

**UTILIZAÇÃO DE FEIXE DE ELÉTRONS DE ALTA ENERGIA GERADO EM ACELERA  
DOR, NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS.**

MARIA HELENA DE OLIVEIRA SAMPA  
DIONE MARI MORITA \*  
SUELI IVONE BORRELY

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP  
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros  
05499 - São Paulo - BRASIL

**RESUMO**

Amostras de águas de abastecimento e residuárias foram irradiadas utilizando feixe de elétrons de alta energia gerado em acelerador, com doses variando de 0,37kGy a 100kGy. Os resultados preliminares mostraram que a técnica é promissora, indicando destruição total de trihalometanos (THM's), em concentrações de 2,7µg/l a 45µg/l, na água tratada; remoções superiores a 90% de cor de efluentes de estações de tratamento de esgostos municipais e redução de 87% da concentração de óleos e graxas em águas residuárias contendo óleo de corte solúvel, para usinagem de metais.

**ABSTRACT**

Samples of drinking water and wastewater were irradiated using high energy electron beam with doses from 0.37kGy to 100kGy. Preliminary data show the removal of about 100% of trihalomethanes (THM) in drinking water (concentration from 2.7µg/l to 45µg/l), 90% of the color of the Public Owned Wastewater Treatment Plant effluent and 87% of oil and grease of the cutting fluid waste water.

\* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente avanço da tecnologia industrial nos mais diversos campos de aplicação, originam milhares de compostos orgânicos potencialmente nocivos quando lançados no meio ambiente.

As águas residuárias contendo tais compostos, quando dispostas no corpo receptor sem um tratamento adequado, provocam profundos danos tanto à vida aquática como ao homem. Grande parte destes compostos são biodegradados muito lentamente e persistem no meio ambiente por um longo período de tempo. [1] Estes poluentes podem bioacumular ou penetrar na cadeia alimentar e atingir valores de concentração elevados, nos níveis tróficos mais altos. Vários desses compostos são tóxicos e além de serem fisiologicamente ativos, são ou se suspeita que sejam carcinogênicos. [2]

Um outro problema que merece destaque é a formação de trihalometanos (THM's) durante a desinfecção com cloro em sistemas de tratamento de águas.

Pelas razões expostas acima, em todo mundo tem-se dado grande ênfase na identificação, monitoramento e desenvolvimento de tecnologias para a remoção desses poluentes das águas de abastecimento e residuárias.

Entre as modernas tecnologias que podem ser utilizadas na remoção de tais poluentes, face à sua segurança, eficiência e flexibilidade, está a radiação com feixe de elétrons de alta energia gerado em acelerador, diretamente ou em combinação com outros processos. [3,4]

Para as águas residuárias e de abastecimento, o efeito da radiação ionizante está relacionado principalmente com a interação da radiação com as moléculas de água, radiólise e as espécies produzidas, altamente reativas. [5] A interação dessas espécies reativas com compostos orgânicos, pode produzir novos compostos que podem ser mais facilmente biodegradáveis. [6] Simultaneamente, a radiação ionizante exerce um efeito letal nos microrganismos: bactérias, vírus, esporos e outros organismos como as algas, protozoários e parasitas. [7]

Tanto a radiólise da água quanto a interação das espécies ativas originadas com as moléculas orgânicas ocorrem em frações de segundos, quando o material atravessa a zona de exposição à radiação

ionizante.

Os efeitos físicos, químicos e biológicos da radiação ao serem aplicados adequadamente, podem tornar as águas residuárias reaproveitáveis ou com a possibilidade de serem descartadas com segurança.

Portanto, os efeitos produzidos pela radiação mediante feixe de elétrons gerado em aceleradores são a base para o desenvolvimento da técnica para o tratamento de águas de abastecimento e residuárias.

O trabalho, em desenvolvimento, tem como objetivo principal estudar a viabilidade técnica e econômica da utilização do feixe de elétrons de alta energia gerado em acelerador, na remoção de trihalometanos das águas de abastecimento e corantes, óleo mineral, bifenilas policloradas (PCB's), vírus e bactérias em águas residuárias.

## 2. METODOLOGIA

Com a finalidade de avaliar a eficiência e a influência dos parâmetros de irradiação na remoção dos poluentes, adotou-se para a coleta e preservação das amostras as recomendações descritas no "Guia Técnico de Coleta e Preservação de Amostras". [8] As amostras foram simples e coletadas manualmente.

Para o estudo da remoção de trihalometanos (THM's) em águas de abastecimento, coletaram-se amostras do afluente e efluente de uma estação de tratamento de água, cujo manancial está inserido numa área de preservação, e também nos efluentes de estações de tratamento municipais de esgotos e despejos industriais (tintas, óleo de corte, PCB's).

Para a irradiação das amostras, utilizou-se o Acelerador Industrial de Elétrons de 1,5MeV, 25mA, da Radiation Dynamics, Inc., USA, instalado no IPEN-TE. A medida da dose absorvida foi quantificada por meio de dosímetros de filmes plásticos de triacetato de celulose (CTA).

As amostras, em bateladas, foram introduzidas em sistemas de irradiação de alumínio e/ou vidro borossilicato com capacidades que

variaram de 50ml a 500ml especialmente projetados, e foram irradiadas à temperatura ambiente, em presença de ar, com doses de irradiação entre 0,37kGy a 25kGy.

A espessura das amostras (4mm), a energia dos elétrons (1,4MeV) e a velocidade de deslocamento da esteira com as amostras (6,72m/min) foram mantidas constantes em todos os experimentos. As doses aplicadas em todos os casos resultaram de uma única passagem sob o feixe de elétrons.

Executaram-se as seguintes análises, antes e após a irradiação, obedecendo as normas do "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" [9]: a) em águas de abastecimento: pH, alcalinidade total, cor real, cloretos, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos em suspensão, sólidos em suspensão fixos, sólidos dissolvidos, sólidos dissolvidos fixos, temperatura, turbidez e concentração de trihalometanos por cromatografia gasosa; b) em águas residuárias: cor real, DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), óleos e graxas, pH, sólidos totais fixos, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão, sólidos em suspensão voláteis, sólidos dissolvidos, sólidos dissolvidos fixos e turbidez; c) em Bifenilas policloradas (PCB's): espectroscopia no infravermelho.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a verificação da remoção de Trihalometanos (THM's) das águas tratadas, analisaram-se os parâmetros de potabilidade e concentrações de THM's em função das doses de irradiação aplicadas.

As concentrações iniciais de THM's variaram de 2,7µg/l a 45µg/l, e após a irradiação com doses entre 0,37kGy a 2kGy, não foram detectadas, indicando valores menores do que o limite de detecção da análise cromatográfica.

Os demais parâmetros analisados, antes e após a irradiação, em média, não apresentaram variações significativas. Estes resultados sugerem que a irradiação provavelmente não produz sub-produtos que afetem os padrões de potabilidade.

A figura 1 apresenta variação da dureza total em função da dose

de radiação de amostras coletadas com intervalos de aproximadamente 30 dias. Os resultados mostraram que não houve uma variação sistêmica e significativa da dureza total.

Nas figuras 2, 3 e 4 são apresentados os valores encontrados para alcalinidade, pH e turbidez das mesmas amostras. Para estes parâmetros, certas amostragens apresentaram variações anômalas em relação ao conjunto, não permitindo concluir, até o presente, a influência da radiação com base nestes resultados.

Com a finalidade de comparar esta técnica com o tratamento convencional das águas de abastecimento, irradiaram-se amostras de água bruta com várias doses. Os resultados preliminares mostraram que os valores dos parâmetros de potabilidade nas amostras irradiadas, estão abaixo daqueles obtidos com amostras de águas tratadas, indicando que há possibilidade da aplicação dessa técnica no tratamento de águas que apresentarem características semelhantes ao manancial estudado.

A tabela 1 mostra os resultados obtidos na irradiação de amostras provenientes de uma estação de tratamento de esgotos municipal. Observa-se que há uma remoção significativa na cor aparente e real de amostras coletadas no bruto, após decantador primário e no efluente do tratamento biológico (ETB). Nota-se também, que com o aumento da dose de irradiação há um acréscimo nos valores da cor nas amostras do bruto e do efluente do decantador primário, sendo mais acentuado nos valores da cor aparente.

A tabela 2 apresenta os valores de parâmetros convencionais nos mesmos pontos de amostragem para uma dose de irradiação de 20kGy. Verifica-se que há reduções das cores aparente e real nas três amostras, sendo que para o efluente do tratamento biológico, esses valores foram superiores a 90%.

Com relação à Demanda Bioquímica de Oxigênio, (DBO), o seu valor foi reduzido em torno de 50% nas duas primeiras etapas do tratamento e sofreu um aumento na terceira etapa, provavelmente face à formação de sub-produtos biodegradáveis e não oxidados pelo dicromato, o mesmo acontecendo com os parâmetros de sólidos em suspensão e turbidez.

Com doses de irradiação variadas aplicadas ao efluente do tratamento biológico, os valores das cores aparente e real diminuíram em função do aumento da dose, ao contrário dos parâmetros de turbidez e dos sólidos em suspensão, conforme mostra a tabela 3. Os valores da DBO, sofreram alterações, mas não indicaram nenhuma tendência em função da dose de irradiação.

Ao realizar experiências com despejos industriais provenientes de indústrias de tintas e de fabricação de equipamentos pesados, verificou-se no segundo caso, a influência da aeração para uma mesma dose de irradiação, melhorando a eficiência da técnica (Tabela 4). Esses resultados indicam a provável formação de compostos polares com a irradiação, resultando na remoção de 87% de óleos e graxas. Convém ressaltar que as estações de tratamento de esgotos municipais existentes não removem o óleo mineral destes despejos.

Para os despejos provenientes das indústrias de tintas, obteve-se uma remoção de 80% na cor real e aproximadamente 50% na concentração de óleos e graxas, com uma dose de irradiação de 10kGy. Os valores obtidos nas concentrações da DBO, foram zero para todas as doses de irradiação investigadas, concluindo-se que os parâmetros avaliados não são bons indicadores do grau de poluição, necessitando-se a realização de análises dos poluentes específicos, tais como: solventes, ftalatos, pigmentos, etc.

Com a finalidade de investigar preliminarmente a eficiência da irradiação na destruição das bifenilas policloradas (PCB's), irradiaram-se amostras concentradas com doses variando entre 4kGy a 10kGy. Na análise dos espectros de infravermelho, observou-se na estrutura do composto, o aparecimento de radicais hidroxila, grupos de aldeídos e a diminuição da ligação C-Cl. Estes resultados apresentam concordância com outros pesquisadores [10], mostrando que a radiação com feixe de elétrons de alta energia gerado em aceleradores, pode ser uma das alternativas para a destruição de bifenilas policloradas (PCB's).

A técnica de irradiação por feixe de elétrons de alta energia gerado em aceleradores no tratamento de águas de abastecimento e

residuais , mostrou resultados promissores, merecendo para as conclusões finais, obtenção de um número maior de dados, principalmente com relação aos despejos industriais, visto que as amostras analisadas foram reais e não ideais como as utilizadas pela maioria dos outros pesquisadores.

Os fatores que serão investigados são: espessura da camada da amostra a ser irradiada, condições de irradiação, adição de outros oxidantes e tratamentos complementares à irradiação.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a colaboração dos Engenheiros Alcides Diniz Garcia, da CETESB, João Jorge da Costa e Pedro Mancuzo da SABESP, Dr<sup>a</sup> Maria Therezinha Martins da USP/ICB e aos amigos dos Departamentos de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP e de Aplicações de Radioisótopos e Radiações na Engenharia e Indústria do IPEN.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANTHONY, R.M.; DREIMHURST, L.H. Determining maximum influent concentration of priority pollutants for the treatment plant. Journal Water Pollution Control Federation, 53, 1457, 1981.
- [2] PROCTOR, N.H.; HUGHES, J.P. Chemical hazards of the workplace. J. B. Lippincott Company, Philadelphia, 1978.
- [3] BALLANTINE, D. S. Potential role of radiation in waste water treatment. Isotopes in radiation technology, 8 (4), 415-428, 1971.
- [4] GETOFF, N. Radiation induced decomposition of biological resistant pollutants in water. Int. J. Radiat. Appl. Instrum. Part. A. Appl. Radiat. Isot., 87(11), 1103-1109, 1986.
- [5] SAKUMOTO, A.; MIYATA, T. Treatment of wastewater by a

- combined technique of radiation and conventional method.  
Radiat. Phys. Chem., 24(1), 99-115, 1984.
- [6] LEVAILLANT, C.; GALLIEN, C.L. Sanitation methods using high energy electron beams. Radiat. Phys. Chem., 14, 309, 1979.
- [7] PIKAEV, A.K.; SHUBIN, V.N. Radiation treatment of liquid wastes. Radiat. Phys. Chem., 24(1), 77, 1984.
- [8] CETESB, Guia técnico de coleta e preservação de amostras de águas. 1ª Edição, SP, 1987.
- [9] APHA; AWWA e WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16ª Edição, 1985.
- [10] M.I.T. Report to U.S. National Science Foundation. Dec. 1977 on "High energy electron radiation of waste water liquid residuals. NSF Grant ENV 7413016.

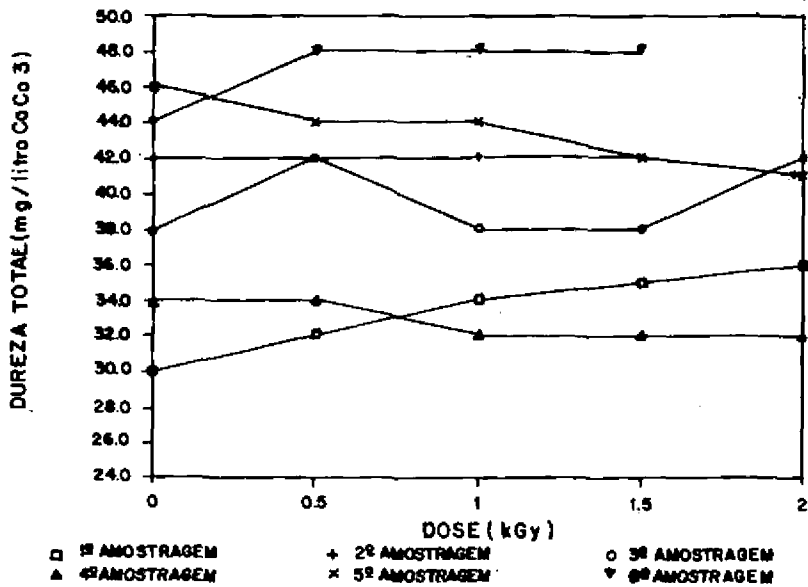


FIGURA 1. VARIAÇÃO DA DUREZA EM FUNÇÃO DA DOSE DE IRRADIAÇÃO.

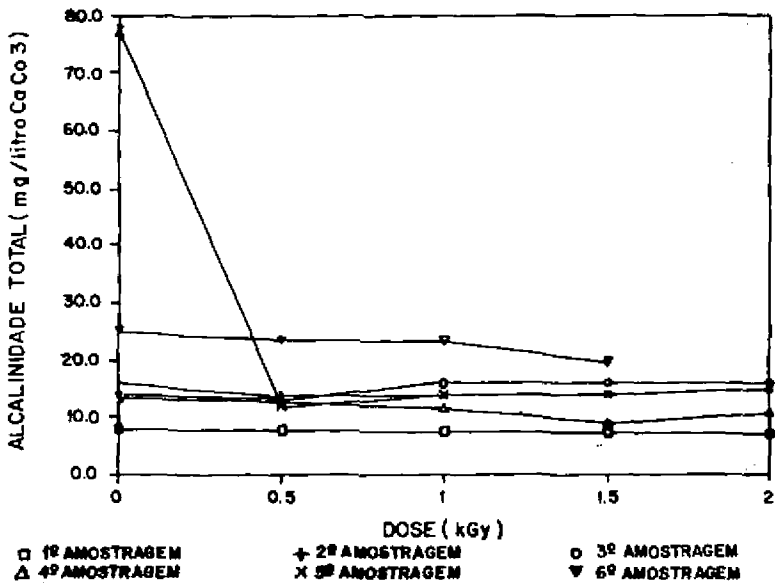


FIGURA 2. VARIAÇÃO DA ALCALINIDADE TOTAL EM FUNÇÃO DA DOSE.

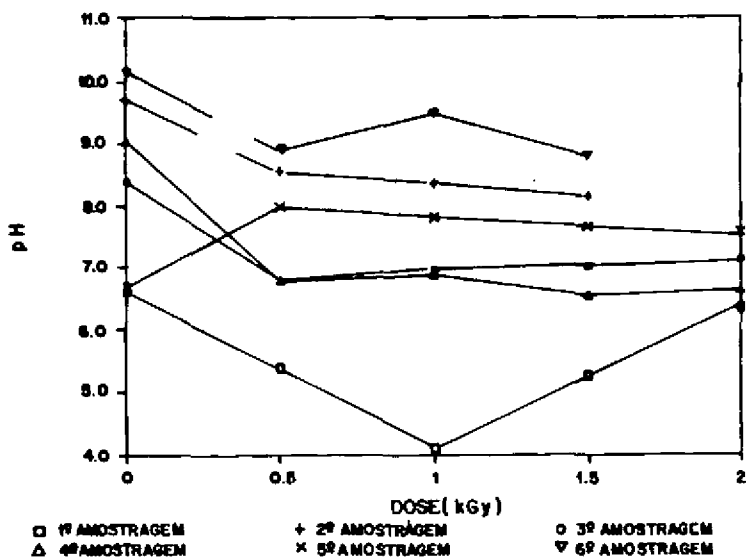


FIGURA 3. VARIAÇÃO DO pH EM FUNÇÃO DA DOSE.

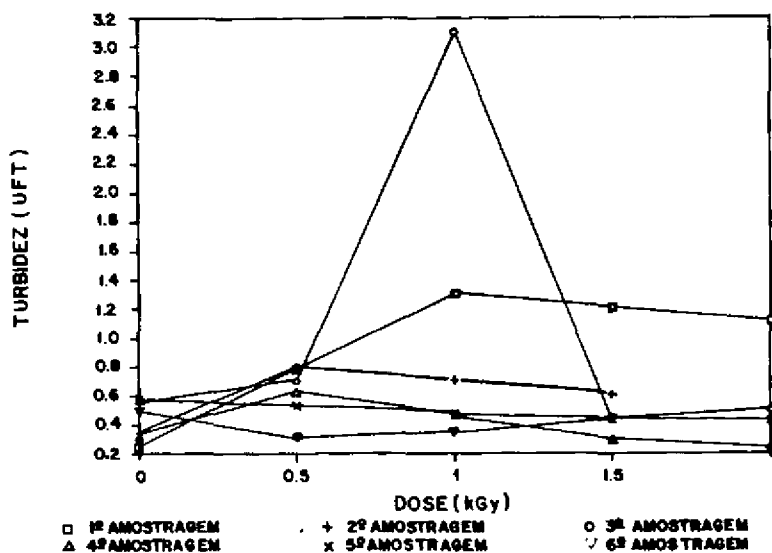


FIGURA 4. VARIAÇÃO DA TURBIDEZ EM FUNÇÃO DA DOSE.

TABELA 1 - Variação da cor aparente e real (\*) em função da dose

DOSE (kGy)	0	5	10	50
AMOSTRA BRUTO	3200 253 *	80 49 *	120 59 *	500 250*
APÓS DECANTADOR PRIMÁRIO	3000 550 *	500 250 *	1300 250 *	1620 280 *
EFLUENTE DO TRATAMENTO BIOLÓGICO	900 153 *	82 20 *	45 15 *	7,5 < 2,5 *

TABELA 2 - Variação dos parâmetros convencionais para uma dose de 20 kGy

AMOSTRA PARÂMETROS	UNIÇÃO	ESGOTO BRUTO	APÓS DECANTADOR PRIMÁRIO	EFLUENTE DO TRATAMENTO BIOLÓGICO
Cor aparente	-	450 250*	400 200*	1100 37,5*
Cor real	-	5 8*	8 8*	58 8*
DBO	mgO <sub>2</sub> /l	683 378*	725 350*	35 58*
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	1383 1425*	1616 1470*	313 253*
Sólidos em suspensão	mg/l	326 294*	664 554*	28 88*
Turbidez	UFT	5,1 170*	1,30 98*	1,8 20*

\* Amostras Irradiadas

TABELA 3 - Variação dos parâmetros convencionais em função da dose (efluente do tratamento biológico)

PARAMETROS DOSE (kGy)	Cor Aparente	Cor real	DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	Sólidos em suspensão (mg/l)	Turbidez (UFT)
0	1100	58	35	313	28	1,8
0,5	75	5,5	62	289	28	8
1,0	52	5,5	47	287	44	17
2,0	37,5	6,0	58	253	88	20
3,0	30	4,5	40	235	108	22
4,0	25	2,0	34	233	110	26

TABELA 4 - Influência da aeração na irradiação do despejo industrial (Óleo de corte)

PARAMETROS AMOSTRA	DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	Óleos e Graxas (mg/l)
Bruto	6257	30588	920
Bruto aereado 100 kGy	5818	29706	120
Bruto 100 kGy	6104	29902	500