



II-003 - A RADIAÇÃO GAMA NA DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Cláudio José de Freitas Vasconcelos

Possui graduação em Bacharelado em Física com ênfase em Física Médica pela Universidade Católica de Pernambuco (2006) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2011). Atualmente é tutor do curso de física a distância da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamento de efluentes, radiação e efeitos biológicos.

André Diego Leite Souto de Lucena

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (2007). Mestre em Engenharia Química na área Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (2011). Tem experiência nas áreas: Tecnologia Química e de Química Analítica, com ênfase em Cromatografia a Gás (GC), Cromatografia a Líquido (HPLC) e Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA).

Joelma Morais Ferreira

Engenheira Química e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba e Doutora em Engenharia de processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é professora colaboradora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e Co-Orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, da Universidade Federal de Pernambuco

João Antonio Filho

Possui graduação em Bacharelado Em Física pela Universidade Federal de Pernambuco (1979), mestrado em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal de Pernambuco (1983) e doutorado em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (1999). Atualmente é físico -pesquisador da Universidade Federal de Pernambuco, professor adjunto da Universidade Católica de Pernambuco e professor colaborador da Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência em Radioproteção e Dosimetria.

Maurício Alves Motta Sobrinho¹

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Católica de Pernambuco (1992), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (1995) e doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (2001). Atualmente é professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e em Engenharia Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq desde 2004.

Endereço ⁽¹⁾: Laboratório Interdisciplinar de Processos Ambiental da UFPE (LIMA-UFPE) - Departamento de Engenharia Química - CTG - Universidade Federal de Pernambuco - Cidade Universitária – 50740-521 - Recife - Pernambuco – Brasil - Tel.: (81) 2126-7268 – Fax: (81) 2126-7278 - e-mail: mottas@ufpe.br

RESUMO

A radiação ionizante tem sido considerada para o tratamento de efluentes desde a década de 1970. A qualidade dos efluentes descartados nos corpos hídricos, no país, ainda não é devidamente controlada, com o descarte de efluentes brutos e a ineficiência das ETEs, causando efeitos deletérios na fauna, flora e na população. Desta forma o presente trabalho visou avaliar o uso da radiação gama (Cobalto 60) como uma alternativa para tratamento de efluentes de indústrias têxteis. Para tanto foram utilizados três corantes têxteis (Drimaren Red, Drimaren Gold e Indosol Blue) cedidos pela Clariant. A caracterização do corante foi realizada por espectrofotometria UV-Visível. O tratamento por radiação mostrou-se extremamente satisfatório, permitindo a sua utilização para a degradação dos corantes onde foi obtido uma degradação acima de 90% para uma dose de apenas 2kGy para concentração de 10 ppm o que é uma boa redução de cor dos corantes utilizados. Na concentração com 100 ppm a redução foi menor em relação as concentrações de 10 e 13 ppm mas mesmo assim conseguiu-se uma boa redução de cor utilizando a radiação gama. Com esses dados foi obtidos resultados que possam substituir os tratamentos tradicionais.

PALAVRAS-CHAVE: Corantes, radiação gama, tratamento de efluentes têxteis.



INTRODUÇÃO

A presença de corantes em águas de rios, originados de indústrias têxteis e químicas que fabricam corantes tem sido tratado com bastante preocupação. Grandes quantidades de substâncias químicas chegam aos corpos hídricos e provocam modificações negativas do seu estado biológico, químico e físico (KNIE & LOPES, 2004; BRAGA, 2002).

Os efluentes, tanto industriais como municipais, podem conter centenas, até milhares de produtos químicos e alguns efluentes mesmo em pouca quantidade podem ser responsáveis pela toxicidade aquática (HIGA, 2008). Vários milhões de compostos químicos tem sido sintetizados nos últimos cem anos, estimando-se que 10.000 tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil (HIGA, 2008).

Os efluentes descartados pelas indústrias têxteis contém corantes tóxicos e refratários em elevadas concentrações. O descarte de efluentes da indústria têxtil tornou-se um sério problema ambiental que envolve vários países. A maioria dos corantes empregados na indústria têxtil não são biodegradáveis, não sendo assim obtida uma alta eficiência no tratamento deste efluentes por processo convencionais (SUZUKI et al., 1978; NAGAI & SUZUKI, 1978; SUZUKI et al., 1975; HIGASHI et al., 1996).

Estima-se que cerca de 30% da produção mundial de corantes é perdida para o ambiente durante a síntese, o processamento ou a aplicação desses corantes (PEREIRA & FREIRE, 2005). Durante a etapa de coloração da atividade têxtil são adicionados aos banhos de corantes reativos quantidades significativas de ureia e NaCl, que agem aumentando a solubilidade e a fixação do corante na fibra, respectivamente. Estes aditivos permitem uma melhor qualidade ao produto final, porém, também são arrastados nos efluentes juntamente com os corantes (FONSECA et al., 2003).

Os corantes utilizados pela indústria têxtil podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo, etc.) ou pelo método de fixação à fibra têxtil (reativos, diretos, azóicos, ácidos, dispersos, etc.) (ALMEIDA, 2004)

Vários estudos sobre radiação gama foram desenvolvidos para o tratamento de contaminantes perigosos a partir de matrizes diferentes. Para a melhoria das águas residuais, centenas de trabalhos mostraram os sistemas orgânicos de degradação em função de doses de radiação.

As radiações ionizantes são agentes deletérios do material genético e, por vezes, são capazes de promover as quebras duplas da molécula de DNA (DSB, double strand break) as quais, inadequadamente ou não reparadas, podem produzir mutações ou levar a apoptose (CAVALCANTE-SILVA et al., 1998).

Os efeitos positivos e negativos que uma atividade econômica em funcionamento ou ainda projetada, exerce sobre o nível de vida e o ambiente físico de uma zona de influência, em particular os efeitos dos contaminantes dos efluentes têxteis sobre os diferentes elementos receptores (homem, ar, corpos de água e solo) é definido como impacto ambiental (SILVA, 2008).

A radiação ionizante tem sido utilizada em diversas áreas como: ambiental, agrícola, saúde, indústrias, entre outros. No tratamento de efluentes, quando a radiação interage com a água e seus poluentes, promove a desinfecção, degradação de compostos organoclorados, redução da carga orgânica, da DBO e da DQO, redução da coloração de efluentes industriais (ROMANELLI, 2004).

Borrely et al (2004) realizaram um trabalho inédito usando radiação com feixe de elétrons, para efluentes industriais. Enquanto Pinheiro e colaboradores (2007) estudaram a toxicidade de corantes reativos em solução aquosa (ReactiveRed 198 e Reactive Black 5) e sua degradação com doses de radiação de 0,5 kGy até 10 kGy, Higa e colaboradores (2007) estudaram a eficiência da irradiação para descolorir e reduzir a toxicidade de corantes contidos em efluentes reais. A radiação ionizante também se mostrou eficiente na degradação e na redução da toxicidade de surfactantes aniônicos (ROMANELLI, 2004).

A combinação de peróxido de hidrogênio com a radiação UV é necessária para produzir radicais OH• e iniciar a reação de oxidação da ligação azo reduzindo, assim, a presença de cor nas soluções (ARAUJO et al, 2006). O

poder oxidante do peróxido de hidrogênio não foi suficiente para promover a degradação dos corantes reativos, necessitando da presença de irradiação UV para que ocorra a degradação dos corantes. A razão de descoloração é favorecida pela presença de H₂O₂, devido aos radicais hidroxilas geradas durante as reações fotoquímicas (NEAMTU et al, 2002).

Para estimular a formação de radicais nos processos de oxidação avançada utilizam-se ativadores, catalizadores e efeitos fotoinduzidos. Os oxidantes mais utilizados industrialmente nos processos de oxidação são: oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio (KAMMRADT, 2004).

Desta forma, este artigo tem por objetivo avaliar o emprego da radiação gama no tratamento de efluentes da indústria têxtil. Inicialmente estão sendo estudada a degradação de diferentes tipos de corantes submetidos a doses diferentes de radiação.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras dos corantes reativos Drimaren Red, Drimarem Gold e Indosol foram cedidas pela Clariant do Brasil. Foi feita uma solução mãe de 100mg/L para cada corante, a partir da qual foram preparadas as soluções a 10mg/L, sendo esta a concentração inicial (C₀) a ser utilizada nos ensaios de degradação com os corantes Drimarem. No caso do Indosol a C₀ foi de 13 mg/L.

Os valores das concentrações iniciais e finais foram obtidos por um espectrofotômetro UV-visível Thermo Genius 10TM (Watham, MA – EUA) (Figura 1a). Houve uma calibração prévia (curva de calibração) para cada corante com diferentes concentrações dos corantes. Foram tomadas amostras de 25 mL, que foram irradiadas com 2, 5 e 10 kGy (kilogray) em seguida foram feitas novas amostras e irradiadas com 1.5, 1 2 0.5 kGy a partir de uma fonte de Cobalto no Gammacell 220 Excel (Figura 1b). Foi realizada uma varredura UV-Visível do espectro do corante e tomando o pico de absorção máxima como referência (valor inicial) e a partir dos valores deste mesmo pico após os tratamentos é calculada a eficiência de remoção a partir da Equação 1.

$$e = \frac{(C_{E0} - C_E)}{C_{E0}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$



Figura 1 : Foto do Espectrofotômetro UV-Vis (a) e do Gamma Cell (b)

Em seguida, foram utilizados o Drimaren Red e Gold e o Indosol Blue a 100ppm, na quantidade de 50 ml de cada corante, em seguida o material foi irradiado com radiação gama, com doses variando de 2, 5 e 10 kGy, em seguida o material irradiado foi levado espectrofotômetro – UV afim de analisar a degradação do corante, comparando os resultados obtidos com as curvas de calibração existentes de cada corante.

RESULTADOS

A Figura 2 mostra os resultados obtidos com tratamento da radiação gama. Como em 2kGy tivemos mais de 92% de remoção, as doses foram variadas entre 0,5 kGy; 1,0 kGy e 1,5 kGy, porém nas doses inferiores a 2 kGy, os resultados obtidos não foram tão significativos, pois a redução de cor ficou entre 80% para 1,5 kGy e nas dose mais baixa a redução foi próxima de apenas 46%., Portanto para este tipo de corante, com uma concentração inicial de 10 mg/L não podemos utilizar doses abaixo de 2 kGy.

Já para doses acima de 2kGy o resultados foram bem significativos onde para 5 kGy tivemos uma remoção de 96%, e para dose de 10 kGy obteve uma redução de cor de mais de 97 %, mas se formos comparar a dose de 2 kGy e 10 kGy, devemos notar que entre essas doses a variação foi de apenas 5% que neste caso iria aumentar os custos no tratamento, desta forma para o corante reativo Drimaren red a 10 ppm a dose economicamente viável ficaria entre 2 kGy e 5 kGy, sabendo que cada dose tem um determinado tempo de exposição.

Através dos espectros UV-Vis obtidos para estes experimentos (Figuras 2b e 2c), observa-se que não há o aparecimento ou intensificação de nenhum pico, ocorre apenas a atenuação de todos eles.

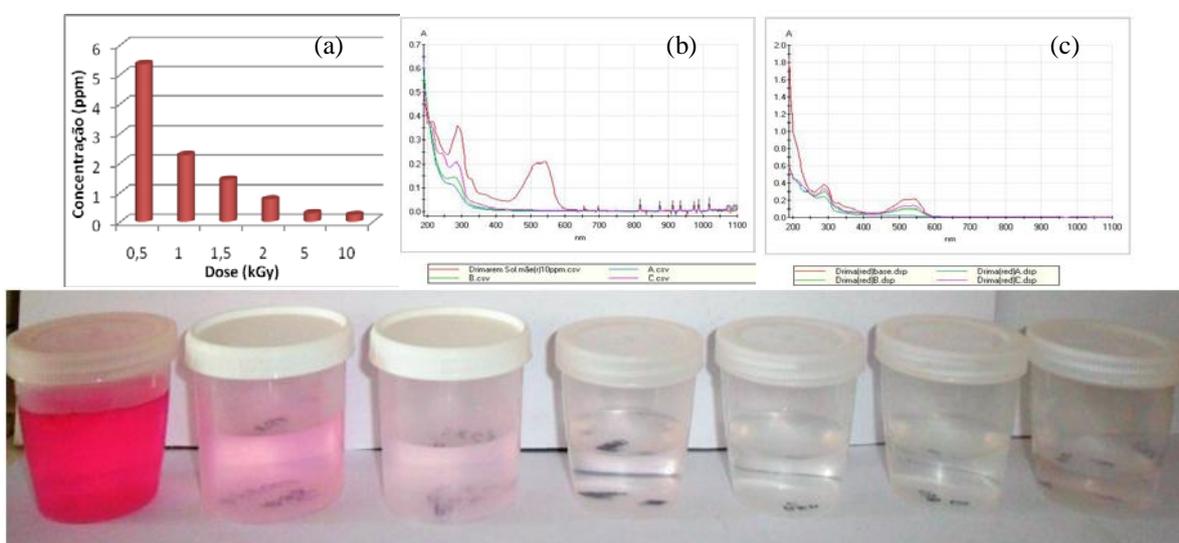


Figura 2: Drimaren red a 10ppm irradiados com doses de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 5,0 e 10 kGy (a), espectro com doses de 2,0, 5,0 e 10 kGy (b), espectro com doses 0,5, 1,0, 1,5 kGy (c), imagem dos corantes seguindo da concentração inicial até a maior dose (d).

Como no caso do corante reativo Drimaren red, o Drimaren gold também é um corante reativo, só que no caso do gold houve uma maior degradação, pois conseguiu reduzir cerca de 99% de cor em uma das doses estudadas (Figura 3a). Assim como para o corante DR (Drimaren Red), para este corante (DG - Drimaren Gold) também não houve o aparecimento de novos picos no espectrograma (Figuras 3b e 3c), apenas a amortização dos existentes. Pode-se assim, supor que não há geração de novos compostos, apenas degradação. Esta afirmação necessitará de estudos mais aprofundados para ser confirmada.

No caso do Drimaren gold foram feitas as irradiações gama, com doses variando de 0,5 kGy a 10,0 kGy. Sendo que para doses menores tivemos resultados bem significativos o que mostrou que a estrutura deste corante difere um pouco do corante Drimaren red (da mesma classe). Pela Figura 3 com apenas 0,5 kGy tivemos uma redução de mais de 96% na redução de cor isto a 10 ppm do corante. Uma vez variando as doses a 1,0 kGy tivemos uma redução de mais de 97%, entre 1,5 e 2,0 kGy a redução ficou entre 97% , em 5,0 kGy a redução foi de mais de 98% e a 10,0 kGy a redução ficou em mais de 99%.

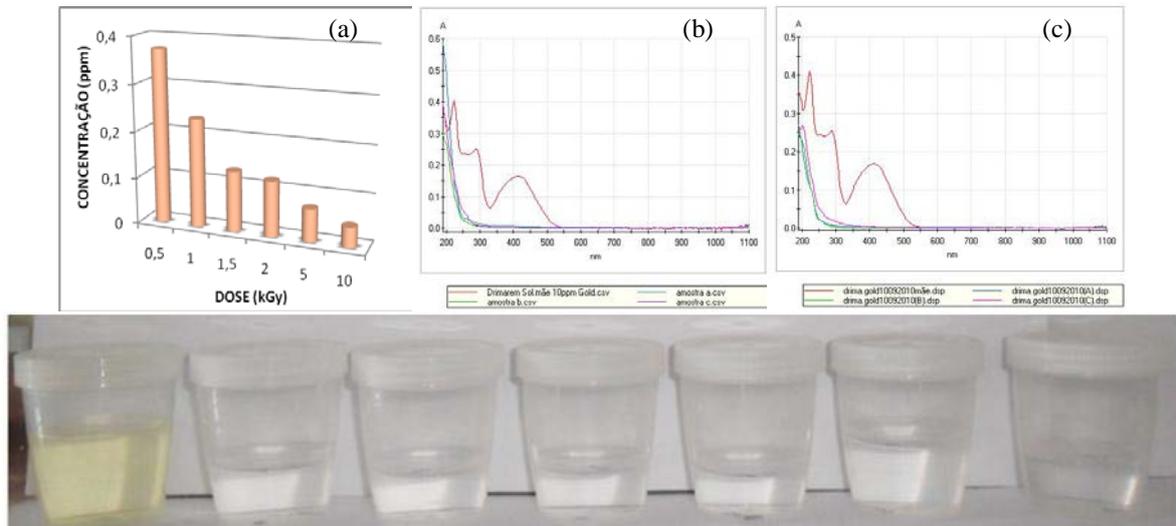


Figura 3: Drimarem gold a 10 ppm irradiados com doses de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0 e 10 kGy (a), espectro com doses de 2.0, 5.0 e 10 kGy (b), espectro com doses de 0.5, 1.0, 1.5 kGy (c), imagem dos corantes seguindo da concentração inicial até a maior dose (d).

O corante direto Indosol blue apresentou resultados não tão satisfatórios quando relacionados aos dos corantes reativos Drimaren, tal fato pode ser explicado pela quantidade de grupamentos azo. Segundo Guaratini & Zanoni, (1999) pode apresentar corantes contendo mais de um grupo azo (díazo, triazo e etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos.

Segundo os procedimentos utilizados para os corantes reativos Drimaren foram feitas irradiações gama com as doses variando de 0,5 kGy a 10,0 kGy, para a concentração inicial de 13,0 ppm. Sendo que inicialmente para dose de 2kGy conseguiu-se uma remoção de cor em 91% (Figura 4), que diante dos corantes reativos foi uma boa remoção sabendo que para este corante a sua concentração é maior em 3,0 ppm, fato este que deve-se levar em conta, mas como nos demais corantes foram feitas outras irradiações, que para doses abaixo de 2 kGy os resultados não foram tão satisfatórios.

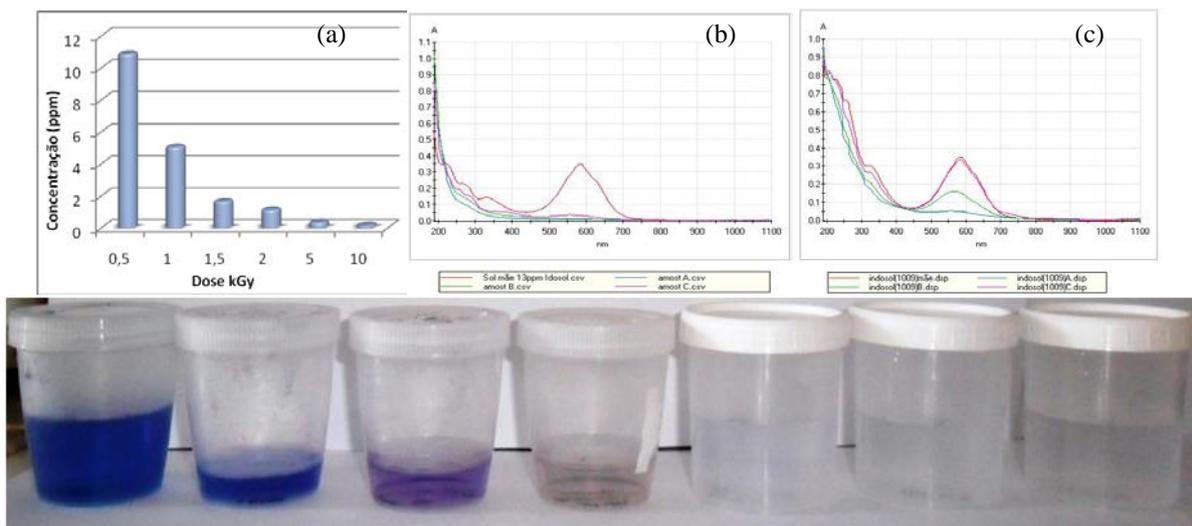


Figura 4 : Indosol blue a 13ppm irradiados com doses de 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 5.0 e 10 kGy (a), espectro com doses de 2.0, 5.0 e 10 kGy(b), espectro com doses de 0.5, 1.0, 1.5 kGy (c), imagem dos corantes seguindo da concentração inicial até a maior dose (d).

Com a dose de 0,5 kGy obteve-se uma redução de apenas 17%, o que comparado aos reativos foi muito baixa, já com uma dose de 1,0 kGy foi observada uma redução de 62 %. Em doses mais elevadas como de 1,5 kGy

tivemos uma redução de 90% que ficou próximo a dos reativos Drimaren. Enquanto que nas doses acima de 2,0 kGy (Figura 4a) os resultados foram excelentes com redução acima dos 97% para 5,0 kGy e 98% de redução de cor para 10,0 kGy.

A Figura 4b e 4c apresentam os espectro de varredura UV-Vis das soluções de corante irradiadas. Através desta figura é possível verificar a fraca atenuação provocada pelas doses mais baixas, assim como constatar que não há aumento de nenhum outro pico.

Com estes resultados em mãos podemos dizer que a radiação ionizante gama é bastante promissora na remoção de cor levando em conta a doses aplicadas para conseguirmos uma remoção acima de 90%.

Estudo a concentração elevada - 100 ppm

Tendo sido satisfatórios os resultados obtidos com as concentrações de 10ppm para os corantes Drimaren red e gold e 13 ppm para o Indosol Blue, apresentados anteriormente, partiu-se para doses maiores. Foram testadas concentrações de 100 ppm para os três corantes apresentados, os quais foram irradiados com as doses de 2, 5 e 10 kGy (fonte Cobalto 60).

Através da Figura 5a, pode-se observar reduções satisfatórias para as doses acima de 5kGy para o corante Indosol blue com 75% de remoção de cor, a 10 kGy a remoção foi 83%, enquanto que a 2 kGy a redução foi de apenas 66%. Sabendo que foi utilizada uma concentração elevada do corante, os valores finais para tal concentração foram satisfatórios ao se comparar com outros tratamentos utilizados. Segundo Immich (2006) as técnicas químicas são geralmente caras e, embora o corante seja removido, há acumulação de lodos concentrados, gerando um problema de tratamento de resíduos. Existe também a possibilidade de um problema de poluição secundária aparecer devido ao excessivo uso de produtos químicos.

A Figura 11b apresenta fotos das soluções, para que se possa constatar que não ocorreram variações significativas na intensidade da cor. Os cálculos para redução % de cor foi realizado de acordo com a Equação 1.

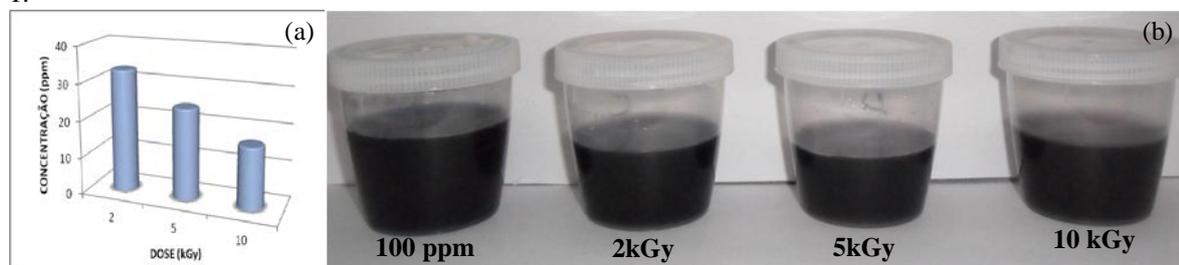


Figura 5 : Indosol blue com concentração de 100 ppm irradiados com dose de 2, 5 e 10 kGy(a), fotos do corante Indosol Blue bruto e após irradiação em ordem decrescente (b).

Já para o Drimaren red a 100ppm a radiação gama apresentou resultados melhores em relação ao Indosol blue, conforme mostra a Figura 12a. Foi obtida uma degradação de cor acima de 86% para apenas 2kGy, para 5 kGy a degradação foi 92% e para 10 kGy a degradação foi de 94 %. A partir destes resultados pôde-se afirmar que o sistema de irradiação para este corante é eficiente, pois promove a degradação do corante. Segundo Pinheiro e colaboradores (2007), não ocorre só a redução da intensidade da cor (degradação da estrutura do corante), mas ocorre também uma mudança na estrutura do mesmo, diminuindo também sua toxicidade em alguns caso. Ressalta-se ainda que a radiação ionizante não deixa resíduos de corantes como em outros tratamentos utilizados, como o caso coagulação/floculação ou o processo anaeróbico, que deixa como resíduo o lodo. A Figura 6b mostra a o aspecto visual dos corantes após a degradação pela radiação gama.



Figura 6 : Drimarem red com concentração de 100 ppm irradiados com dose de 2, 5 e 10 kGy (a), fotos do corante Drimaren red bruto e após irradiação em ordem decrescente (b).

Para o Drimaren gold os resultados foram muito bons, pois obteve-se reduções acima de 93% com doses de apenas 2kGy (Figura 13a). Este fato mostra que a radiação gama para esse corante tem uma eficiência muito boa, principalmente em se tratando de um corante reativo, que foi facilmente degradado, fato que não ocorreu com os outros dois corantes. A Figura 7a mostra a relação dose versus concentração e mostra como a cada dose aplicada a cor diminui. Na Figura 7b é possível constatar visualmente os excelentes resultados obtidos para este corante.



Figura 7 : Drimarem gold com concentração de 100 ppm irradiados com dose de 2, 5 e 10 kGy (a) e fotos do corante e após irradiação em ordem decrescente (b).

CONCLUSÕES

O processo de tratamento por radiação mostrou-se extremamente satisfatório, permitindo a sua utilização para a degradação dos corantes. Ensaios serão realizados com efluentes reais objetivando assim substituir o processo de coagulação/floculação/decantação, hoje empregados nas indústrias têxteis de pequeno e médio porte, que geram um resíduo sólido classe I, por um processo mais eficiente e "limpo". Ressalta-se que uma fonte de ^{60}Co para irradiar o efluente dura mais de 5 anos.

O tratamento por radiação mostrou-se extremamente satisfatório, permitindo a sua utilização para a degradação dos corantes onde foi obtido uma degradação acima de 90% para uma dose de apenas 2kGy para concentração de 10 ppm o que é uma boa redução de cor dos corantes utilizados.

Na concentração com 100 ppm a redução foi menor em relação as concentrações de 10 e 13 ppm mas mesmo assim conseguiu-se uma boa redução de cor utilizando a radiação gama. Com esses dados foi obtidos resultados que possam substituir os tratamentos tradicionais

A partir da análise do efeito da radiação sobre os três corantes, pôde-se evidenciar que tanto a classe do corante quanto a estrutura responsável pela cor influenciam na energia requerida para degradação do corante por radiação gama.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E., ASSALIM, M. R., ROSA, M. A., DURÁN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. Quim. Nova, Vol. 27, No. 5, 818-824, 2004
- ARAÚJO, F. V. F.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C. Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com $\text{H}_2\text{O}_2/\text{uv}$. Quim. Nova, Vol. 29, No. 1, 11-14, 2006.



3. BORRELY, S. I.; MORAES, M. C. F.; ROMANELLI, M. F.; CHERBAKIAN, H.; SILVA, G. P. - Whole acute toxicity removal from industrial and domestic effluents treated by electron beam radiation: emphasis on anionic surfactants. *Rad. Phys. and Chem. (Oxford)*.V.71, p.463-465, 2004.
4. BRAGA, E. S. *Bioquímica marinha e efeitos da poluição nos processos bioquímicos*. 2ª edição. São Paulo, SP: FUNDESPA, 2002.
5. CAVALCANTE-SILVA, E. et al. Controle populacional de cianobactérias tóxicas através de radiação gama integrada a agentes físicos exógenos. V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São Jose dos Campos, 1998.
6. FONSECA, F. V.; YOKOYAMA, L.; TEIXEIRA, L. A. C ; BATISTA. T. P. - Estudo da degradação de corantes reativos por oxidação com H₂O₂ fotoativado com radiação ultravioleta. II Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados. Livro de Resumos. Campinas 25 - 27 de Agosto de 2003.
7. HIGA, M. C., Aplicação de ensaios de toxicidade na avaliação da eficiência da radiação ionizante e da absorção em zeólitas para o tratamento de efluentes coloridos. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, 2008.
8. HIGA, M. C ; FUNGARO, D. A.; SOMESSARI, E. S. R.; MAGDALENA, C. P.; GROSCHE, L. C ; NETO, A. C. N.; BORRELY, S. I.- Electron Beam Irradiation and Zeolites Adsorption Applied to Dyeing Effluents. *International Nuclear Atlantic Conference (INAC)*, p. 15, 2007.
9. HIGASHI, K., YAMANE, M., TAKEDA, S., KAWAHARA, A., WAKIDA, S., 1996. Research survey on prevention of pollution by wastewaters. *Mizushorigijutsu*. 37, p. 187-200.
10. KAMMRADT, P. B. – Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através do processo de oxidação avançada. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
11. NAGAI, T., SUZUKI, N., 1978. The radiation-induced degradation of anthraquinone dyes in aqueous solutions. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 27, p. 699-705
12. NEAMTU, N.; SIMINICEANU, I.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation ; *Dyes Pigment.*, v.53. n. 2, p. 93-99, 2002.
13. PEREIRA, W. S. & FREIRE, R. S. - Ferro Zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. *Quim. Nova*, vol. 28, nº01, São Paulo, 2005.
14. PINHEIRO, A. de S.; HIGA, M, C ; SILVEIRA, C. G.; BORRELY, S. I. - Toxicity and colour reduction for azo dyes submitted to electron beam irradiation. *International Nuclear Atlantic Conference (INAC)*, p. 154, 2007.
15. SILVA, T. C. Tratamento de Efluentes têxteis por adsorção em argilas e terra de filtro usadas, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
16. ROMANELLI, M. F. Avaliação da toxicidade aguda e crônica dos surfactantes DSS e LAS submetidos à irradiação com feixe de elétrons; Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, 2004.
17. SUZUKI, N., MIYATA, T., SAKUMATO, A., HASHIMATO, S., KAWAKAMI, W., 1978. The degradation of an azo dye in aqueous solution by high intensity electron beam irradiation. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 29, p. 103-108.
18. SUZUKI, N., NAGAI, T., HOTTA, H., WASHINO, M., 1975. The radiation-induced degradation of azo dyes in aqueous solutions. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 26, p.726-730.
19. VAN ELK, A. G. H. P.; *Redução de Emissões na Disposição Final*. Coordenação de Karin Segala – Rio de Janeiro: IBAM. 40 p. 2007.