



II-437 – AVALIAR INATIVAÇÃO DE INDICADORES PATOGENICOS, REMOÇÃO DE DQO E TURBIDEZ EM SISTEMAS COMBINADOS DE TRATAMENTO: IRRADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E AERAÇÃO, UTILIZANDO NOVA CONCEPÇÃO CONSTRUTIVA PARA UM FOTOREATOR, APLICADA COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES

Eliezer Fares Abdala Neto ⁽¹⁾

Engenheiro Mecânico pela Universidade de Fortaleza. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Doutorando do curso de Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará.

Marisete Dantas de Aquino

Engenheira. Doutor em Meio Ambiente / Recursos Hídricos. Professora Associada II do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará.

Neyliane Costa de Souza

Química Industrial. Doutoranda em Saneamento Ambiental no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Soraia Tavares de Souza Gradwohl

Engenheira Civil. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental. Doutoranda do curso de Doutorado em Engenharia Civil na área de concentração de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental na Universidade Federal do Ceará.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Carlos Vasconcelos, 472/304 - Meireles - Fortaleza - CE - CEP: 60115-170 - Brasil - Tel: (85) 3246-9168 - e-mail: superagua@superig.com.br

RESUMO

Ultimamente a crescente demanda por fontes de água potável aliada ao déficit de saneamento ambiental básico, compromete a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, principalmente em países em desenvolvimento. É fato que tais motivos têm estimulado estudos em busca de mecanismos tecnológicos promotores do desenvolvimento social sustentável, onde questões associadas à técnicas de tratamento de águas têm sido tratadas com especial atenção por parte de organizações governamentais a eles vinculadas. Dentro deste conceito, a desinfecção é uma barreira de importância fundamental para a saúde das populações abastecidas. A literatura científica tem evidenciado a potencialidade promissora do uso combinado de dois ou mais agentes químicos ou físicos, demonstrando a obtenção de níveis superiores de inativação microbiológica. O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de inativação de indicadores patogênicos, remoção de DQO e turbidez em sistemas combinados de tratamento: irradiação ultravioleta (UV) e aeração, utilizando nova concepção construtiva para um fotoreator, aplicado ao pós-tratamento de efluentes à nível terciário. As amostras de efluentes foram oriundas de um sistema de lodos ativados por mistura completa composto de tanque de aeração, tanque de sedimentação, recirculação de lodo e retirada de lodo excedente, tratando esgoto doméstico, localizada no Campus da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. Os experimentos foram realizados em duplicata, divididos em dois ensaios, sendo o primeiro com o fotoreator operando somente com irradiação ultravioleta e um segundo operando com a combinação da UV com a aeração. Por batelada com coleta de alíquotas de 250 mL em tempos de 15 min, 30 min e 60 min, onde o fotoreator era totalmente preenchido com aproximadamente 500 mL de efluente e as coletas das amostras eram feitas antes e após o término de cada ensaio. Para o ensaio utilizando-se somente a irradiação ultravioleta a remoção de turbidez ficou em torno de 50%. Para o ensaio com UV associada a aeração os resultados foram animadores, visto que, se obteve uma remoção em torno de 97%. O tempo de reação ótimo para o sistema de batelada sem recirculação foi de 60 minutos, tanto para desinfecção como na remoção de turbidez e DQO, para o fotoreator estudado. Pela eficiência apresentada, redundando no enquadramento à legislação pertinente do efluente pós-tratado, o fotoreator estudado apresenta-se como alternativa promissora no pós-tratamento de efluentes à nível terciário.

PALAVRAS-CHAVE: Fotólise, Radiação Ultravioleta, Aeração, Tratamento de Efluentes, Técnicas Avançadas de Tratamento de Águas.



INTRODUÇÃO

A crescente necessidade por fontes de água potável aliada ao déficit de saneamento ambiental básico provoca efeitos danosos a qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, principalmente em países em desenvolvimento. É fato que tais motivos têm suscitado estudos em busca de mecanismos tecnológicos que possam favorecer o desenvolvimento social sustentável, onde questões associadas à técnicas de tratamento de águas têm sido tratadas com especial atenção por parte de organizações governamentais a eles vinculadas.

Conforme Polezi (2003), quando a água, depois de ser utilizada, é restituída ao seu ambiente natural, a mesma não deve comprometer os possíveis usos que podem ser feitos, tanto públicos como privados. A contaminação é uma modificação da qualidade da água, provocada geralmente pelo homem, de tal forma a torná-la inapta ou danosa ao consumo por parte do homem, à indústria, à agricultura, à pesca, às atividades recreativas, aos animais domésticos e aos selvagens.

Os países emergentes se deparam com sérios problemas devido a alta incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento básico, sendo mais afetadas as populações que vivem em localidades pobres, periféricas, e em zonas rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto ou drenagem, despejam uma elevada carga orgânica em corpos d'água, muitos dos quais servem de abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Como consequência, depara-se com um ciclo vicioso, onde o homem ingere uma água que está contaminada, contamina-se, e, depois, com seus dejetos, contamina a água.

Grande variedade de microrganismos, muitos deles patogênicos ao homem, é comumente encontrada em esgoto sanitário, dentre eles particularmente bactérias, vírus, protozoários e vermes. Usualmente são empregadas bactérias *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens* na determinação de bactérias e protozoários, respectivamente, enquanto os colifagos são indicadores da presença de vírus (Bilotta, 2006).

A prevalência das doenças de veiculação hídrica, notadamente na América Latina, África e Ásia, constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento. Tal fragilidade materializa-se na ausência de redes coletoras de esgotos e, principalmente, na qualidade da água distribuída à população, quando os sistemas de abastecimentos se fazem presentes. A conjunção desses fatos concorre, embora não isoladamente, para a manutenção dos índices de mortalidade infantil do Brasil entre os mais elevados do continente (DANIEL, 2001).

A desinfecção é uma medida que data no início do século XX, e sua importância para a saúde pública tem sido demonstrada na teoria e na prática. A desinfecção das águas para abastecimento humano e residuárias consiste no emprego de um agente físico ou químico (desinfetante) para inativar os microrganismos patogênicos que possam transmitir doenças através desse meio. A desinfecção é um processo seletivo: não destrói todos os microrganismos e nem sempre elimina todos os organismos patogênicos, mas deve eliminar todos os germes que devem ser afastados (AZEVEDO NETTO, 1974).

Na desinfecção química destaca-se o uso de derivados clorados de origem inorgânica, como o gás cloro, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dos derivados clorados de origem orgânica, cujos principais representantes são o dicloro isocianurato de sódio e o ácido tricloroisocianúrico, tem contribuído para o controle das doenças de origem hídrica e alimentar, do processo de desinfecção de pisos, equipamentos e utensílios em áreas de industriais e de residências e no tratamento de água para abastecimento público (MORRIS, 1996, apud MACÊDO, 2004).

Conforme Bilotta (2006), o emprego do desinfetante cloro em unidades de desinfecção tem sido bastante questionado em virtude de seu potencial mutagênico e cancerígeno, aliado ao efeito nocivo do contato de comunidades aquáticas com águas cloradas. Portanto, em substituição a cloração no controle de organismos patogênicos, surgiu nas últimas décadas tecnologias alternativas promissoras, dentre as quais se destaca o uso da ozonização e da radiação ultravioleta.

Vale ressaltar que a despeito das vantagens do cloro, a perspectiva do emprego de desinfetantes alternativos incrementou-se devido basicamente a dois fatores. O primeiro refere-se à progressiva evolução dos padrões de potabilidade estabelecidos pelos órgãos de controle culminando com a introdução, a partir do final da década de 70, dos trihalometanos como parâmetros de qualidade de água para consumo humano, em função das propriedades carcinogênicas dos mesmos. Estes compostos constituem-se em subprodutos da desinfecção com



compostos de cloro, quando a água apresenta teor de matéria orgânica. O segundo fator reporta-se à constatação da maior resistência de outros microrganismos à ação do cloro, notadamente os cistos e oocistos de protozoários.

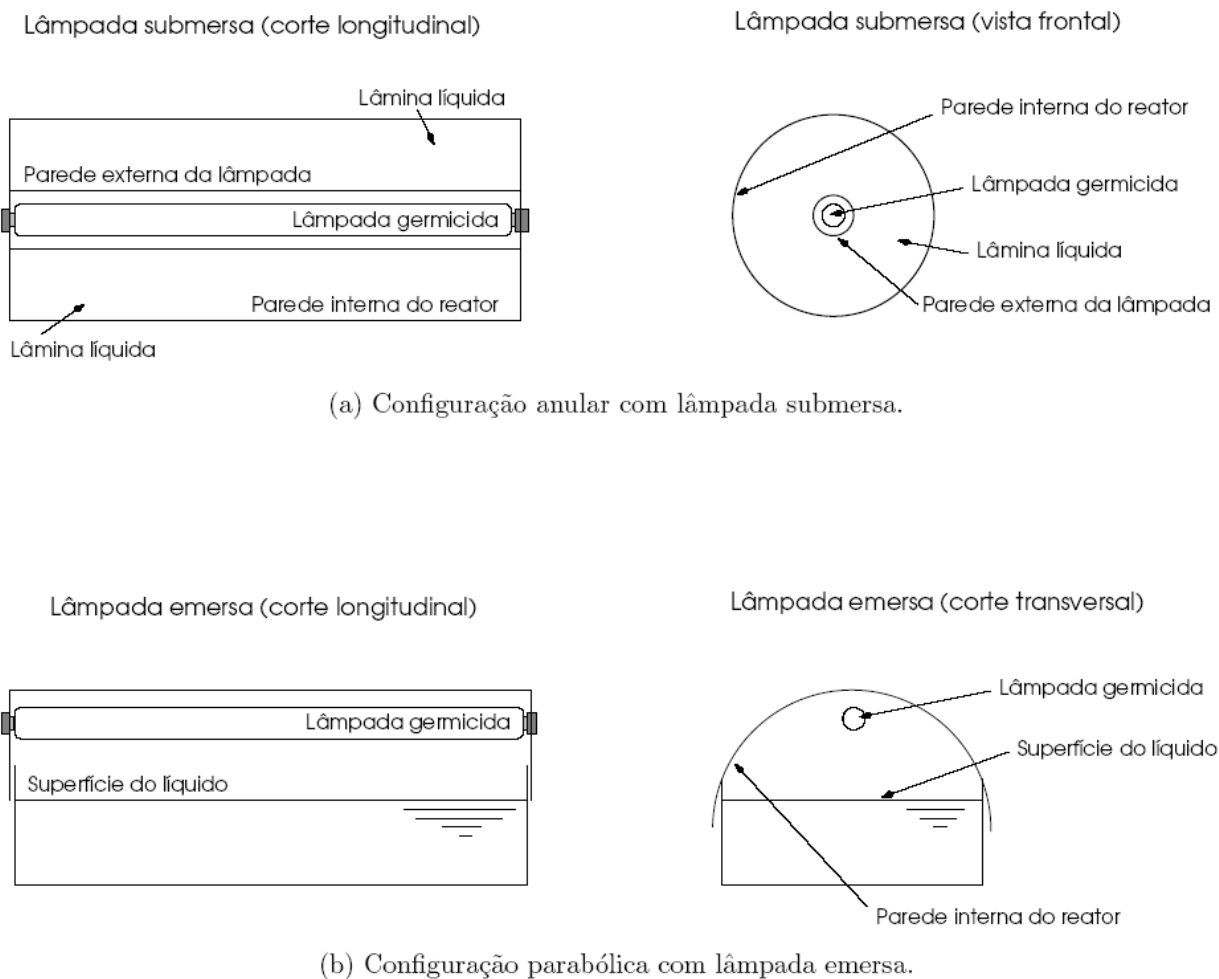
Além dos métodos convencionais de desinfecção, como ozônio, cloro, radiação UV, ácido peracético, entre outros, a literatura científica tem evidenciado a potencialidade promissora do uso combinado de dois ou mais agentes químicos ou físicos, demonstrando a obtenção de níveis superiores de inativação microbiológica. Isso se deve a ação sinérgica do primeiro agente aplicado, favorecendo o surgimento de lesões graves em grupos funcionais vitais, dificultando, assim, sua reabilitação e sobrevivência ao segundo agente germicida (EPA, 1999). Segundo Jyoti; Pandit (2001), a combinação de técnicas de desinfecção proporciona a obtenção de maiores eficiências do que se usadas isoladamente.

Atualmente há uma preocupação cada vez maior com a qualidade da água destinada ao consumo humano, em face das crescentes degradações dos mananciais. A legislação também caminha para ações mais restritivas quanto aos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, exigindo dos agentes de desinfecção empregados um caráter não seletivo, no quesito tipo de microrganismo a ser inativado e a necessidade de apresentar-se como uma tecnologia limpa, sem geração de subprodutos. Com isso, existe a necessidade de se desenvolver processos de desinfecção adicionais que possam eliminar ou reduzir o uso dessas desinfecções químicas. Alternativas que sejam mais acessíveis às populações carentes, e ainda que sejam essencialmente reduzidos os custos dos sistemas de desinfecção e abastecimento de água, através do uso de tecnologias apropriadas e também se instalem sistemas cuja operação e manutenção possa ser gerenciada e sustentada com recursos locais.

Neste contexto surgiu o interesse no tema de pesquisa aqui apresentado, onde a radiação ultravioleta (UV) e aeração (AER), estão associadas na composição de um fotoreator híbrido se apresentando como uma alternativa de tratamento de água para abastecimento humano ou efluente a nível terciário para fins de reúso, contemplando a desinfecção de microrganismos patogênicos e a oxidação de compostos orgânicos. Tecnologias associadas que independem de insumos químicos, não geram subprodutos, funciona com baixo fornecimento de energia elétrica e não apresentam seletividade na inativação de microrganismos patogênicos.

A câmara de reação, reator fotoquímico ou ainda fotoreatores, promovem o contato entre a radiação ultravioleta e o efluente. A configuração do fotoreator deve abranger um levantamento da geometria adequada e o posicionamento da fonte luminosa em relação a fonte de UV.

Os reatores fotoquímicos comumente utilizados em tratamento de água e esgoto sanitário são configurados principalmente em duas formas: com as lâmpadas submersas ou elevadas do afluente a ser tratado, com a fonte paralela ou perpendicular ao fluxo. Ao passo que o de tipo anular, a fonte UV é submersa no fluxo a ser tratado e montada em paralelo ao fluxo (usa-se também perpendicular ao fluxo). Conforme demonstrado na figura 01.



Fonte adaptada: BRAUN *et al.* (1986) *apud* BILOTTA (2006).

FIGURA 1 – Representação simplificada de fotorreatores projetados para UV

Nos projetos de fotorreatores deve-se adotar como os fatores mais relevantes: o máximo aproveitamento da radiação emitida pela fonte UV, a busca por uma reflexão otimizada e o controle da temperatura.

Estes modelos aventados, porém, demonstram uma necessidade de limpeza periódica para retirada de depósitos aderidos na superfície das lâmpadas e a temperatura da água, a qual a fonte UV está submersa interfere na temperatura ideal de trabalho da lâmpada, que tem eficiência de irradiação no comprimento de onda germicida na faixa de 40°C. Isto acaba conferindo a estes modelos de fotorreatores a uma redução progressiva da dose irradiada.

O modelo de fotoreator proposto para esta pesquisa introduz um novo conceito de configuração. A fonte de UV não está submersa no fluxo a ser irradiado. Há uma interface (+ou- 1,5 mm) de quartzo (material que proporciona até 97% de emissão da radiação UV). E sua forma acompanha a forma cilíndrica das lâmpadas UV, permitindo perfeita sintonia na montagem do conjunto, com aproveitamento de todo o comprimento de irradiação da lâmpada, proporcionando elevada eficiência em comparação com outras formulações aventadas.



MATERIAIS E MÉTODOS

MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O experimento foi montado, conforme mostrado na figura 1, no laboratório de Saneamento Ambiental – LABOSAN do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, desenvolvido por um aluno do curso de doutorado em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental..

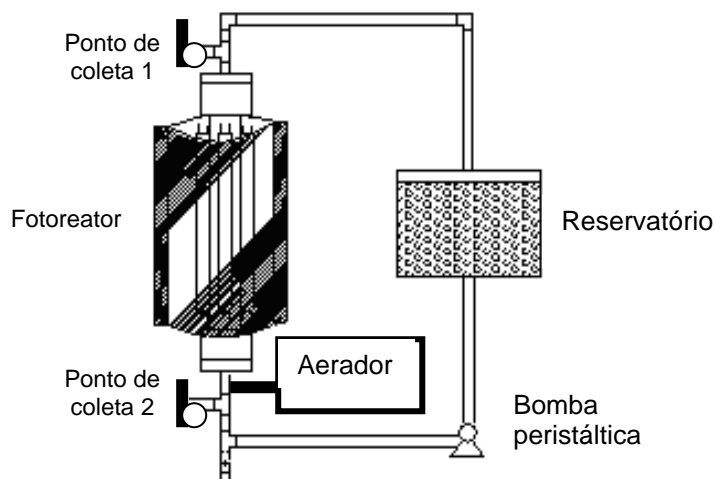


Figura 2: Montagem do experimento com fotoreator instalado no LABOSAN em junho de 2008.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de efluentes foram oriundas de um sistema de lodos ativados por mistura completa composto de tanque de aeração, tanque de sedimentação, recirculação de lodo e retirada de lodo excedente, tratando esgoto doméstico, localizada no Campus da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. Os experimentos foram realizados em duplicata, divididos em dois ensaios, sendo o primeiro com o fotoreator operando somente com irradiação ultravioleta e um segundo operando com a combinação da UV com a aeração. Sempre por batelada sem recirculação com coleta de alíquotas de 250 mL em tempos de 15 min, 30 min e 60 min, onde o fotoreator era totalmente preenchido com aproximadamente 500 mL de efluente e as coletas das amostras eram feitas antes e após o término de cada ensaio.

CONFIGURAÇÃO DO FOTOREATOR

Conforme mostrado na figura 3, o fotoreator possui 07 lâmpadas ultravioletas posicionadas no lado externo do fluxo do fluido a ser irradiado. Com essa formatação é possível utilizar toda a extensão das fontes UV, manter a temperatura recomendada para as fontes UV, atingindo-se maior eficiência de irradiação, ao mesmo tempo em que o conjunto demonstra ter facilidade e sintonia na montagem e nas manutenções.

A aeração também foi utilizada e tem a finalidade de proporcionar o contato do ar com o líquido a ser tratado, a fim de que nesta seja efetivada a dissolução, ou o desprendimento de gases, ou a oxidação de compostos, por exemplo, ferrosos. Também pode ser indicada para a redução da corrosividade, reduzindo o teor de gás carbônico. Nesta proposta de estudo foram utilizados aeradores por aspersão, colocando a água em contato estreito com uma fase gasosa (o ar) transferindo substâncias solúveis do ar para a água, aumentando seus teores de oxigênio e nitrogênio, e substâncias voláteis da água para o ar.

Na tabela 1 são listados todas as características específicas dadas ao fotoreator utilizado nesta pesquisa.

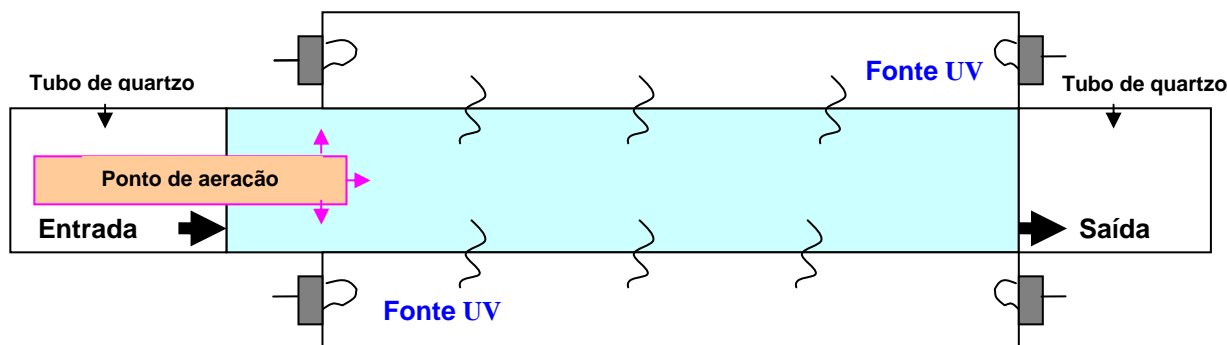


Figura 3: Esboço da configuração aplicada ao fotoreator

Tabela 1 - Características do fotoreator utilizado nos experimentos.

Volume de reação: 453Ml
Material da câmara de irradiação: Quartzo
Altura total da câmara de irradiação: 60 cm, com geometria cilíndrica
Diâmetro externo (tubo de quartzo): 35 mm
Diâmetro interno (tubo de quartzo): 32 mm
Diâmetro externo da lâmpada germicida: 26 mm
Potência total aplicada (fontes UV): 105 W
Potência de radiação a 253,7 nm: 3,6 W UV-C por cada lâmpada UV-C
Fabricante das lâmpadas: Philips - Modelo: TUV TL-D
Sentido do fluxo: paralelo à lâmpada, ascendente.

ANÁLISES

As análises de Turbidez foram realizadas em turbidímetro da marca HACH 2100P, o pH foi medido em um pHmetro da marca Digimed DM-20 e a DQO foi analisada de acordo com o *Standard Methods* – Secção 5220-D. As análises microbiológicas foram realizadas se utilizando do método Colilert® – Substrato Cromogênico Definido ONPG-MUG, com resultados confirmativos para presença de Coliformes Totais e E. coli. Método aprovado pelo EPA e incluído no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o ensaio utilizando-se somente a irradiação ultravioleta a remoção de turbidez ficou em torno de 50%. Para o ensaio com UV associada a aeração os resultados foram animadores, visto que, se obteve uma remoção em torno de 97%. A Figura 4 apresenta os resultados em eficiência de remoção da turbidez das amostras analisadas.

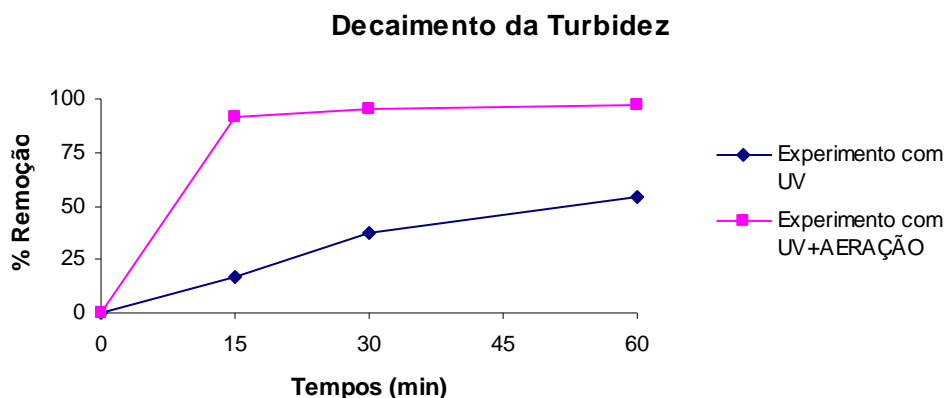


Figura 4: Remoção da Turbidez durante 1 h (60 min) de ensaio.



Em relação à DQO observou-se que o decaimento mostra-se bem próximo até os 30 minutos iniciais, depois observa-se um decaimento mais acentuado no experimento associado, irradiação UV com aeração, chegando próximo a 50% de redução. Conforme observado na figura 5.

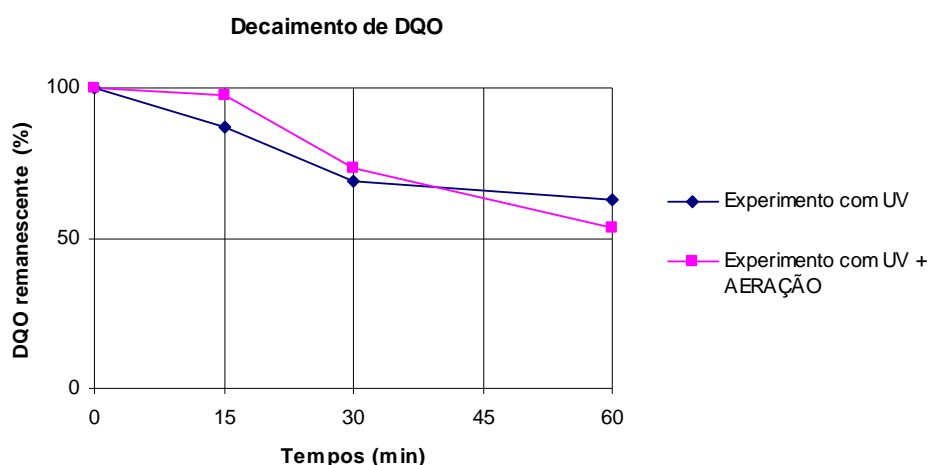


Figura 5: Decaimento da DQO durante 1 h (60 min) de ensaio.

O melhor decaimento observado nos experimentos com associação da irradiação UV e aeração, tanto para turbidez como para DQO, baseia-se na condição de que quanto mais houver contato da amostra com luz ultravioleta melhor será a eficiência do sistema. Conforme Bilotta (2006), a intensidade com que a radiação é assimilada dependerá em grande parte de certas características do meio, tais como concentração de material particulado, espessura da camada líquida percorrida, temperatura, e a própria eficiência de emissão da lâmpada.

De acordo com os resultados mostrados no quadro 1, destacam-se os excelentes resultados obtidos para a desinfecção do efluente, obtendo-se, com exceção dos valores de 15 minutos para C. totais, resultados <1 NPM/100mL com o uso do fotoreator. O processo de desinfecção foi bastante eficiente, conseguindo desinfetar efluente com concentração elevada coliformes Termotolerantes (da ordem de 10^4 NPM/100mL) e totais (da ordem de 10^5 NPM/100mL) em condições de turbidez e DQO característicos de efluentes.

QUADRO 1: Decaimento de indicadores patogênicos com uso do fotoreator.

População de microrganismos estudados	<i>Escherichia coli</i> (NPM/100mL) No = $7,94 \times 10^4$			Coliformes totais (NPM/100mL) No = $5,48 \times 10^5$		
	15(min)	30(min)	60(min)	15(min)	30(min)	60(min)
Tempos						
Experimentos						
Radiação UV	ND	ND	ND	307	ND	ND
Radiação UV + Aeração	ND	ND	ND	35	ND	ND

ND: Valores abaixo do patamar mínimo detectável pelo método colilert.

Segundo Polezi (2003), obtêm-se melhores eficiências com dois processos atuando de forma conjunta. Desta feita, a ação sinérgica do primeiro agente de desinfecção aplicado, favorece o surgimento de lesões graves em grupos funcionais vitais dos microrganismos, dificultando, assim, sua reabilitação e sobrevivência ao segundo agente germicida, resultando numa ação combinada de desinfecção.

Cabe salientar que durante os experimentos, envolvendo a associação das tecnologias irradiação UV e aeração, foi observada uma intensa formação de espumas, principalmente nos minutos iniciais da reação. De acordo com Pacheco (2004) essa situação ocorre quando há substâncias de caráter tensoativos, as quais acima da concentração crítica induzem a formação de espumas que desfavorecem o processo.



O tempo de reação ótimo para o sistema de batelada sem recirculação foi de 60 minutos, tanto para desinfecção como na remoção de turbidez e DQO, para o fotoreator estudado. Em relação à remoção de DQO, tanto o experimento com UV como associado mostraram eficiência de remoção bem próxima, em média de 45%. Para análise em termos operacionais, o fotoreator com associação de tecnologias mostrou-se mais eficiente do que somente operando com UV. Mesmo não se observando a formação de espumas com experimentos com UV.

CONCLUSÕES

Outras investigações mais aprofundadas devem ser propostas para um maior conhecimento dos potenciais advindos desta nova concepção tecnológica aplicadas ao fotoreator. A inserção de mais agentes de desinfecção física, como a cavitação hidrodinâmica ou ultrassom, pode conferir ao conjunto uma capacidade de tratar maiores volumes de efluentes e outros grupos de compostos e microrganismos. Conforme Jyoti; Pandit (2003), o uso da cavitação pode inserir a desintegração celular causado pelo stress mecânico, além de temperaturas e pressões elevadas provocando a morte de diferentes microrganismos presentes no efluente. E segundo Gogate *et al.*, (2001); a formação de átomos reativos – reação de oxidação- responsáveis pela oxidação da matéria orgânica, também são formados com a geração de cavitação no efluente a ser tratado ampliando a eficiência de degradação.

A configuração construtiva adotada para o fotoreator neste estudo contribuiu para uma maior eficiência de irradiação UV, no comprimento de onda germicida de 253,7nm associada a aeração, obtendo-se assim excelentes resultados tanto para desinfecção microbiológica como na remoção de turbidez e redução de DQO. Desta feita, o fotoreator apresenta-se como alternativa promissora para o pós-tratamento de efluentes à nível terciário.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Funcap-Capes pelas bolsas de doutorado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J. M. Desinfecção de águas. São Paulo: Cetesb, 1974. cap. 1 e 2, p. 01-10.
2. BILOTTA, P. Inativação de Indicadores Patogênicos em Sistemas Combinados de Tratamento e Pré-Desinfecção de Esgoto Sanitário. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2006.
3. DANIEL, L. A. Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 155 p.
4. EPA. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. Environmental Protection Agency. 1999.
5. GOGATE, P. R. et al. Cavitation Reactors: efficiency assessment using a model reaction. *AIChE Journal*, Mumbai, v. 47, no. 11, p. 2526-2538, 2001.
6. MACÊDO, J. A. B. Águas & águas. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2004.
7. JYOTI, K. K.; PANDIT, A. B. Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochemical Engineering Journal*, Mumbai, v. 7, p. 201–212. 2001.
8. JYOTI, K. K.; PANDIT, A. B. Hybrid cavitation methods for water disinfection. *Biochemical Engineering Journal*, Mumbai, v. 14, p. 9-17, 2003.
9. PACHECO, J. R. (2004). Estudo de certas potencialidades de processos oxidativos avançado para o tratamento de percolado de aterro sanitário. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, PR. 97p.
10. POLEZI, M. Aplicação de processo oxidativo avançado (H₂O₂/UV) no efluente de uma ETE para fins de reuso. Campinas, SP: [s.n.], 2003.