

## II-411 - SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO ANAERÓBIO-AERÓBIO NA DESCOLORAÇÃO E DESTOXIFICAÇÃO DO CORANTE AZO REACTIVE BLACK 5

**Marcos Erick Rodrigues da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutor em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE).

**Paulo Igor Milen Firmino**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Doutorando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFC.

**Márcia Rodrigues de Sousa**

Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC. Doutoranda em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental na UFC.

**Antônio Lima Farias Filho**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela UFC.

**André Bezerra dos Santos<sup>(1)</sup>**

Doutor em Saneamento Ambiental pela Wageningen University - Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus do Pici, bloco 713. Pici. Fortaleza-Ceará-Brasil. CEP: 60.455-900 - Tel: (85) 3366-9490 - e-mail: [andre23@ufc.br](mailto:andre23@ufc.br)

### RESUMO

No presente trabalho avaliou-se a aplicação do reator de lodos ativados em batelada como opção de pós-tratamento de efluente têxtil sintético contendo 200mg/L do corante azo Reactive Black 5 (RB5), proveniente de reator anaeróbio do tipo UASB operado em dois estágios, visando à redução de cor, DQO e toxicidade. O reator anaeróbio foi operado em condições mesofílicas com tempo de detenção hidráulica ( $TDH_{total}$ ) de 12h, sendo 3h no reator acidogênico ( $R_A$ ) e 9h no metanogênico ( $R_M$ ). O reator aeróbio foi operado em batelada com ciclos de 24 h. Nos ensaios de toxicidade aguda, utilizou-se a *Daphnia magna* como organismo teste. Durante a fase anaeróbia o sistema atingiu eficiências médias de 75% e 28% nas remoções de cor e DQO, respectivamente. O efluente nessa etapa apresentou cor elevada e DQO residual média próxima de 836 mgO<sub>2</sub>/L. Na fase aeróbia a DQO foi significativamente reduzida para cerca 126 mgO<sub>2</sub>/L, com eficiência média de remoção próxima 85%. Finalmente, com os resultados dos testes ecotoxicológicos, foi possível verificar que o esgoto sintético contendo o corante azo RB5 apresentou elevada toxicidade e que tanto o tratamento anaeróbio quanto o aeróbio reduziram a toxicidade do esgoto, com destaque para a etapa aeróbia onde ocorreu completa destoxificação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reactive Black 5, Sequência anaeróbia-aeróbia, toxicidade.

### INTRODUÇÃO

A indústria têxtil representa um importante setor econômico no mundo, tendo sido responsável por 1,7% das exportações mundiais em 2007, o que correspondeu ao montante de US\$ 238,1 bilhões (WTO, 2008). Assim, com a crescente demanda por produtos têxteis nas últimas décadas, observou-se um crescimento proporcional na geração de efluentes, por meio dos quais grandes quantidades de corantes e outros produtos químicos são descartados nas águas superficiais (Dos Santos *et al.*, 2007).

Em particular, o descarte de efluentes coloridos no meio ambiente é indesejável não somente por afetar a estética, a transparência e a solubilidade de gases dos corpos hídricos, mas também por muitos corantes e seus subprodutos serem tóxicos, mutagênicos ou carcinogênicos (Weisburger, 2002).

Entre os processos biológicos destaca-se o tratamento anaeróbio que é capaz de remover DQO e cor de uma grande faixa de efluentes têxteis, além de apresentar vantagens como, baixa produção de lodo e baixa demanda

de energia comparada ao tratamento aeróbio (Delée *et al.*, 1998). Além disso, os corantes azo são resistentes à biodegradação em condições aeróbias enquanto que em condições anaeróbias as ligações azo ( $-N=N-$ ) são normalmente quebradas (Carlieli *et al.*, 1994).

Segundo Van der Zee e Villaverde (2005), a biodegradação de corantes azo deve proceder-se em duas etapas. A primeira etapa envolve a quebra redutiva da ligação azo sob condições anaeróbias, resultando na formação de aminas aromáticas, de potencial tóxico comprovado. A segunda etapa envolve a mineralização dessas aminas aromáticas sob condições aeróbias, visto que são, em sua maioria, recalcitrantes sob condições anaeróbias.

Assim, processos de tratamento de efluentes nos quais são aplicados a combinação anaeróbia/aeróbia mostram-se como a concepção mais lógica e econômica para remoção de cor de efluentes (Field *et al.*, 1995).

Entre as tecnologias aeróbias destaca-se o reator de lodos ativados em batelada. Esse sistema de tratamento apresenta elevada remoção de DQO, alta flexibilidade operacional (através da variação dos ciclos) e baixa demanda de área. O princípio desse sistema de tratamento consiste na incorporação de todas as unidades de processos e operações normalmente associadas ao tratamento convencional de lodos ativados, ou seja, decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque. Isso é conseguido através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. Utilizando um tanque único, as operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo, e não unidades separadas como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo.

Durante a aplicação do tratamento anaeróbio seguido de um pós-tratamento aeróbio é importante a avaliação da mineralização das aminas aromáticas, oriundas da descoloração redutiva de corantes azo, e/ou outros compostos tóxicos presentes em efluentes têxteis. Uma das formas indiretas de avaliação da remoção desses subprodutos (aminas aromáticas) é a redução da toxicidade entre o efluente da etapa anaeróbia e o efluente da etapa aeróbia (Isik e Sponza, 2004). Assim, a realização de ensaios de toxicidade aguda nos efluentes gerados na seqüência de tratamento anaeróbio/aeróbio representa uma importante ferramenta na avaliação da capacidade de detoxificação de efluentes têxteis por processos biológicos.

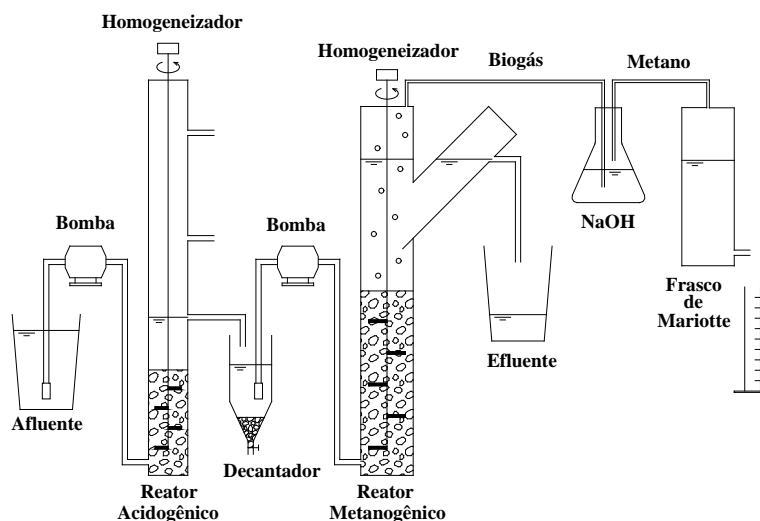
No presente trabalho avaliou-se a aplicação do reator de lodos ativados em batelada como opção de pós-tratamento de efluente têxtil sintético contendo 200mg/L do corante azo Reactive Black 5 (RB5), proveniente de reator anaeróbio do tipo UASB operado em dois estágios, visando à redução de cor, DQO e toxicidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### REATORES

#### Reator Anaeróbio

Utilizou-se um sistema anaeróbio do tipo UASB operado em dois estágios confeccionado a partir de tubos e conexões de PVC para esgoto. O sistema de dois estágios (Figura 1) era composto por um reator acidogênico ( $R_A$ ) com volume  $V = 0,24$  L, um decantador feito de garrafa PET e um reator metanogênico ( $R_M$ ) com volume  $V = 0,61$  L.



**Figura 1: Esquema simplificado do sistema anaeróbio de dois estágios.**

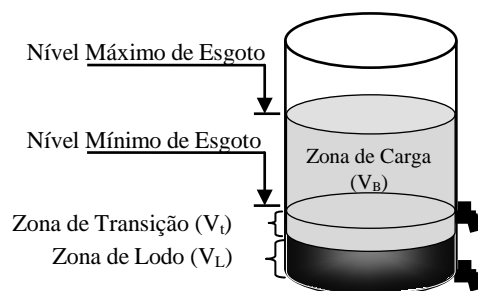
O sistema foi inoculado com lodo anaeróbio parcialmente granular proveniente de um reator UASB mesofílico de uma cervejaria (Distrito Industrial, Ceará, Brasil). O esgoto afluente era mantido em um refrigerador a uma temperatura de aproximadamente 4 °C, de forma a evitar sua degradação prematura. O biogás gerado no sistema era coletado e lavado com solução de hidróxido de sódio (0,5 N), sendo o gás metano medido pelo método de deslocamento de líquido (frasco de Mariotte). Havia ainda um sistema de homogeneização, composto por uma haste de aço inox acoplada a um motor de microondas com rotação nominal de 5 rpm, para evitar possíveis caminhos preferenciais e facilitar o desprendimento do gás gerado.

### Reator Aeróbio

O reator de lodos ativados operado em batelada foi confeccionado em acrílico com formato cilíndrico de diâmetro interno ( $D = 16$  cm) e volume total útil de 3,5 L. Ao longo do reator havia duas torneiras, sendo a inferior o ponto de entrada do esgoto, e a superior o ponto de descarga do efluente tratado ao final do ciclo.

O suprimento de oxigênio era realizado por meio de mini-compressores de ar, e sua distribuição ao longo de toda massa líquida era promovida por pedras porosas que eram localizadas uniformemente ao longo da base do reator.

A Figura 2 representa esquematicamente o reator em batelada, indicando sua divisão em: zona de lodo (volume reservado ao lodo do reator quando completada a sua sedimentação), zona de transição, que visa evitar perda de biomassa durante o descarte, e, finalmente, a zona de carga, que representa o volume de esgoto tratado em cada ciclo.



**Figura 2: Esquema simplificado do reator em batelada sequencial (RBS).**

## EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

O corante azo utilizado era o Reactive Black 5 (RB5, 55%, Sigma-Aldrich, USA) (Figura 3), e o doador de elétrons era o composto etanol (99,8%, Dinâmica, Brasil). O meio basal consistia de (mg/L):  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (280),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  (250),  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (100) e  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (10) e 1 mL/L de elementos traço contendo (mg/L):  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (50),  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (2000),  $\text{ZnCl}_2$  (50),  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (500),  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (38),  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (50),  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (90),  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (2000),  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (92),  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (162), EDTA (1000) e HCl 36% (1). De forma a manter o pH próximo a 7,0, o efluente era tamponado com bicarbonato de sódio na proporção de 1 g para cada 1 g de DQO de etanol.

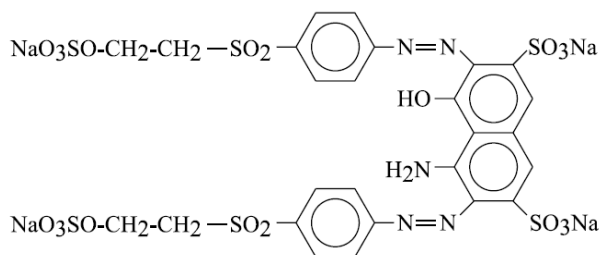


Figura 3: Estrutura química do corante azo RB5.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

**Tratamento anaeróbio do efluente têxtil sintético:** O reator UASB foi operado em fluxo contínuo durante cerca de 70 dias sob condições mesofílicas ( $T = 27^\circ \text{C}$ ), com um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 h, adição de 1 g DQO/L de etanol e 200 mg RB5/L.

**Pós-tratamento aeróbio com o reator de lodos ativados em batelada:** O reator de lodos ativados em batelada era alimentado com o esgoto tratado pelo reator UASB e foi operado com ciclos constantes de 24h, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Sequência operacional do reator de lodos ativados em batelada

Fase do Ciclo	Objetivo	Tempo
Enchimento	Introdução do substrato	1h
Aeração	Biodegradação do substrato	22h
Sedimentação	Clarificação do efluente tratado	1,5h
Descarte/Repouso	Reserva de tempo entre ciclos	0,5h

Os reatores anaeróbios e aeróbios foram instalados no Laboratório de Saneamento (Labosan) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

## TESTES DE TOXICIDADE

Utilizou-se *Daphnia magna* como organismo-teste na realização dos ensaios de toxicidade. A metodologia de cultivo, dos ensaios de sensibilidade e dos testes de toxicidade, seguiu a NBR 12.713 de 2004 (Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda Método de ensaio com *Daphnia spp.*).

Foram realizados testes de toxicidade com esgoto têxtil sintético afluente e efluente do reator UASB e do reator aeróbio. O objetivo dos testes ecotoxicológicos foi avaliar a toxicidade do esgoto têxtil sem tratamento, e a toxicidade referente aos produtos de sua degradação sob condições anaeróbias e aeróbias.

O resultado de cada teste é expresso pelo  $CE_{50}$ . Esse representa a concentração percentual de esgoto têxtil que provoca imobilidade e/ou mortalidade de 50% dos organismos.

Todos os testes de ecotoxicidade foram também realizados no Laboratório de Saneamento (Labosan) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

## ANÁLISES

A cor era determinada fotometricamente (Thermo – Nicolet Evolution 100). As amostras eram previamente diluídas (1:5) em tampão de fosfato (10,86 g/L  $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$  e 5,98 g/L  $Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$ ), centrifugadas por 2 minutos a 13.000 rpm (Eppendorf – Mini Spin), e as absorbâncias eram lidas no comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 598 nm. A DQO, o pH, a alcalinidade eram determinados de acordo com o Standard Methods (APHA, 2005), e os ácidos graxos voláteis (AGV) pelo método de Kapp (Buchauer, 1998). Para os testes de toxicidade aguda com *Daphnia magna*, os dados referentes à quantidade de neonatos mortos para cada diluição e controle foram inseridos no programa estatístico *Trimed Spearman Karber* para o cálculo de  $CE_{50}$ .

## RESULTADOS

### TRATAMENTO ANAERÓBIO DO ESGOTO TÊXTEL SINTÉTICO

O desempenho geral do reator UASB na remoção de cor e DQO do efluente sintético contendo o corante RB5 é sumarizado na Tabela 2. Observa-se que, apesar dos valores de pH e alcalinidade serem considerados satisfatórios para a digestão anaeróbia, verificou-se o acúmulo de AGV no sistema. Com isso, a relação AGV/AT variou entre 0,5 e 0,7, superior ao valor crítico (0,4) citado por Behling *et al.* (1997). Assim, esses resultados levam a presumir uma possível inibição da microbiota anaeróbia durante o tratamento do corante RB5.

**Tabela 2: Estatística descritiva dos parâmetros operacionais do reator UASB durante o tratamento do efluente sintético contendo o corante RB5.**

Parâmetros								
<i>Variável Estatística</i>	DQO			pH	AT	AGV	AGV/AT	Remoção de Cor
	Afluente (mgO <sub>2</sub> /L)	Efluente (mgO <sub>2</sub> /L)	Remoção (%)	Efluente	Efluente (mg/L)	Efluente (mgHAc/L)		(%)
Nº Dados	10	10	10	8	8	8	8	14
Média	1194,1	863,9	28,1	7,7	616,0	371,4	0,6	75,2
DP	127,2	108,2	7,7	0,1	39,1	70,2	0,1	5,5
CV (%)	10,7	12,5	27,3	1,7	6,3	18,9	15,0	7,3
Máx	1367,8	1072,9	45,8	7,8	650,0	475,0	0,7	83,4
Mín	1022,5	720,4	19,4	7,5	560,0	294,2	0,5	65,4

Desvio padrão (DP), Coeficiente de variação (CV), Alcalinidade total (AT), Ácidos Graxos Voláteis (AGV)

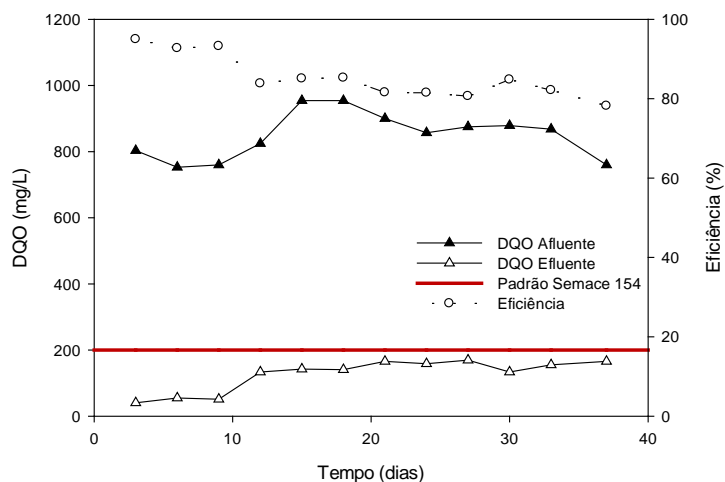
Em relação à remoção de cor, observou-se que o reator anaeróbio apresentou uma eficiência média de 75,2%, variando de 65,4 até 83,4%. Tendo em vista que a concentração inicial do corante era de 200mg/L, o efluente anaeróbio apresentou residual de cor ainda bastante elevado.

A remoção média de DQO obtida pelo reator UASB foi significativamente baixa (28,1%), chegando a atingir um valor mínimo de 19,4%. Dessa forma, a DQO residual média foi consideravelmente elevada (863,9 mgO<sub>2</sub>/L). Diante dos resultados apresentados, fica evidente a necessidade de uma etapa de pós-tratamento para reduzir a cor e a DQO residual do efluente anaeróbio a patamares aceitáveis pelas legislações vigentes e, além disso, mineralizar as aminas aromáticas geradas na redução do corante RB5 que possuem comprovado potencial carcinogênico e mutagênico.

## PÓS-TRATAMENTO AERÓBIO DO ESGOTO TÊXTIL SINTÉTICO

**Remoção de DQO:** Inicialmente, ressalta-se que o sistema de lodos ativados, antes de ser alimentado com o efluente têxtil, passou por uma fase de aclimação. Nessa fase, o reator foi alimentado com um efluente sintético, composto de macro e micronutrientes, tampão e cerca de 1000 mgO<sub>2</sub>/L de DQO na forma de acetato. Durante essa fase, que durou cerca de 30 dias, a remoção de DQO foi superior a 97%, o pH efluente próximo a 7,5 e oxigênio dissolvido acima de 3,0 mg/L. Assim, o reator de lodos ativados mostrou-se estável quanto às condições operacionais aplicadas, sendo posteriormente alimentado com efluente do reator anaeróbico.

Na Figura 4 são mostrados os valores afluentes e efluentes de DQO, sua remoção no RBS e padrão de descarte.



**Figura 4: Desempenho do reator de lodos ativados em batelada na remoção de DQO do efluente sintético (RB5) previamente tratado no reator UASB.**

Observa-se que o reator aeróbico apresentou elevada remoção de DQO ao longo de todo o experimento. Durante os dez primeiros dias de operação a eficiência foi superior a 90% e, em seguida, manteve-se praticamente constante e superior a 80%.

A Figura 4 mostra, ainda, que 100% dos resultados de DQO obtidos após o tratamento aeróbico foram inferiores ao limite de 200 mgO<sub>2</sub>/L estabelecido pela Portaria N° 154/02 – SEMACE.

De acordo com a Tabela 3, o reator anaeróbico reduziu a DQO do efluente sintético de 1194,1 ±127 para 849 ±70,4 mgO<sub>2</sub>/L e, após a etapa aeróbia, a DQO presente no efluente foi de apenas 126,1 ±48,2 mgO<sub>2</sub>/L. Esses resultados mostram a importância da etapa aeróbia na redução da DQO em sistemas sequenciais anaeróbico/aeróbico. Assim, a remoção de DQO foi elevada de 28,1% para 88% com a introdução do reator aeróbico no tratamento do efluente sintético contendo o corante RB5.

**Tabela 3: Valores médios da DQO afluente, efluente e eficiência de remoção no reator anaeróbico e aeróbico durante o tratamento do efluente sintético contendo o corante RB5.**

Reator	DQO afluente (mgO <sub>2</sub> /L)	DQO efluente (mgO <sub>2</sub> /L)	Eficiência (%)
Anaeróbico	1194,1 (127,2)	849,0 (70,4)	28,1 (7,7)
Aeróbico	849,0 (70,4)	126,1 (48,2)	85,3 (5,4)
<b>Sistema Anaeróbico/Aeróbico</b>			<b>88,0 (4,6)</b>

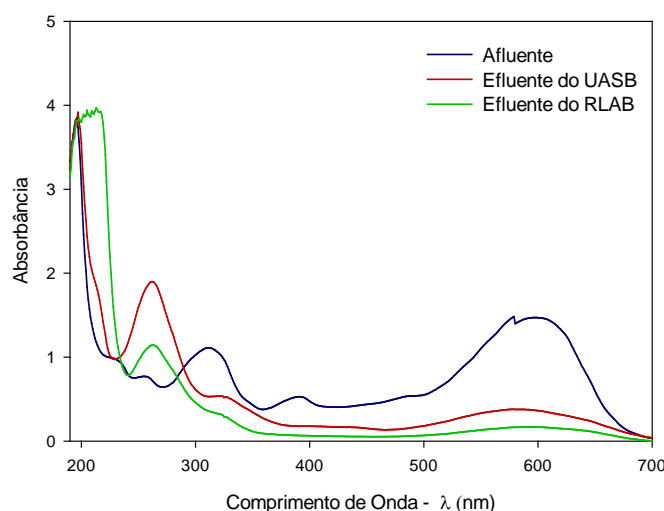
O desvio padrão é exibido entre parênteses

Resultados semelhantes foram obtidos por Kapdan e Oztekin (2006), os quais estudaram a aplicação de um reator seqüencial anaeróbio/aeróbio (TDH anaeróbio = 4h e TDH aeróbio = 20h) no tratamento de um efluente sintético contendo o corante Remazol Rot (70 mg/L) e glicose como fonte de carbono. Nessas condições a remoção de DQO na etapa anaeróbia foi em torno de 50% e o sistema atingiu cerca de 80% pela contribuição da fase aeróbia.

Sponza e Isik (2002) utilizando um reator UASB seguido de um reator aeróbio de lodos ativados no tratamento de efluente sintético contendo o corante RB5 (carga entre 10 e 35 g/m<sup>3</sup>.dia) verificaram que o sistema removeu cerca de 96% da DQO do efluente sintético. Os autores observaram, ainda, que 85-95% da DQO remanescente do reator UASB foi removida na etapa aeróbia.

Desse modo, pode-se concluir que o sistema anaeróbio/aeróbio utilizado nesta pesquisa foi eficiente na remoção de DQO do efluente sintético contendo o corante RB5.

**Remoção de cor:** A Figura 5 mostra o espectro de absorbância das amostras bruta e tratadas nos reatores anaeróbio e aeróbio. É possível verificar o pico de absorbância na faixa do visível ( $\lambda = 598\text{nm}$ ) no esgoto bruto, representando o corante RB5. Em relação ao efluente do reator UASB, observa-se a queda do pico na região do visível e a formação de um novo pico na região UV próximo de 260 nm. As mudanças no espectro de absorção na região (UV – visível) evidenciam a quebra da ligação azo do corante RB5 e conseqüente produção de aminas aromáticas.



**Figura 5: Espectro de absorbância (UV + visível) do esgoto bruto e efluentes do reator UASB e de lodos ativados.**

No efluente aeróbio, percebe-se também uma redução na cor, assim como a diminuição da absorbância na região UV, demonstrando a possível mineralização das aminas aromáticas sob condições aeróbias. Vale ressaltar que apesar de apresentar remoção de cor inferior à etapa anaeróbia, encontrou-se uma remoção média de 50% no reator de lodos ativados em batelada (valores não apresentados). É bem provável que essa remoção seja devido à adsorção do corante ao lodo, uma vez que os resultados iniciais estiveram acima de 70% e, após 20 dias de operação, foram reduzidos para valores próximos de 30%.

Vários estudos indicam que muitas das aminas aromáticas obtidas da clivagem anaeróbia dos corantes azo foram removidas na fase aeróbia. No entanto, algumas aminas aromáticas não podem ser removidas. Em especial os produtos da quebra dos corantes azo reativos Reactive Black 5 (RB5) e Reactive Violet 5 (RV5) tem sido freqüentemente relatados como não removidos na fase aeróbia (LOURENÇO *et al.*, 2001; SHAW *et al.*, 2002; LOURENÇO *et al.*, 2003; LIBRA *et al.*, 2004).

De acordo com Figura 5, após a etapa aeróbia o pico presente na região UV, apesar de reduzido, se mostrou, ainda, bem evidente. É oportuno ressaltar que elevadas remoções de DQO foram obtidas no reator aeróbio e



nenhum indício de inibição da atividade microbiana foi constatado. Na Tabela 4 é possível verificar que a descoloração do RB5 ocorreu tanto no reator anaeróbio quanto no aeróbio. Entretanto, como esperado, a maior remoção da cor ocorreu no reator UASB.

**Tabela 4: Valores médios da absorbância e eficiência de remoção de cor do efluente sintético (RB5) no reator anaeróbio e aeróbio.**

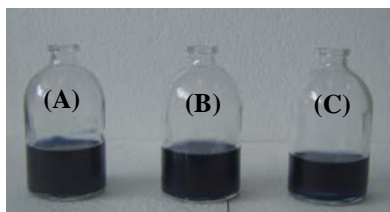
Reator	Eficiência (%)
Anaeróbio	75,2 (5,5)
Aeróbio	51,5 (16,6)
<b>Sistema Anaeróbio/Aeróbio</b>	<b>88,1 (3,9)</b>

O desvio padrão é exibido entre parênteses

Sponza e Isik (2002) relataram que um sistema anaeróbio/aeróbio tratando um efluente sintético contendo o corante RB5 (200mg/L) e na presença de glicose, removeu cerca de 84% da cor. Os autores enfatizaram que a remoção do corante deu-se principalmente no reator anaeróbio.

Ong *et al.* (2005) utilizaram um reator UASB seguido de um reator aeróbio em batelada, ambos com TDH de 24h, na descoloração do corante azo *Acid Orange 7*. Foi reportado que para 150mg/L de corante o sistema removeu mais de 90% da cor do efluente sintético. A contribuição da etapa aeróbia foi considerada negligenciável.

Apesar do sistema anaeróbio/aeróbio, aplicado nesse trabalho, ter apresentado remoção média do corante (RB5 – 200mg/L) superior a 88%, o residual de cor presente no efluente do sistema ainda foi bastante intenso (Figura 6).



**Figura 6: Esgoto têxtil sintético RB5 (A), efluente do reator UASB (B) e efluente do sistema de lodos ativados (C).**

## TESTES DE TOXICIDADE

A Tabela 5 resume os testes de toxicidade aguda com os esgotos têxteis utilizados nesta pesquisa usando *Daphnia magna* como organismo teste. O resultado de cada teste é expresso pelo  $CE_{50}$ , o qual representa a concentração percentual de esgoto têxtil que provoca imobilidade e/ou mortalidade de 50% dos organismos. Dessa forma, ressalta-se que quanto menor for o  $CE_{50}$ , maior será a toxicidade da amostra de esgoto.

**Tabela 5: Valores de  $CE_{50}$  dos testes ecotoxicológicos com *Daphnia magna* e classificação das amostras segundo IBAMA (1987).**

Tipo de esgoto	Amostra	$CE_{50}$ (%)	Classificação (IBAMA, 1987)
Esgoto sintético (RB5 – 200mg/L)	Esgoto bruto	23,02	Muito tóxica
	Efluente UASB	40,34	Tóxica
	Efluente RBS	N.A	N. A

N.A: Não apresentou toxicidade (não houve morte ou imobilidade de neonatos)

De acordo com os dados da Tabela 5 o efluente sintético contendo o corante RB5 (200mg/L) apresentou  $CE_{50}$  de 23,02%, sendo classificado como efluente muito tóxico. Após o tratamento no reator UASB, o valor de  $CE_{50}$  caiu para 40,34%, ou seja, houve uma diminuição da toxicidade após o tratamento anaeróbio. Após a



etapa de pós-tratamento aeróbio do efluente contendo o corante RB5, observou-se a completa detoxificação do efluente.

Gottlieb *et al.* (2003) reportaram que os testes utilizando a bactéria luminescente *Vibrio fischeri* não detectaram toxicidade no efluente contendo o corante azo RB5 após a biodegradação sob condições anaeróbias seguidas de aeróbias. Entretanto, diferente do encontrado nesse estudo, a descoloração do RB5 sob condições anaeróbias resultou em um aumento da toxicidade.

Sponza e Isik (2005) avaliaram a toxicidade do efluente sintético contendo o corante azo *Direct Red 28* (DR28) após a seqüência de tratamento anaeróbio/aeróbio através de testes ecotoxicológicos usando *Daphnia magna* como organismo-teste. Os resultados mostraram que a degradação anaeróbia do corante azo gerou metabólitos que eram tóxicos as *Daphnias*, e após o tratamento aeróbio a toxicidade foi eliminada, indicando que os produtos causadores de toxicidade foram parcialmente degradados sob condições aeróbias. Além disso, os autores destacaram que, assim como verificado nesse estudo com o corante RB5, a toxicidade do corante DR28 decresceu com a seqüência de tratamento anaeróbio/aeróbio, indicando que o corante era mais tóxico que seus produtos.

Finalmente, com os resultados dos testes ecotoxicológicos, foi possível verificar que o esgoto sintético contendo o corante azo RB5 apresentou elevada toxicidade e que tanto o tratamento anaeróbio quanto o aeróbio reduziram a toxicidade do esgoto, com destaque para a etapa aeróbia onde ocorreu completa detoxificação.

## CONCLUSÕES

O sistema anaeróbio operado em dois estágios embora tenha apresentado eficiência na remoção de cor próxima de 70% removeu apenas 30% da DQO do esgoto sintético contendo o corante azo RB5.

O reator de lodos ativados em batelada removeu cerca de 85% da DQO residual do sistema anaeróbio, produzindo um efluente com DQO abaixo de 130 mgO<sub>2</sub>/L.

A seqüência de tratamento anaeróbia-aeróbia removeu consideravelmente a toxicidade do esgoto sintético, visto que foi inicialmente classificado como muito tóxico e após o seqüência de tratamento não foi verificada toxicidade no efluente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processo nº. 470310/2007-3) pelo apoio financeiro para realização da pesquisa e pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.
2. ABNT. NBR 12713 - Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia* spp. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
3. BEHLING, E. ; DIAZ, A.; COLINA, G.; HERRERA, M.; GUTIERREZ, E.; CHACIN, E.; FERNANDEZ, E.; FORSTER, C. F. Domestic wastewater treatment using a UASB reactor. *Bioresource Technology*, v. 61, p. 239-245, 1997.
4. BUCHAUER, K. A. (1998) Comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment process. *Water SA* 24, 49-56.
5. CARLIELL, C. M.; BARCLAY, S. J.; NALDOO N.; BUCKLEY, C. A.; MULHOLLAND, D. A.; SENIOR, E. Microbial decolourisation of a reactive azo dye under anaerobic conditions. *Water SA*, v. 21, p. 61-69, 1995.
6. DELEE, W., O'NEILL, C., HAWKES, F.R. and PINHEIRO, H.M. (1998) Anaerobic treatment of textile effluents: a review. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 73, 323-335.

7. DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; VAN LIER, J. B. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 2369-2385, 2007.
8. FIELD, J.A., STAMS, A.J.M., KATO, M., SCHRAA, G., (1995). Enhanced biodegradation of aromatic pollutants in cocultures of anaerobic and aerobic bacterial consortia. *Antonie van Leeuwenhoek Int. J. Gen. Mol. Microbiol.* 67, 47-77.
9. GOTTLIEB, A.; SHAW, C.; SMITH, A.; WHEATLEY, A.; FORSYTHE, S. The toxicity of textile reactive azo dyes after hydrolysis and decolourisation. *Journal Biotechnology*, v. 101, 49-56, 2003.
10. ISIK, M.; SPONZA, D. T. (2005) Effects of alkalinity and co-substrate on the performance of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor through decolorization of Congo Red azo dye. *Bioresource Technology* 96, 633-643.
11. ISIK, M.; SPONZA, D. T. Monitoring of toxicity and intermediates of C.I. Direct Black 38 azo dye through decolorization in an anaerobic/aerobic sequential reactor system. *Journal of Hazardous Materials*, v. B114, p. 29-39, 2004.
12. KAPDAN, I. K.; OZTEKIN, R. The effect of hydraulic residence time and initial COD concentration on color and COD removal performance of the anaerobic-aerobic SBR system. *Journal of Hazardous Materials*, v. B136, p. 896-901, 2006.
13. LOURENÇO, N. D.; NOVAIS, J. M.; PINHEIRO, H. M. Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Journal of Biotechnology*, v. 89, p. 163-174, 2001.
14. LOURENÇO, N.D.; NOVAIS, J.M.; PINHEIRO, H.M. Analysis of secondary metabolite fate during anaerobic-aerobic azo dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Environ.Technol.*, v. 24, p. 679-686, 2003.
15. LIBRA, J.A.; BORCHERT, M.; VIGELAHN, L.; STORM, T. Two stage biological treatment of a diazo reactive textile dye and the fate of the dye metabolites. *Chemosphere*, v. 56, p. 167-180, 2004.
16. ONG, S.; TOORISAKA, E.; HIRATA, M.; HANO, T. Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system. *Separation and Purification Technology*, v. 42, p. 297-302, 2005a.
17. SHAW, C.B.; CARLIELL, C.M.; WHEATLEY, A.D. Anaerobic/aerobic treatment of coloured textile effluents using sequencing batch reactors. *Water Res.*, v. 36, p. 1993-2001, 2002.
18. SPONZA, D. T.; ISIK, M. Decolorization and azo dye degradation by anaerobic/aerobic sequential process. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 31, p. 102-110, 2002.
19. SPONZA, D. T.; ISIK, M. Toxicity and intermediates of C.I. Direct Red 28 dye through sequential anaerobic/aerobic treatment. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 2735-2744, 2005b.
20. VAN DER ZEE, F. P.; VILLAVERDE, S. Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes – A short review of bioreactor studies. *Water Research*, v. 39, p. 1425-1440, 2005.
21. WEISBURGER, J. H. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutation Research*, v. 506-507, p. 9-20, 2002.
22. WORLD TRADE ORGANIZATION. *International Trade Statistics 2008*. Geneva, 2008. 255 p.