

## II-355 - USO DE UM BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA SUBMERSA (SAMBR) NO TRATAMENTO DE UMA SOLUÇÃO CONTENDO O AZO CORANTE AMARELO REMAZOL OURO RNL

**Bruno Eduardo Lobo Baêta<sup>(1)</sup>**

Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal de Alfenas. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto.

**Sérgio Francisco de Aquino**

Professor Adjunto do Departamento de Química da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

**Diego Roberto de Sousa Lima**

Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal de Alfenas. Mestrando em Engenharia ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto.

**Ramatiza Ladeia Ramos**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Fernão dias Paes Leme, Bairro Bandeirantes, Ouro Branco-MG-CEP: 36400-000-Brasil--  
Tel: +55 (31) 3559-1837, (31) 8553-4328

### RESUMO

Este trabalho investigou o uso de um biorreator anaeróbico de membrana submersa (SAMBR) para o tratamento de uma solução contendo o azo corante modelo amarelo remazol ouro RNL, comumente utilizado no setor têxtil. Para comparação dos resultados foram operados paralelamente dois reatores sendo um convencional do tipo manta de lodo (UASB) e outro SAMBR. Os reatores foram operados a 35°C e um tempo de retenção hidráulica (TDH) de 24 h em duas fases operacionais. Sendo que na primeira fase os reatores foram alimentados com uma solução nutriente contendo glicose (500 mg/L) como fonte de carbono, com intuito de promover a aclimação da biomassa, na segunda fase os reatores foram alimentados com a mesma solução da primeira fase porém com um acréscimo de 50 mg/L do azo corante amarelo remazol ouro RNL. Os resultados das duas fases operacionais demonstraram que o reator anaeróbico de membrana submersa apresentou um excelente desempenho na remoção de matéria orgânica, cor e turbidez quando comparado ao reator anaeróbico convencional do tipo UASB. Ao longo da primeira fase operacional o reator SAMBR obteve um valor de eficiência de remoção de DQO mediana de 61%, valor este bastante superior aos 49 % observados para o reator UASB, no parâmetro turbidez o reator SAMBR apresentou valor de turbidez efluente de 12,6 NTU, muito inferior aos 81,2 NTU obtidos para o reator UASB. Na segunda fase operacional a eficiência de remoção de DQO mediana do reator SAMBR aumentou para 84 % em quanto que no reator UASB o aumento foi para 69 %, a turbidez efluente no reator SAMBR (8,8 NTU) na segunda fase continuou muito menor que os valores observados para o reator UASB (40,9 NTU). Quando comparou-se a eficiência de remoção mediana de cor, foi possível perceber que o valor de 85% obtido para o SAMBR foi superior aos 79 % obtidos para o reator UASB. Isto indica que um reator SAMBR é capaz de tratar um efluente contendo corantes da classe azo, garantindo que o mesmo seja de alta qualidade e que atenda aos padrões exigidos pela legislação.

**PALAVRAS-CHAVE:** biorreator anaeróbico de membrana submersa (SAMBR), UASB, azo corante, eficiência de remoção de cor, remoção de matéria orgânica.

### INTRODUÇÃO

Os efluentes têxteis são normalmente gerados nas etapas de tingimento, enxágüe e lavagem (Kumar et al., 2008) dos tecidos e possuem grande quantidade de compostos orgânicos tais como corantes e surfactantes. Estes compostos são responsáveis por causarem uma alta demanda química e biológica de oxigênio, e neste caso os corantes são responsáveis ainda por conferirem elevada cor ao efluente.

A cor gerada pelos efluentes têxteis nos corpos d'água produz um aspecto estético extremamente desagradável, além de comprometer a fotossíntese das algas, reduzindo a quantidade de oxigênio dissolvido o que acarreta na elevada mortalidade de seres aquáticos (Weisburger 2002). Além dos corantes serem prejudiciais ao meio ambiente eles são, juntamente com seus produtos de degradação, nocivos ao homem, podendo ser considerados compostos químicos perigosos, que apresentam elevado potencial carcinogênico e mutagênico (Kalyuzhnyi e Sklyar 2000). Estima-se que existam mais de três mil tipos de corantes específicos

para o tingimento, sendo que, atualmente, mais de 70% são do tipo azo, caracterizados pela ligação dupla entre átomos de nitrogênio ( $-N=N-$ ).

Os efluentes têxteis podem ser tratados por uma grande variedade de processos que incluem técnicas biológicas e físico-químicas. Porém cada técnica apresenta uma limitação seja ela de cunho técnico ou econômico. Portanto não é usual indicar um único tratamento atrativo que seja capaz de remover cor de um efluente têxtil (Van der Zee e Villaverde, 2005). No Brasil grande parte das indústrias têxteis utiliza para o tratamento de seus efluentes a técnica biológica consagrada de lodos ativados. Tal processo é na maioria das vezes eficiente na remoção de carga orgânica, mas não é tão efetivo na remoção de cor dos efluentes. O uso de algumas técnicas utilizando carvão ativado ou coagulantes são usadas como complementares, mas normalmente geram uma grande quantidade de lodo que precisam ser posteriormente tratados (Santos et al., 2009). Desta forma é difícil encontrar uma tecnologia simples que seja capaz de remover eficientemente e economicamente cor de um efluente têxtil, isto abre oportunidade para estudos de técnicas que apresentem estas características.

Uma tecnologia comumente utilizada para remoção de cor em efluentes de indústrias têxteis é a digestão anaeróbia (Georgiou et al., 2004). Em condições anaeróbias, alguns poluentes orgânicos como azo corantes pode ser utilizados como aceptores finais de elétrons, provocando a redução da ligação azo ( $N=N$ ) e a produção de aminas, possivelmente aromáticas.

Os reatores do tipo UASB vem sendo amplamente utilizados no Brasil para o tratamento de diversos tipos de efluentes industriais, devido a suas inerentes vantagens, como facilidade operacional, elevada idade do lodo, baixo grau de mecanização e baixo requerimento de energia. Isto explica a grande quantidade de artigos utilizando reatores UASB para o tratamento de efluentes têxteis. Como exemplo Somasiri (2008) operou um reator UASB com TDH de 24h para o tratamento de um efluente têxtil com DQO de 2000 mg/L e mostrou que uma significativa remoção de cor (92%) pode ser obtida. Os autores também observaram que subprodutos tóxicos acumularam no reator, contribuindo para redução na eficiência de remoção global de matéria orgânica.

Um problema associado aos reatores anaeróbios quando operados em condições hidráulicas limitantes refere-se à baixa taxa de crescimento dos microrganismos, possivelmente devido à perda de biomassa enfrentada em reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB) ou filtro anaeróbio. Sendo assim a total retenção de microrganismos anaeróbios, que podem crescer ainda mais lentamente devido à presença de compostos tóxicos encontrados nos efluentes industriais, ou produzidos na degradação dos azo corantes, pode ser obtida acoplando-se membranas ao reator biológico (Hu e Stuckey, 2006). A membrana, além de garantir a retenção dos microrganismos dentro do reator, propicia a geração de um efluente consistentemente de qualidade, o que facilita o reuso deste efluente tratado como água de processo.

Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar a eficiência de um reator anaeróbio de membranas submersas (SAMBR) em relação a um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) na remoção de cor e carga orgânica de efluentes têxteis, determinando os parâmetros de processo e verificando se a qualidade do efluente tratado é compatível com as exigências para seu reuso como água de processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### MONTAGEM DO REATOR SAMBR

Um reator SAMBR de bancada foi construído em policloreto de vinila (PVC). O reator foi construído em formato de “Y”, o tipo de acoplamento utilizado foi o com membrana submersa em função das suas vantagens i) minimização do estresse de microrganismos devido à ausência de recirculação da biomassa; ii) redução do consumo de energia elétrica; iii) possibilidade de se minimizar a colmatação pelo mecanismo de auto-limpeza da membrana promovido pela ascensão de bolhas do biogás; iv) facilidade de desacoplamento do módulo de filtração para limpezas periódicas.

O reator foi dividido em uma região de decantação e uma câmara de digestão. A câmara de digestão possui um volume de aproximadamente 2,25 L; e o decantador (parte superior do reator onde está localizado o módulo de membrana submerso e o separador trifásico-funil invertido) possui aproximadamente 1 L; totalizando um volume útil de cerca de 3,25 L, o reator foi adaptado segundo Loures (2007).

O bioreator de membranas foi construído utilizando módulo de membranas de microfiltração de fibra oca (tipo *hollow fiber*) fabricado por *PAM Membranas Seletivas*. O módulo de membranas apresenta as seguintes características: membranas na geometria cilíndrica do tipo fibras ocas; material poli(imida); diâmetro externo das fibras: entre 0,8 e 0,9 mm; fibras com camada seletiva externa; tamanho máximo de poros na superfície externa das fibras de 0,4 micrometros; retenção de 99,99% dos microorganismos e dos sólidos suspensos presentes na água a ser tratada.

## MONTAGEM DO REATOR UASB

Um reator UASB de bancada foi construído em material polivinila de carbono (PVC). O reator é constituído por uma região de decantador e uma câmara de digestão. A câmara de digestão possui um volume de aproximadamente 2,25 L; e o decantador (parte superior do reator onde está localizado o separador trifásico – funil invertido) tem um volume de aproximadamente 1L; perfazendo um volume útil total de aproximadamente 3,25 L. A câmara de digestão contém duas torneiras para o monitoramento do crescimento da biomassa anaeróbia no reator. O reator foi construído com dimensões adequadas para permitir uma velocidade ascensional na faixa de 0,5 a 1 m/h na base do reator (entrada do afluente), garantindo assim um adequado grau de agitação na câmara de digestão, conforme recomendações de Chernicharo (2007). Terminada a confecção do reator, este foi submetido a um teste de estanqueidade.

## OPERAÇÃO DOS REATORES

Os dois reatores foram operados simultaneamente e em paralelo, de forma contínua, em diferentes fases operacionais como descritas na Tabela 1. Durante as fases operacionais adotou-se um TDH de aproximadamente 24h, implicando em uma vazão de alimentação de ~ 0,120 L/h. Vale ressaltar que durante todo período de operação a temperatura dos reatores fora mantidas sob temperatura controlada de 35°C.

Os reatores SAMBR e UASB foram inoculados com lodo anaeróbio (25% do volume útil de cada reator) proveniente de um reator UASB alimentado com esgoto sanitário e operado em escala de demonstração no Centro de Treinamento e Pesquisas em Saneamento (CeTPS) da UFMG-COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Arrudas, na cidade de Belo Horizonte, MG.

**Tabela 1** – Descrição das fases operacionais aplicadas aos reatores SAMBR e UASB.

Fase	Corante (mg/L)	Solução nutriente	Glicose <sup>1</sup> (mg/L)	Duração da fase (dias)	Condição
I	Não	Sim	Sim (500)	60	Finalizada
II	Sim	Sim	Sim (500)	60	Finalizada

<sup>1</sup> Será usada como fonte de carbono.

**Tabela 2** – Solução nutricional utilizada na alimentação dos reatores anaeróbios (preparada para DQO de 500mg/L).

Macro Nutrientes	Concentração (mg/L)	Micro Nutrientes	Concentração (mg/L)
NH <sub>4</sub> Cl	111,20	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,500
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	13,25	ZnCl <sub>2</sub>	0,013
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4,45	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,125
MgCl <sub>2</sub>	25,00	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MO <sub>7</sub> ) <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,160
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	18,90	AlCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,130
NaHCO <sub>3</sub>	250,00	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,500
-	-	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	1,300
-	-	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,300
-	-	CuCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,800
-	-	HCl	0,1 ml/L

A cada 2 dias, a solução de alimentação que simula um efluente sintético era preparada e em seguida autoclavada à 120°C por 15min, a fim de minimizar o crescimento microbiano no reservatório e linha de alimentação. A solução contendo macro e micronutrientes, adaptada às condições operacionais adotadas, tiveram como base as sugestões de AQUINO *et al.* (2006) e a relação DQO:N:P mínima de 350:5:1, conforme CHERNICHARO (2007) e apresentado na Tabela 2.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

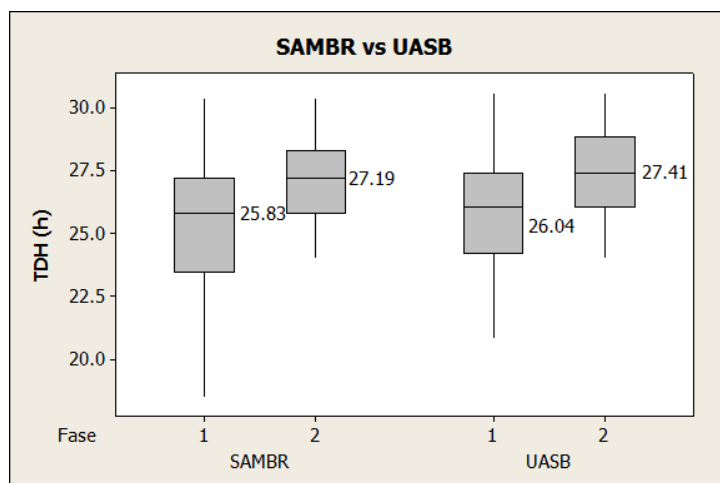
Em todas as fases operacionais, amostras do conteúdo dos reatores e dos efluentes foram caracterizadas com base nos parâmetros usuais de monitoramento (DQO, série de sólidos, pH, turbidez), conforme o *Standard Methods* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

A eficiência da remoção de cor bem como a degradação do azo-corante amarelo remazol ouro RNL, foram medidas no comprimento de onda de maior absorção do corante modelo amarelo remazol ouro RNL ( $\lambda_{max}$ = 410 nm) em um espectrofotômetro (HP 8453 UV-Visible system).

As amostras do afluente, efluente e de dentro dos reatores eram coletadas e centrifugadas em uma centrífuga *Fanem Centrífuga Excelsa II 206 BL*, a 5000 rpm durante 20 minutos, buscando sempre a completa remoção de sólidos do sobrenadante. O sobrenadante era, então, encaminhado para análise.

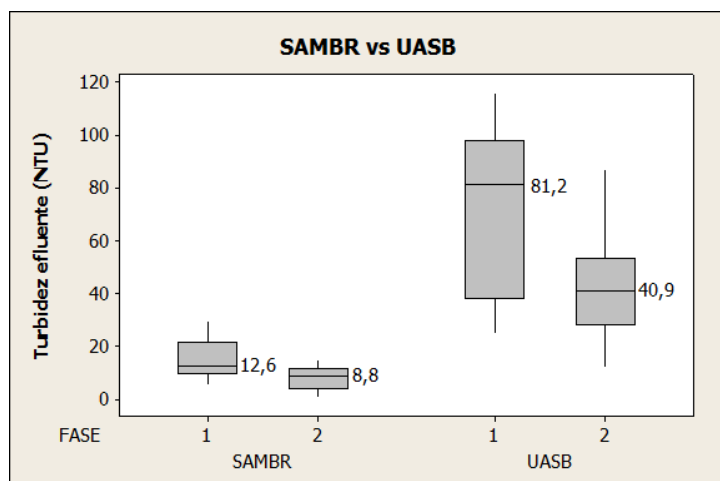
## RESULTADOS

Para avaliação do comportamento de cada reator serão apresentados os resultados de monitoramento de alguns parâmetros físico químicos, avaliados durante as fases I e II. Durante a operação dos reatores foram avaliados parâmetros como TDH, turbidez, eficiência de remoção de DQO centrifugada e eficiência de remoção de cor. A Figura 1 mostra que não houve variação significativa do TDH nos reatores SAMBR e UASB durante as duas fases operacionais, isto de certa forma facilita a comparação entre os resultados obtidos, pois mostra que os reatores foram operados sobre as mesmas condições de carga orgânica aplicada, uma vez que a solução de alimentação era igual para ambos os reatores nas diferentes fases operacionais.



**Figura 1** – Variação do TDH durante as fases 1 e 2 no reator SAMBR e UASB

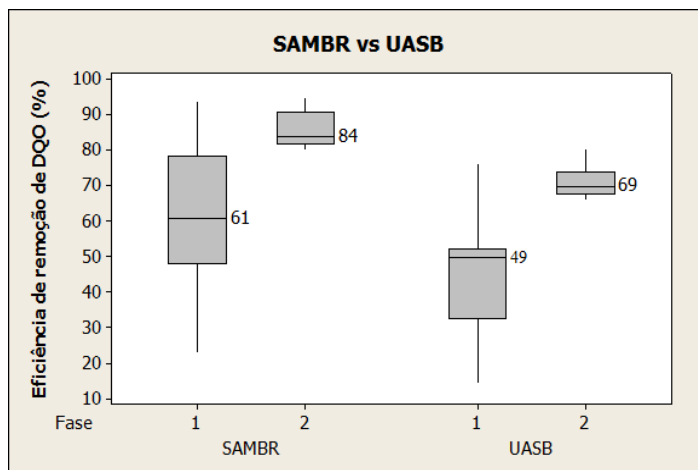
Outro parâmetro avaliado durante a operação dos reatores foi a turbidez no efluente final. A partir da Figura 2 é possível perceber que a turbidez no efluente obtido a partir do reator SAMBR é consideravelmente menor que a do reator UASB, isto é um indício que o biorreator anaeróbio de membrana submersa de fato tem a capacidade de reter uma maior quantidade de biomassa no seu interior, garantindo então um sistema com maior eficiência de remoção de cor e matéria orgânica e um efluente consistentemente de qualidade.



**Figura 2-** Variação da turbidez do efluente final durante as fases 1 e 2 nos reatores SAMBR e UASB.

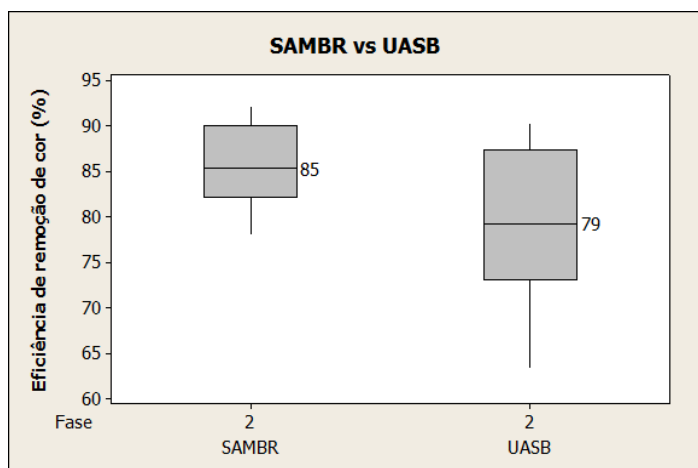
A capacidade de um reator SAMBR em reter biomassa no seu interior garante uma maior eficiência de remoção de matéria orgânica e remoção de cor ao sistema. Tal fato pode ser comprovado avaliando os resultados de remoção de matéria orgânica obtidos na Figura 3 e a remoção de cor obtida na Figura 4. Como é possível observar durante a primeira etapa de operação a diferença entre o SAMBR e UASB não foi tão significativa, isto se deve ao fato de a biomassa ainda não estar totalmente aclimatada. Portanto a partir da segunda fase operacional foi observado um aumento acentuado na remoção de DQO no SAMBR de 61% a 84%.

Um trabalho desenvolvido por Correia (2009) em um reator anaeróbio do tipo UASB sem carvão ativado alimentado com efluente sintético contendo azo corante modelo obteve valores de eficiência de remoção de DQO de 61% nas condições operacionais sem extrato de levedura e sem corante, este valor é bem menor do que os valores obtidos pelo reator SAMBR na fase 2 (84%).



**Figura 3** – Eficiência de remoção de DQO nos reatores SAMBR e UASB nas fases 1 e 2.

A Figura 4 compara os resultados de eficiência de remoção de cor no SAMBR e UASB durante a fase II em que os reatores foram operados com uma solução de alimentação contendo um tipo de azo corante utilizado na indústria têxtil, os resultados mostram uma maior eficiência de remoção de cor no SAMBR quando comparado ao UASB. Estes resultados mostram que o SAMBR tem a capacidade de melhorar a taxa de crescimento dos microrganismos, diminuindo a perda da biomassa (*washout*) no reator, melhorando então seu funcionamento.



**Figura 4** – Eficiência de remoção de cor nos reatores SAMBR e UASB na fase 2.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu concluir e demonstrar a capacidade do reator anaeróbico de membrana submersa SAMBR frente ao reator UASB em obter um efluente sintético consistentemente de qualidade com elevada remoção de matéria orgânica e cor, além de demonstrar a capacidade desta configuração de reator em obter um efluente tratado que atenda aos padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Aquino, S. F.; Hu, A.Y.; Akram, A; Stuckey, D. C. Characterization of dissolved compounds in submerged anaerobic membrane bioreactors (SAMBRs). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 81, p. 1894-1904, 2006.
2. Chernicharo, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. *Reatores Anaeróbios*, v. 5, 2ª Ed., DESA-UFGM, 2007.
3. Correa, C. A. R.; Aquino, S. F.; Caldas, P. C. P.; Monteiro, M. B. C. F.; Silva, S. Q. Degradação anaeróbia de azo corante em reator UASB com o auxílio de extrato de levedura. Trabalho submetido para apresentação no XVII Simpósio Nacional de Bioprocessos a ser realizado de 02 a 05 de Agosto de 2009, em Natal – RN.
4. Georgiou, D.; Metallinou, C.; Aivasidis, A.; Voudrias, E.; Gimouhopoulos, K.. Decolorization of azo-reactive dyes and cotton-textile wastewater using anaerobic digestion and acetate-consuming bacteria. *Biochemical Engineering Journal*, v. 19, p. 75-79, 2004.
5. Hu, A.Y.; Stuckey, D.C. Treatment of dilute wastewaters using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor. *Journal of Environmental Engineering-Asce*, v. 132, p. 190-198, 2006.
6. Kalyuzhnyi, S.; Sklyar, V. Biomineralisation of azo dyes and their breakdown products in anaerobic aerobic hybrid and UASB reactors. *Water Science and Technology*, v. 41, p. 23-30, 2000.
7. Kumar, P.; Prasad, B.; Mishra, I. M.; Chand, S. Treatment of composite wastewater of a cotton textile mill by thermolysis and coagulation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 151, p. 770-779, 2008.
8. Loures, A. P. S. Tratamento anaeróbio de efluentes de máquina de papel por bioreator convencional e bioreator de membranas. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2007.
9. Santos, V. P.; Pereira, M. F. R.; Faria, P. C. C.; Orfao, J. J. M. Decolourisation of dye solutions by oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the presence of modified activated carbons. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 736-742, 2009.
10. Somasiri, W.; Li, X. F.; Ruan, W. Q.; Jian, C. Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of colour and reduction of COD in real textile wastewater. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 3692-3699, 2008.
11. 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.
12. Weisburger, J.H. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, v. 20, p. 506-507, 2002.