

## RADIAÇÕES IONIZANTES E O REUSO DAS ÁGUAS

Sueli Ivone Borrelly<sup>[1]</sup>, Maria Helena de Oliveira Sampa<sup>[1]</sup>, Hiroshi Oikawa<sup>[1]</sup>, Carlos Gaia da Silveira<sup>[1]</sup>, Celina Lopes Duarte<sup>[1]</sup> e Eloisa Helena Cherbakian<sup>[2]</sup>

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP  
Av. Lineu Prestes 2.242 - 05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil  
[sborrelly@net.ipen.br](mailto:sborrelly@net.ipen.br)

[2] Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho é destacar a possibilidade de utilizar a radiação ionizante para o tratamento de águas residuárias visando ao reuso. Essa técnica é um método eficiente que pode ser útil para o reuso uma vez que a radiação age na redução da contaminação biológica (desinfecção) e na degradação dos compostos orgânicos, promovendo uma redução da toxicidade importante para os recursos hídricos. Efluentes secundários de três estações de tratamento foram submetidos à irradiação com feixe de elétrons e a eficiência do processo foi avaliada. Visando o aspecto desinfecção, doses relativamente baixas (2,0kGy a 4,0kGy) resultaram numa redução de 4 a 6 ciclos logarítmicos para os coliformes totais. Quando a radiação foi aplicada para a melhoria geral dos efluentes quanto ao aspecto de contaminação química, o processo reduziu 78% a 100% da toxicidade aguda, medida com o microcrustáceo *D. similis* e com a bactéria *V. fischeri*.

Keywords: electron accelerator, radiation, wastewater reuse, disinfection and detoxification.

### I. INTRODUÇÃO

A demanda de água para atender aos diversos usos já é considerado um dos principais desafios deste milênio, tendo em vista que 26 países enfrentam escassez de água e outros 60 já sofrem com o abastecimento precário. A urbanização crescente agrava a situação tanto de disponibilidade de água, quanto de tratamento e de abastecimento[1]. Dentre as ações que podem aliviar esse agravamento encontram-se: a) a proteção dos ambientes aquáticos; b) a implementação de técnicas mais eficientes para o tratamento de efluentes e c) o uso racional das águas, que inclui o reuso pelos grandes usuários, principalmente a indústria[2].

O reuso da água integra a Estratégia Global para a Administração da Qualidade das Águas, proposta pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Mundial da Saúde, cujos objetivos são proteção da saúde pública, manutenção da integridade dos ecossistemas e o uso sustentado da água[3]. Define-se reuso da água como a sua utilização por duas ou mais vezes com a finalidade de evitar que as indústrias ou grandes consumidores utilizem a água potável em atividades em que seu uso é dispensável. Com isso, preserva-se a água potável para o atendimento exclusivo das necessidades que exigem sua pureza, como o consumo humano.

O tipo de contaminação das águas residuárias depende do processo produtivo que gerou o efluente. Assim, alguns efluentes necessitam de tratamentos preliminares antes de passarem para o sistema biológico, de

modo a reduzir a contaminação e a toxicidade e permitir a biodegradação da matéria orgânica. A carga tóxica que um determinado efluente apresenta é a somatória dos efeitos de todos os compostos presentes para os organismos aquáticos (organismo-teste), levando em consideração a vazão do efluente. Os efeitos das substâncias tóxicas presentes nas águas residuárias podem ser avaliados por meio de testes de toxicidade. Esses ensaios empregam diversos organismos aquáticos, devendo ser selecionados aqueles que melhor representem o ambiente onde o efluente será lançado, serem organismos sensíveis para a maioria das classes de substâncias químicas e representarem um elo importante da cadeia alimentar.

O resultado de um teste de toxicidade pode ser expresso pela concentração efetiva do contaminante que reduz 50% dos organismos expostos (CL-50-letalidade) ou de outro parâmetro que o teste avalie; por exemplo, a imobilidade para microcrustáceos utilizados em teste de toxicidade aguda (CE-50). Com os resultados dos testes de toxicidade e a vazão do efluente é calculada a carga tóxica do mesmo, a ser lançada num corpo receptor[2].

O controle ecotoxicológico de efluentes líquidos está em prática no Estado de São Paulo desde 1991, entretanto a exigência legal para esse controle foi regulamentada pela Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (Resolução SMA-03) somente em Fevereiro de 2000[3].

Alguns dos trabalhos que propõem técnicas alternativas para o tratamento de efluentes já estão considerando a eficiência do tratamento segundo a redução da toxicidade[2,4].

As técnicas que utilizam as radiações ionizantes estão em desenvolvimento para o tratamento de efluentes, podendo empregar as fontes da radiação gama ou os aceleradores de elétrons. Os benefícios da técnica são resultantes da interação das espécies formadas a partir da radiólise da água, bem como da ocorrência de reações entre essas espécies e os contaminantes. A dose de radiação a ser aplicada para cada situação é um dos parâmetros mais importantes e este já está definido para a maioria dos compostos comumente presente nas águas.

Considerando que o objetivo deste trabalho é demonstrar os benefícios que a aplicação das radiações representam para o tratamento das águas residuárias, este trabalho tratará somente dados obtidos com os efluentes finais de estações. Portanto, aqueles que já passaram pelo tratamento biológico, de modo que o efluente sofra um tratamento terciário (representado pela irradiação) com a finalidade de reuso.

## II. METODOLOGIA

O processamento de efluentes pela irradiação foi realizado com esgotos domésticos tratados e com a mistura de efluentes industriais e esgotos domésticos, procedentes de três Estações de Tratamento de Esgotos de São Paulo, com finalidades distintas e apresentadas na Tabela 1.

As irradiações foram realizadas no acelerador industrial de elétrons, RDI, com energia fixada em 1,4MeV, corrente variável conforme a dose necessária e em sistema de bateladas. As amostras foram acondicionadas em recipientes tipo pyrex, em volumes individuais de 250mL, sendo de 4,0mm a espessura da camada da água.

Os estudos que envolveram a desinfecção incluíram a contagem total de bactérias aeróbias e os coliformes totais e fecais (técnicas “plate count agar” e de tubos múltiplos, respectivamente)[5].

A avaliação da toxicidade compreendeu testes com a bactéria marinha *Vibrio fischeri* (Teste Microtox®) e com o microcrustáceo *Daphnia similis*.

Para avaliar a eficiência da irradiação na redução da toxicidade, com o microcrustáceo *D.similis*, os valores de CE-50 (concentração efetiva do efluente que reduz 50% dos organismos expostos) foram transformados em unidades tóxicas, a partir do seguinte cálculo:

$$UT = 100/CE50$$

Tomando como exemplo a ETE Suzano, cuja vazão média é 650 L/seg. A CE50 do efluente final não processado por irradiação e do tratado foram 2,07 e 83,29, respectivamente (em UTs 48,31 e 1,20). A partir dos valores de UTs obtidas para as amostras tratadas e não tratadas, foram calculados os percentuais de redução da toxicidade, bem como a carga tóxica do efluente.

O carbono orgânico total dissolvido (COTd) é um parâmetro que representa a degradação da matéria orgânica e foi analisado segundo método APHA, precedido de duas filtrações, a primeira em papel filtro e a segunda à vácuo e

em filtro Millipore (0,45µm). O equipamento utilizado foi o Analisador COT Shimadzu 5000A.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos para as ETEs Mairiporã, Barueri, e Suzano, sendo que na primeira o processo visava à redução da contaminação microbiana, enquanto nas demais o objetivo era a redução da toxicidade aguda.

TABELA 1. Estações de tratamento envolvidas e doses de radiação sugeridas.

ETE	Finalidade	Dose (kGy)	Eficiência (redução %)
Barueri	Redução toxicidade	0,25 a 1,0	93,05
Mairi-porã	Desinfecção do esgoto final	3,0	99,99
Suzano	Redução toxicidade	5,0	87,0

Os resultados da desinfecção dos esgotos são apresentados na Tabela 2, onde se verifica a eficiência do processo para a redução da carga microbiana. Doses de radiação entre 2,0 kGy e 4,0kGy reduziram a contagem inicial de coliformes em 99,99%. Foi possível observar que entre o grupo de coliformes, os coliformes fecais foram mais sensíveis à irradiação, representando a espécie *E. coli* (Número mais Provável por 100mL). Entretanto, as bactérias mesófilas apresentaram uma contagem superior quando tratadas com as mesmas doses e nas mesmas condições (Unidades Formadoras de Colônia – UFC/mL), fato esse que é explicado pela variabilidade de bactérias que estão representadas na contagem total que possivelmente contém espécies com radiosensibilidade distinta, além de partir-se de uma contaminação inicial superior.

Quanto à redução da toxicidade, que foi avaliada para as estações Barueri e Suzano, foi possível verificar que, enquanto os efluentes da ETE Barueri demandaram doses de radiação entre 0,25kGy e 1,0kGy, os efluentes de Suzano necessitaram doses entre 5,0kGy e 10,0kGy, para a obtenção da mesma eficiência (avaliada em percentuais de redução).

TABELA 2 – Redução de coliformes e bactérias totais em função da dose de radiação

Dose (kGy)	Coliformes Totais (NMP/100mL)	Coliformes Fecais (NMP/100mL)	Bactérias aeróbias (UFC/mL)
0	2,80E+07	3,30E+06	4,90E+07
2	1,30E+04	1,30E+03	4,00E+04
3	5,00E+03	2,30E+01	1,90E+03
4	1,30E+02	4,00E+00	2,10E+02

(Valores médios de 7 amostragens)[6].

A toxicidade aguda residual dos efluentes tratados pela ETE Suzano são consequência da acentuada presença de efluentes de indústrias que incluem atividades química, química-farmacêutica, da produção de papel, cortume, galvanoplastia, entre muitas outras[7].

Os dados de toxicidade mais elevadas no conjunto avaliado para o efluente final da ETE Suzano são apresentados na Figura 1. Esses dados foram apresentados em UTs e com os resultados das amostras irradiadas foram calculados os percentuais de redução entre 97% e 100%. Esses percentuais foram inferiores para as amostras menos tóxicas, conforme apresentado por Borrelly (2001). Considerando a toxicidade média obtida na ETE Suzano, eficiência de 85% e uma vazão de efluente de 650 L.s<sup>-1</sup>, 5,0kGy de dose representaria uma redução na carga tóxica de 1443 L.s<sup>-1</sup>. Situações mais críticas ocorridas nessa estação foram discutidas em outros trabalhos<sup>[2,6]</sup>.

O carbono orgânico total também acompanhado para os efluentes da ETE Suzano, demonstrou a melhoria do efluente ao receber o tratamento, atingindo uma redução do carbono orgânico total dissolvido de 25%, aproximadamente. Os dados de COTd são mostrados na Figura 2.

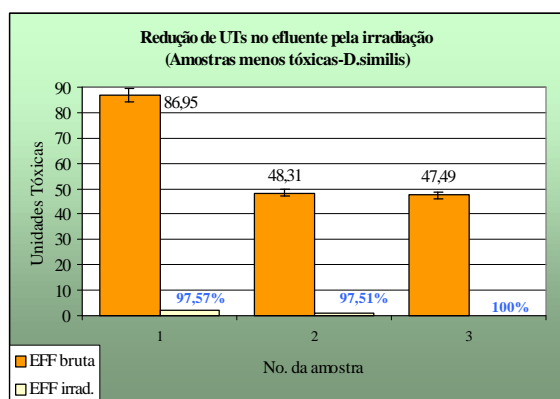


Figura 1 – Redução da toxicidade aguda do efluente final da ETE Suzano com a aplicação de 5,0kGy.

A possibilidade de utilização da radiação ionizante para o tratamento de efluentes e o respectivo reuso dos mesmos é uma realidade que tem sido demonstrada por diversos autores e países. A Estação de Tratamento de Esgotos mais crítica de São Paulo é, sem dúvida, a ETE Suzano, pelo aporte de toxicidade que a mesma recebe em virtude da presença de efluentes industriais[7]. A eficiência

da irradiação para a melhoria geral desses efluentes foi demonstrada quando Duarte[8] quantificou a maioria dos solventes orgânicos que a ETE recebe e estudou a degradação dos mesmos pela radiação. Degradação essa que culminou na consequente redução da toxicidade aguda, além da redução dos microrganismos.

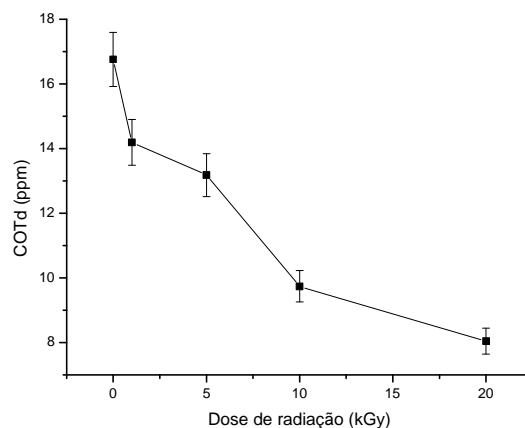


Figura 2 – Redução do COTd pela irradiação

## AGRADECIMENTOS

À Agência Internacional de Energia Atômica e à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

## REFERÊNCIAS

- [1] Fernandes, M.L. **A marcha da escassez**. *Revista Projeto Cultura*, n.º. 1. p. 23-27, Agosto/1999.
- [2] Borrelly, S.I. **Redução da toxicidade aguda de efluentes industriais e domésticos tratados por irradiação com feixes de elétrons, avaliada com as espécies *V. fischeri*, *D. similis* e *P. reticulata***. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- [3] Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Resolução SMA-03**. Fevereiro de 2000.
- [4] Araújo, R.P.A.; Gasi, T.M.T.; Gherardi-Goldstein, E.; Amaral, L.A.V.; Francisco, R. **Ozone Application for the improvement UASB reactor effluent. Toxicity Evaluation**. *Water Sci. Tech.* 18(12): 109-121. 1991.
- [5] APHA/AWWA/WPCF **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 17<sup>th</sup> ed. New York. 1995.
- [6] Borrelly, S.I. **Tratamento de esgoto sanitário com o uso de acelerador de elétrons** (Tese – mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. 1995

[7] CETESB **Redução da toxicidade em sistemas de tratamento secundário de despejos líquidos**. Rel. técnico. Junho 1990.

[8] Duarte, C.L. **Aplicação do processo avançado de oxidação por feixe de elétrons na degradação de compostos orgânicos presentes em efluentes industriais**. 1999. (Tese Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.

#### **ABSTRACT**

The aim of the present paper is to point out the possibility of including ionizing radiation for wastewater treatment and reuse. Radiation processing is an efficient technology which can be useful for water reuse once the process can reduce not only the biological contamination but also organic substances, promoting an important acute toxicity removal from aquatic resources. Final secondary effluents from three different wastewater treatment plant were submitted to electron beam radiation and the process efficacy was evaluated. Concerning disinfection, relatively low radiation doses (2,0 – 4,0kGy) accounted for 4 to 6 cycle log reduction for total coliforms. When radiation was applied for general wastewater improvement related to the chemical contamination, radiation process reduced from 78% up to 100% the total acute toxicity, measured for crustaceans, *D. similis*, and for *V. fischehri* bacteria.