ela possa ser lançada em corpo d'água, sem prejudicar a fauna aquática. Para isso, são realizados testes com organismos bioindicadores, os testes de ecotoxicidade. Os organismos mais utilizados nesses experimentos são os microcrustáceos, como a *Daphnia magna*, *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*. Também são utilizados peixes da espécie *Danio rerio*, conhecido popularmente como peixe paulistinha. Além desses, utiliza-se algumas espécies de vírus, insetos, vegetais, aves, moluscos, entre outros.

Segundo KNIE & LOPES (2004), existem dois tipos de ensaio de toxicidade: aguda e crônica. O ensaio de toxicidade 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. Os autores ainda complementam que o resultado do ensaio de toxicidade aguda é expresso pela CE(I)50 (concentração nominal da amostra no início do ensaio, que causa efeito agudo a 50% dos organismos no tempo de exposição, nas condições do ensaio). O valor da concentração efetiva (CE) é inversamente proporcional à toxicidade da amostra, isto é, quanto menor o valor de CE, mais tóxica é a amostra.

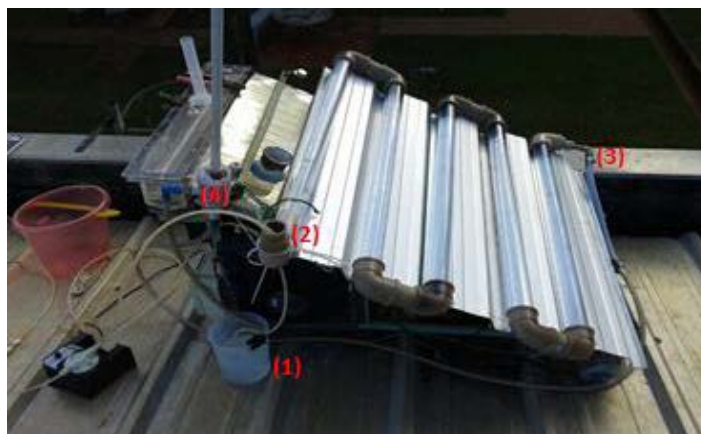
Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a ecotoxicidade dos produtos da desinfecção das águas cinza, utilizando os processos oxidativos avançados UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, visando o reúso da água.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), localizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). As amostras de água cinza bruta foram pré-tratadas em um tanque de evapotranspiração seguido de banhado construído. Seguindo esse processo, uma amostra água cinza pré-tratada foi desinfetada em reator fotocatalítico e outra amostra foi desinfetada em um reator em batelada, ambas com os processos UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Após a desinfecção, todas as amostras foram armazenadas em frascos plásticos de 2L e refrigeradas a 4°C até que pudessem ser analisadas, não excedendo o período máximo de 30 dias.

### Ensaio com o reator fotocatalítico

Trata-se de um reator para desinfetar águas cinza para fins de reúso (FOTODIS), que foi montado no telhado do laboratório de efluentes - LabE da UFMS (Figura 1). O reator em fluxo contínuo foi construído com tubos de acrílico e recebeu água cinza tratada, preliminarmente, por um tanque de Evapotranspiração (Tevap) seguido de banhado construído. O reator, em formato de chicanas, conta com reservatório superior de água cinza bruta e reservatório inferior de água cinza desinfetada.



**Figura 1: Reator Fotocatalítico.**

Este sistema funciona da seguinte forma (Figura 1): a água cinza bruta aerada é bombeada de um reservatório inferior (1) para um dispositivo de entrada de efluente localizado na região superior reator (2). Em seguida, a água cinza bruta percorre o caminho em chicanas até o dispositivo de saída de efluente localizado na região inferior do reator (3). Por gravidade, o efluente já tratado é encaminhado até o reservatório superior (4), onde é transbordado e retornado para o reservatório inferior (1).

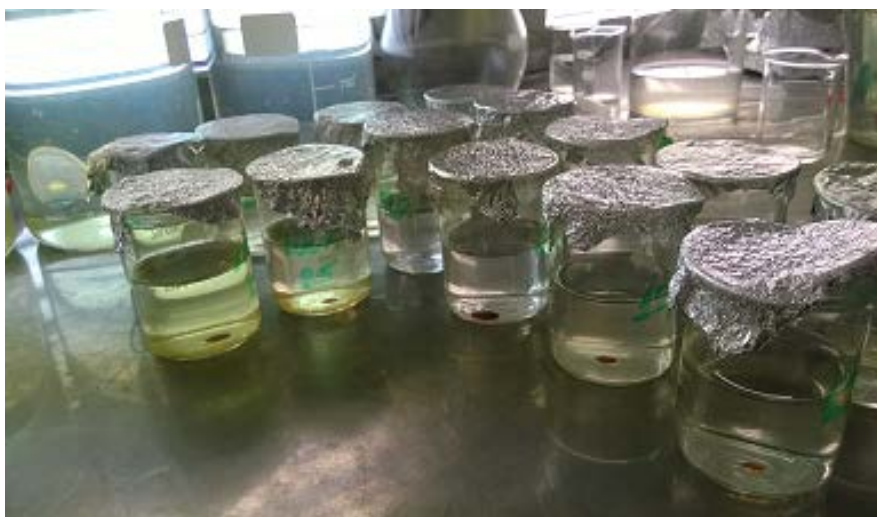
A água do reservatório inferior é bombeada para o início do reator, em tempo ótimo de recirculação, que foi determinado de acordo com a qualidade final requerida para a água cinza. A desinfecção foi promovida pelo sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A adição de peróxido foi realizada através de uma bomba dosadora.

Após o processo fotocatalítico de desinfecção, a água cinza é submetida aos testes de ecotoxicidade que, neste caso, foram feitos com o organismo *Daphnia similis*. As condições do teste foram baseadas no método de ensaio estabelecido pela norma técnica ABNT NBR 12713 (2009).

As *Daphnias* foram cultivadas em incubadora com controle de temperatura ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) e luminosidade de aproximadamente 550 LUX, medidos através de um luxímetro. Os organismos foram mantidos em recipientes contendo aproximadamente 1L de água de cultivo proveniente do Córrego Bandeira, com dureza ajustada para  $44 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$  e pH entre 7,0 e 7,6. A manutenção era feita três vezes por semana, água e comida eram renovadas.

Antes da realização do ensaio foi realizado um teste preliminar, no qual foram estabelecidos os intervalos das concentrações para cada amostra, sendo o menor valor da concentração o que causou imobilidade a 100% dos organismos e, a máxima concentração, a que não se observou efeito sobre os organismos.

A etapa seguinte foi a utilização dos intervalos de concentrações obtidas no teste preliminar, preparando-se uma série de diluições, que variou de acordo com o potencial tóxico da amostra, necessitando ou não de diluições intermediárias. Para cada diluição foram adicionados um total de 20 neonatos de *Daphnia similis* inclusive para o controle, distribuídos em número de dez organismos em cada uma das duas réplicas (Figura 2).



**Figura 2: Testes ecotoxicológicos com *Daphnia similis*.**

#### **Ensaio com o reator em batelada**

O ensaio com o reator em batelada (Figura 3) foi realizado utilizando um galão de vidro. A desinfecção da água cinza ocorreu utilizando peróxido de hidrogênio combinado com UV. A água cinza combinada com o peróxido ficou sendo aerada por duas horas em sol constante. Após esse processo, foram feitos testes de ecotoxicidade utilizando o organismo *Danio rerio*.





**Figura 3: Reator em Batelada.**

Os peixes (*Danio rerio*), popularmente conhecidos como paulistinha, foram criados em aquário, de aproximadamente 120L, em temperatura entre 23°C e 25°C (Figura 4). A água de cultivo utilizada foi da torneira, sendo retirado o cloro com Tiosulfato de Sódio e com aeração constante. Os peixes eram alimentados duas vezes ao dia com ração apropriada. Sua água era trocada semanalmente, sendo substituída 25% do volume total a cada manutenção, para manter a faixa adequada de pH, baixo teor de amônia e a eliminação dos detritos depositados no fundo do aquário.



**Figura 4: Aclimação dos peixes no aquário.**

O teste ecotoxicológicos com *Danio rerio* (Figura 5) foi padronizado segundo as normas da ABNT NBR 15088 (2004). Para os ensaios foram utilizados cinco diluições (100% da amostra, 50%, 25%, 12,5% e 6,25%) mais a condição de controle (100% de água de diluição). O organismo teste apresentou comprimento médio de  $2 \pm 1$  cm e não apresentou comportamento anormal, hemorragias, mucosidade excessiva ou letalidade acima de 5% do lote de organismos na semana que antecedeu os testes.



**Figura 5: Testes ecotoxicológicos com *Danio rerio*.**

Para cada diluição foram adicionados 10 organismos em um Béquer de 2L. A transferência dos organismos para o recipiente do teste foi realizada com rede. Em seguida, o béquer era coberto para evitar que os peixes saltassem.

O tipo de ensaio em que os peixes foram submetidos foi o estático, em que os organismos foram expostos a várias concentrações da amostra, sem renovação de água e alimento, por 48h. A letalidade foi registrada a cada 24h até o final do ensaio e, quando haviam organismos mortos, os mesmos eram retirados. Os testes foram considerados válidos pois a sobrevivência do controle foi de 100%.

Após um período de 48 horas, mantidos em temperatura controlada, foram observados e registrados o número de organismos imóveis (tanto para *D. similis* quanto para *D. rerio*) nas réplicas de cada concentração. Para controle de qualidade do cultivo, foram realizadas leituras iniciais e finais do ensaio onde foram obtidos os valores de pH, oxigênio dissolvido, condutividade e dureza de cada amostra.

Os ensaios físico-químicos foram de acordo com as técnicas e métodos padronizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22ª ed. Os equipamentos utilizados nas análises são: condutivímetro modelo SensIon5, marca HACH; pHmetro modelo MPA-210, marca MS TEKNOPON®, oxímetro multiprocessado da marca Solar, modelo SL 520 e turbidímetro modelo OrionAQ4500, marca Thermo Scientific.

Nos testes com o reator em batelada, as amostras eram retiradas a cada 20 minutos. Em seguida, eram realizadas análises dos parâmetros: condutividade; oxigênio dissolvido; pH; luminosidade; e salinidade. Nos testes de ecotoxicidade também foram analisados alguns parâmetros exigidos pelas normas, como dureza, pH, oxigênio dissolvido e condutividade. Estas análises foram feitas com a mesma amostra, antes e depois dos testes com os organismos bioindicadores.

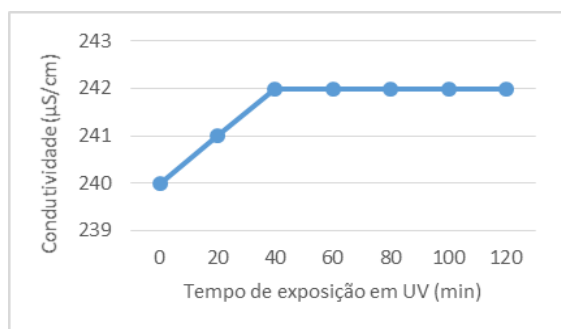
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de realizar os testes de ecotoxicidade, foi feita a caracterização da água cinza. Os resultados estão expostos na Tabela 1.

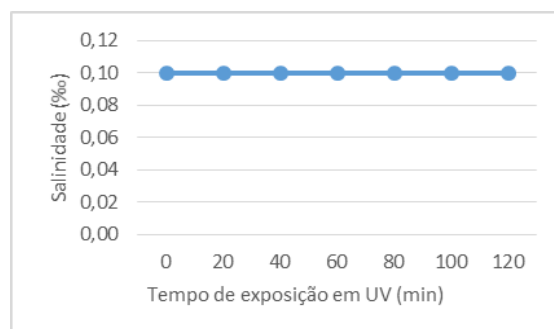
**Tabela 1: Caracterização da água cinza.**

Parâmetro	Unidade	Valor
pH	-	6,93
Condutividade	$\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$	238
Turbidez	NTU	8,15
Salinidade	‰	0,1
Alcalinidade Total	$\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$	106,92
Sólidos Totais	$\text{mg}.\text{L}^{-1}$	9,85
Sólidos Dissolvidos Totais	$\text{mg}.\text{L}^{-1}$	9,30
Sólidos Suspensos Totais	$\text{mg}.\text{L}^{-1}$	0,55
Dureza Total	$\text{mg CaCO}_3.\text{L}^{-1}$	26,39
Coliformes Totais	NMP	2419,6
<i>E. coli</i>	NMP	7,5
Oxigênio Dissolvido	$\text{mg O}_2.\text{L}^{-1}$	4,76
Temperatura	°C	19,8

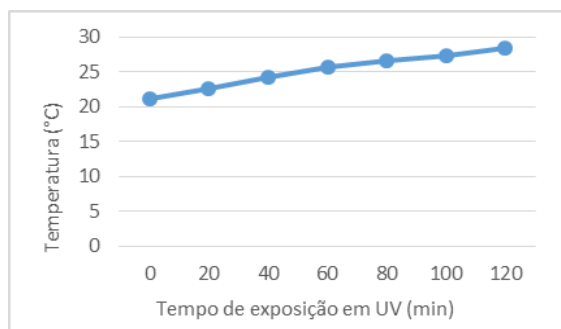
Após a caracterização da água cinza, a mesma passou pela desinfecção utilizando Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) em um reator em batelada. Durante a desinfecção foram coletadas amostras em intervalos de 20 minutos. O comportamento dos parâmetros durante o ensaio é descrito nas Figuras 6 a 11.



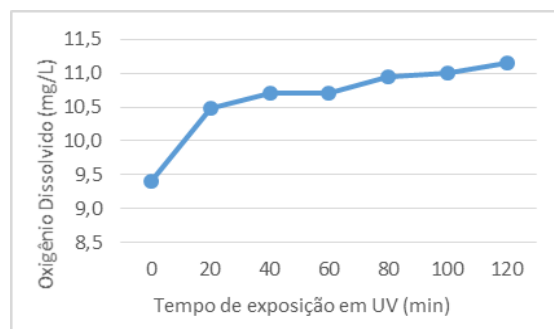
**Figura 6: Condutividade.**



**Figura 7: Salinidade.**



**Figura 8: Temperatura.**



**Figura 9: Oxigênio Dissolvido.**

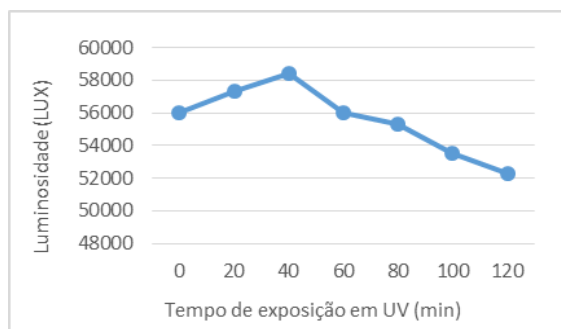


Figura 10: Luminosidade.

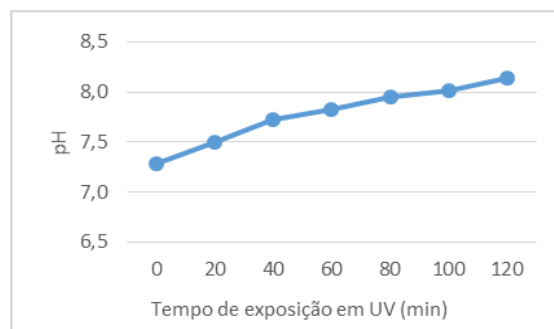


Figura 11: pH.

Com o intuito de fazer uma previsão da possibilidade de lançamento da água cinza desinfetada por processo oxidativo avançado (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em corpos d'água, verificando assim, o comprometimento ou não da biota aquática, foram realizados testes ecotoxicológicos. As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados dos testes com *Daphnia similis* (Reator Fotocatalítico) e *Danio rerio* (Reator em Batelada) antes e depois dos testes, respectivamente. Além disso, as tabelas contêm alguns parâmetros físico-químicos de interesse, já que esses tipos de reatores poderão ser instalados para desinfetar efluentes de pequenos sistemas de tratamento condominiais.

Tabela 2: Análises preliminares (Antes do início dos testes).

Diluições	OD (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	Condutividade (μS.cm <sup>-1</sup> )	pH -	Mortalidade (%)
<i>Daphnia similis</i>					
100%	-	53,53	139,1	7,42	0
50%	-	45,32	102,3	7,54	0
25%	-	43,26	85,2	7,52	0
12,5%	-	39,14	76,2	7,55	0
6,25%	-	37,08	71,8	7,59	0
Controle	-	32,96	66,9	7,48	0
Bruta	-	47,44	160,3	7,42	0
<i>Danio rerio</i>					
100%	7,34	19,79	239,5	7,98	0
50%	5,99	18,27	143,1	7,62	0
25%	6,19	19,29	97,2	7,30	0
12,5%	5,39	19,79	146,3	7,14	0
6,25%	5,09	20,81	59,9	7,07	0
Controle	5,52	19,29	47,8	6,92	0
Bruta	4,42	18,78	237,5	7,63	0



Tabela 3: Análises após o final dos testes.

Diluições	OD (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	pH -	Mortalidade (%)
<i>Daphnia similis</i>					
100%	-	49,44	213,3	7,91	100
50%	-	39,14	161,0	7,77	100
25%	-	45,32	135,9	7,71	100
12,5%	-	37,08	121,6	7,75	100
6,25%	-	37,08	118,1	7,76	90
Controle	-	35,02	109,0	7,69	0
Bruta	-	49,36	183,6	7,40	0
<i>Danio rerio</i>					
100%	4,59	19,29	262,0	6,91	100
50%	2,78	18,78	171,6	6,64	100
25%	2,67	19,79	112,2	6,34	20
12,5%	2,63	20,30	98,9	6,15	0
6,25%	2,25	20,81	88,2	6,02	0
Controle	2,56	20,81	51,3	6,30	0
Bruta	1,99	19,29	263,0	6,47	0

A Figura 12 ilustra o resultado dos testes de toxicidade ao Peróxido de Hidrogênio na concentração de 150 mg/L e à água bruta, sem adição de peróxido.

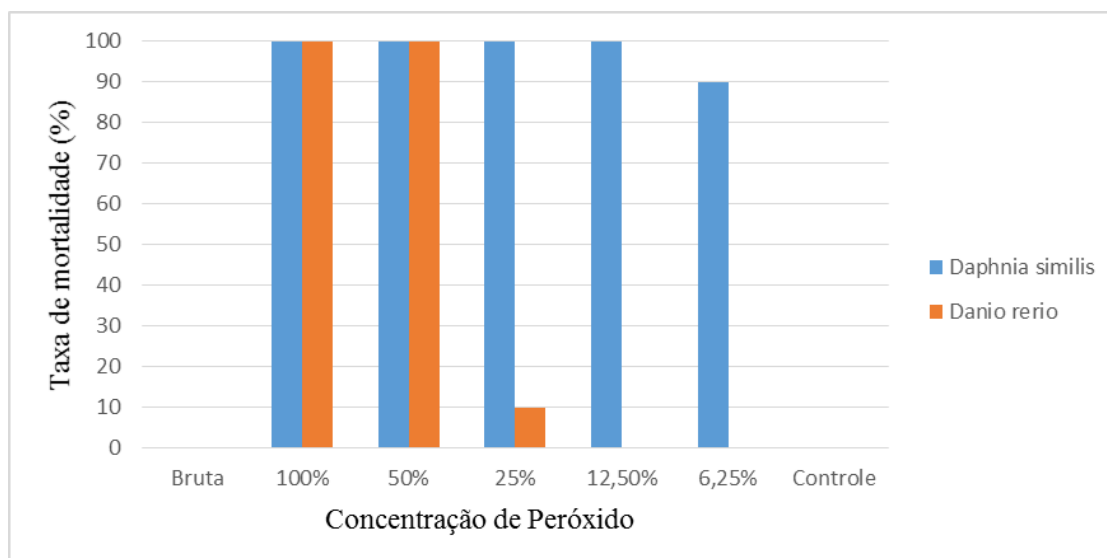


Figura 12: Porcentagens de mortalidade para as diversas diluições do sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-150.

Verifica-se, nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 12, que as amostras brutas não apresentam toxicidade ou algum risco à biota aquática e, por isso, não precisam ser diluídas antes do reuso. Já as amostras dosadas com peróxido de hidrogênio, na concentração de 150 mg.L<sup>-1</sup>, apresentaram um certo grau de toxicidade e, por isso, precisam ser diluídas antes de serem reutilizadas.

As diluições feitas para a amostra dosada com peróxido foram as seguintes: 50%, 25%, 12,5% e 6,25%, além do controle, que é a água de cultivo. Para as três primeiras diluições, todos os microcrustáceos (*Daphnia similis*) expostos à água cinza desinfetada não sobreviveram. Apenas a diluição de 6,25% diminuiu a taxa de mortalidade. Nessa diluição, não ocorreu imobilidade em 10% dos organismos. Assim, a diluição de 6,25% da amostra de água cinza desinfetada pelo sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-150 (em reator fotocatalítico) ainda é tóxica para o microrganismo em questão (microcrustáceo). Segundo KNIE & LOPES (2004), o Fator de Toxicidade para *Daphnia similis* (FT<sub>D</sub>) corresponde à menor diluição da amostra em que não ocorreu imobilidade em quantidade maior ou igual a 10% dos microrganismos. Nesta pesquisa, o Fator de Toxicidade para *Daphnias*, não foi encontrado e não foram feitos mais testes pela falta de organismos. Entretanto, é possível afirmar que o

$FT_D$  é maior que 5, ou seja, antes de reutilizar essa água que sofreu desinfecção, é necessário diluir acima de 5 vezes.

Ainda em relação às Tabelas 2 e 3 e à Figura 12, percebe-se que os dados de oxigênio dissolvido para *Daphnia similis*, tanto inicial quanto final, estão incompletos. Isso ocorreu devido a um erro na determinação por titulometria. Na titulação da amostra contendo peróxido de hidrogênio, o mesmo interferiu no resultado, obtendo-se assim, valores muito acima do esperado. Já para *Danio rerio*, o resultado do oxigênio dissolvido foi determinado por meio de sonda, portanto, os valores são mais confiáveis.

Os testes ecotoxicológicos realizados com *Danio rerio* apresentaram-se menos tóxicos do que com *Daphnia similis*. Os testes foram realizados com as mesmas diluições que o teste anterior. Os peixes apresentaram efeito agudo na primeira diluição (50%) e na segunda diluição (25%), porém, na última diluição, somente 10% dos organismos morreram. Assim, pode-se afirmar que o Fator de Diluição para *Danio rerio* é 2, ou seja, antes da reutilização dessa água, é necessário diluir apenas 2 vezes.

Para efeito de controle, a água de cultura utilizada em ambos os testes de ecotoxicidade também foi analisada. Os resultados mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela norma, garantindo assim, que essa água não exerceu influência nos resultados finais dos testes, já que todos os microorganismos sobreviveram.

Verifica-se que, na mesma dosagem de peróxido ( $150 \text{ mg.L}^{-1}$ ), os microcrustáceos (*Daphnia similis*) tiveram mortalidade maior que dos peixes (*Danio rerio*), para o qual a amostra é tóxica somente até a diluição de 50%. Isto mostra que o peixe apresenta uma resistência maior quando comparado ao microcrustáceo. Afirmando isso, ensaios ecotoxicológicos com *Danio rerio* e *Daphnia similis* realizados pela CETESB utilizando como substância química o dicromato de potássio, mostraram que *Danio rerio* é 1000 vezes mais resistente ao cromo do que *Daphnia similis*. Esse estudo também mostrou que o *Danio rerio* está entre as espécies forrageiras mais sensíveis ao dicromato de potássio, assim como ao peróxido, que é um oxidante forte.

Em relação aos microrganismos patogênicos e os surfactantes, o peróxido de hidrogênio combinado com UV possibilitou, provavelmente, inativar ou remover grande parte desses elementos. Em um trabalho realizado por Teodoro *et al.* (2014), os autores, utilizando o mesmo processo e a mesma dosagem de peróxido de hidrogênio ( $150 \text{ mg.L}^{-1}$ ), conseguiram inativar completamente as *Pseudomonas aeruginosa*, removendo 4,5 log desses microrganismos e, também, 98% dos Surfactantes. De acordo com os autores, os surfactantes aniônicos são, provavelmente, o principal composto presente nas águas cinza capazes de oferecer toxicidade para *Daphnia similis*. Porém, a água cinza bruta, utilizada nesse trabalho, apresentou concentração de  $2,31 \text{ mg.L}^{-1}$ , valor abaixo da faixa de concentração letal que, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2007), é de 5,8 – 9,5  $\text{mg.L}^{-1}$  para surfactantes aniônicos em relação ao sulfonato de dodecilbenzeno.

Em geral, o tratamento de águas cinza diminui o efeito tóxico agudo, como verificado no trabalho realizado por HERNÁNDEZ LEAL *et al.* (2012). Entretanto, no presente trabalho, o tratamento aplicado com o sistema UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ -150 foi o único que apresentou toxicidade aguda, mesmo tendo removido boa parte da concentração de surfactantes da água cinza bruta. Essa toxicidade foi provocada, provavelmente, pelo peróxido de hidrogênio ainda presente nas amostras de água cinza após exposição solar.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi verificado a toxicidade dos sub-produtos da desinfecção de águas cinza com os processos  $\text{H}_2\text{O}_2$ /UV. A partir de análise e comparações bibliográficas, verifica-se que o processo utilizado é altamente eficiente. Entretanto, foi detectado, a partir de testes ecotoxicológicos, que altas dosagens de peróxido de hidrogênio ( $150 \text{ mg.L}^{-1}$ ) são tóxicas, tanto para *Daphnia similis* quanto para *Danio rerio*, mesmo após duas horas de reação. Logo, constata-se que o peróxido de hidrogênio não pode ser usado em grandes concentrações, pois pode prejudicar a fauna aquática do corpo receptor em que o efluente desinfetado venha a ser lançado. Para que esse efluente possa ser descartado em corpo receptor, deve ser realizado a diluição ou remoção de peróxido de hidrogênio remanescente do processo de desinfecção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22<sup>a</sup> edition. Washington DC: American Public Health Association, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 12713. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda: Método de ensaio com *Daphnia* sp (Cladocera, Crustácea). Rio de Janeiro. 2009. 23p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 15088. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda: Método de ensaio com peixes. Rio de Janeiro, 2006, 19p.
4. CARR, R. Re-use of Process Water in the Food and Beverage Industries. Pretoria, África do Sul. 2000.
5. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Programa Bioensaios. Relatório de Atividades. 1980. São Paulo. CETESB, 1980.
6. EMMERSON, G. Every Drop is Precious: Greywater as an Alternative Water Source. Queensland Parliamentary Library, Brisbane, Austrália, 1998.
7. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Registration Eligibility Decision for Alkylbenzene Sulfonates. Estados Unidos. 2007.
8. FINLEY, S., BARRINGTON, S., LYEW, D. Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops. Water, Air, and Soil Pollution, v.199, p.235-245, 2009.
9. GUILBAUD, J., MASSÉ, A., ANDRÈS, Y., COMBEC, F., JAOUENA, Y. Influence of operating conditions on direct nanofiltration of greywaters: Application to laundry water recycling aboard ships. Resources, Conservation and Recycling, v.62, p.64-70, 2012.
10. HERNÁNDEZ LEAL, L., TEMMINK, H., ZEEMAN, G., BUISMAN, C.J.N. Characterization and anaerobic biodegradability of grey water. Desalination, v.270, p111-115, 2012.
11. HIGA, M.C. Aplicação de ensaios de toxicidade na avaliação da eficiência da radiação ionizante e da adsorção em zeólitas para o tratamento de efluentes coloridos. São Paulo, 2008. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2008.
12. KNIE, J.L.W., LOPES, E.W.B. Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações. Florianópolis: FATMA, 2004, 288p.
13. MAY, S. Caracterização, tratamento e reuso de águas cinza e reaproveitamento de águas pluviais em edificações. São Paulo, 2008. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2008.
14. REBÊLO, M.M.P.S. Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas. Maceió, 2011. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, 2011.
15. TANDLICH, R., ZUMAA, B.M., BURGESS, J.E., JONESC, K.J.W. Mulch tower treatment system for greywater reuse Part II: destructive testing and effluent treatment. Desalination, v.242, p.57-69, 2009.
16. TEODORO, A., JUNIOR, A.M.; BONCZ, M.A., PAULO, P.L. Disinfection of greywater pre-treated by constructed wetlands using photo-Fenton: Influence of pH on the decay of *Pseudomonas aeruginosa*. Journal of Environmental Chemical Engineering, v.2, n.2, p.958-962, 2014.
17. THIRUVENKATACHARI, R., KWON, T.O., JUN, J.C., BALAJI, S., MATHESWARAN, M., MOON, I.S. Application of several advanced oxidation process for the destruction of terephthalic acid (TPA). Journal of hazardous materials, 2007.
18. WINWARD G.P., AVERY L M., WILLIAMS, R.F., PIDOU, M., JEFFREY, P., STEPHENSON, T., JEFFERSON, B. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. Ecological engineering, v.32, p.187-197, 2008.
19. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater. Policy and regulatory aspects. V.I. Geneva: World Health Organization, 2006.