

Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil

Anaerobic reactor type UASB conjunction with process Fenton to remove color and chemical oxygen demand textile industry of synthetic wastewater

**Emília Maria Alves Santos¹, Antônia Tatiana Pinheiro do Nascimento²,
Thiago Romário Soares Paulino³, Bruno César Salgado Barroso⁴, Cynara Reis Aguiar⁵**

RESUMO

A contaminação por despejos de efluentes industriais têxteis tem sido uma preocupação emergente de pesquisadores e ambientalistas, pois esses apresentam composição extremamente heterogênea e grande quantidade de material tóxico e recalcitrante, o que dificulta seu tratamento. Durante o processamento têxtil, uma ampla gama de corantes é liberada e alguns desses, como os azo corantes, que se caracterizam pela função azo (-N=N-) ligada a grupos aromáticos e podem ser tóxicos, carcinogênicos e/ou mutagênicos. Em vista disso, esta pesquisa teve como principal objetivo avaliar os benefícios da utilização de um reator anaeróbio tipo reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo (UABS), seguido de processo oxidativo avançado (POA) do tipo Fenton na degradação de cor e demanda química de oxigênio (DQO) de efluente sintético de indústria têxtil. Com os resultados, foram verificadas remoções de DQO em torno de 82,0% para o reator UASB e de 95,6% para o conjunto. A cor alcançou 96,1% de remoção no reator UASB e 100,0% ao final do processo.

Palavras-chave: reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo; processo oxidativo avançado; descoloração; demanda química de oxigênio; verde malaquita.

ABSTRACT

Contamination by textile industrial wastewater discharges has been an emerging concern of researchers and environmentalists, as they have extremely heterogeneous composition and loads of toxic and recalcitrant material, which complicates treatment. In the textile processing, a wide range of dye is released and some of these, such as dyes, azo, characterized by the feature azo (-N=N-) attached to aromatic groups and may be toxic, carcinogenic and/or mutagenic. In view of this, this research aimed to evaluate the benefits of using an anaerobic reactor type anaerobic reactor upflow sludge blanket (UABS), followed by advanced oxidation process (AOP) type Fenton in color degradation and chemical oxygen demand (COD) of synthetic textile industry effluent. From the results of COD removal was observed at around 82.0% for the UASB reactor and 95.6% for the group. The color reached 96.1% removal in UASB reactor and 100.0% at the end of the process.

Keywords: anaerobic reactor upflow sludge blanket; oxidative advanced process; discoloration; chemical oxygen demand; malachite green.

INTRODUÇÃO

Diversos segmentos industriais destacam-se no cenário ambiental como grandes poluidores, devido às suas características altamente prejudiciais ao ambiente. Nessa categoria, enquadra-se o setor têxtil,

apresentando-se como um dos maiores consumidores industriais de água do mundo. Além disso, como a maior parte da água utilizada no processo não é incorporada ao produto, esse setor também é responsável pelo descarte de grandes volumes de efluentes, que apresentam

¹Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC) - Fortaleza (CE), Brasil.

²Mestranda em Energias Renováveis no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) - Maracanaú (CE), Brasil.

³Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo IFCE - Maracanaú (CE), Brasil.

⁴Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE - Maracanaú (CE), Brasil.

⁵Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - Uberlândia (MG), Brasil.

Endereço para correspondência: Emília Maria Alves Santos - Rua Jardim Silveira, 670 - Novo Mondubim - 60764-060 - Fortaleza (CE), Brasil - E-mail: emilia@ifce.edu.br

Recebido: 06/04/15 - **Aceito:** 09/06/16 - **Reg. ABES:** 148154

elevada carga orgânica, alto teor de sais inorgânicos, sólidos suspensos, pH variável, presença de surfactantes e, principalmente, uma alta concentração de corantes (SILVA, 2015).

A quantidade exata de corantes orgânicos sintéticos produzidos em todo mundo nos dias atuais não é conhecida. Todavia, os gastos anuais com a sua produção têm crescido continuamente. Estima-se que o consumo de corantes no Brasil, seja em torno de 26.500 t por ano (MARMITT; PIROTTA; STULP, 2010).

De todas as classes de corantes orgânicos sintéticos, os azo corantes vêm se destacando como a principal classe de corantes empregados para colorir produtos em vários setores da indústria têxtil (RIBEIRO *et al.*, 2013).

A carga orgânica liberada por essas substâncias altera o ecossistema devido ao aumento de turbidez na água, dificulta a penetração da radiação solar — o que gera modificações na atividade fotossintética e o regime de solubilidade dos gases. Ademais, os corantes possuem compostos tóxicos em sua molécula, tais como: benzeno, tolueno e etil-benzeno, naftaleno, antraceno e xileno. Essas substâncias causam perigo de bioacumulação e riscos de eco toxicidade, podendo permanecer por 50 anos no meio ambiente (MENDES; DILARRI; PELEGRINI, 2015).

Devido aos problemas ambientais decorrentes, muitos estudos associados a novas tecnologias têm sido propostos para o tratamento de efluentes têxteis, como, por exemplo, ozonização, fluxo subcrítico, degradação biológica, adsorção e biossorção (MÓDENES *et al.*, 2012).

Em geral, as indústrias têxteis no Brasil tratam seus efluentes empregando a tecnologia de lodos ativados, sendo necessária a aplicação de tratamentos adicionais para a redução da cor (GALINDO; JACQUES; KALT, 2011). Outras formas de eliminação dos corantes se baseiam na utilização de processos integrados que envolvem combinações entre processos biológicos e físico-químicos (ROBINSON *et al.*, 2011). Os processos combinados são utilizados de maneira complementar, já que muitas vezes os processos utilizados isoladamente apresentam deficiência para o tratamento do efluente (KUNZ *et al.*, 2002).

A utilização dos processos oxidativos avançados (POA) funciona como um método alternativo na degradação de diferentes tipos de poluentes, tendo sido observadas ótimas porcentagens de degradação dessas substâncias em solução aquosa (NAPOLEÃO *et al.*, 2015).

O verde malaquita (Figura 1), um corante azo, apresenta elevada solubilidade em água e nos álcoois metílico, etílico e amílico. Em soluções aquosas, apresenta coloração verde azulada com absorção máxima de radiação eletromagnética em 616,9 nm. Varia de cor de acordo com o pH, sendo amarelo em pH<2, verde em pH=2, verde azulado em pH=11,6 e incolor em pH=14 (ALVES, 2013). Esse corante apresenta uma banda de absorção na região vermelha do espectro eletromagnético. Sua molécula é catiônica e pertence à família dos trifenilmetanos com três anéis benzênicos e sua fórmula química é representada por $C_{23}H_{25}N_2$ (PRATRES, 2005).

Além disso, esse corante possui toxicidade, podendo causar irritação e tumores gastrointestinais, irritações na pele, e afeta seriamente

a fauna aquática, caso efluentes com altas concentrações dessa substância não sejam tratados adequadamente antes de serem lançados ao meio ambiente (ALVES, 2013). Em humanos, há relatos descrevendo seus efeitos perigosos e cancerígenos em células de mamíferos, atuando como promotor de tumores no fígado, além de estar relacionado à baixas taxas de fertilidade (CARVALHO, 2013).

Esse corante foi escolhido, na presente pesquisa, por ser extremamente importante o tratamento adequado de efluentes que o contém e, por conta da escassez de trabalhos que estudam sua degradação, em efluentes aquosos, em periódicos nacionais e internacionais.

O reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB) é composto por um manto de lodo, no qual o afluente entra na parte inferior do reator em movimento ascendente, e atravessa uma camada de lodo biológico. O efluente é então encaminhado para um separador de fases (gás-sólido-líquido) enquanto escoar em direção à superfície. A utilização desses reatores apresenta vantagens como baixo custo de implantação, simplicidade operacional, menor geração de lodo, menor consumo de energia elétrica, dentre outras (CHERNICHARO, 1997). Além disso, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca de 70 a 90%), que pode ser aproveitado em diversas aplicações (VON SPERLING, 1996; CHERNICHARO, 1997).

Apesar da grande aceitação e de todas as vantagens inerentes aos reatores anaeróbios, tipo UASB, permanece nesses sistemas uma grande dificuldade de produzir, isoladamente, um efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental do país. De forma similar à maioria dos processos compactos de tratamento, os reatores UASB, ainda que bem adequados à remoção da matéria carbonácea dos esgotos, não são eficientes na remoção de nutrientes (N e P), eliminação de organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos) e efluentes muito recalcitrantes, necessitando, portanto, de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes, como, por exemplo, tratamentos físico-químicos (SILVA; PETTER; SCHNEIDER, 2007).

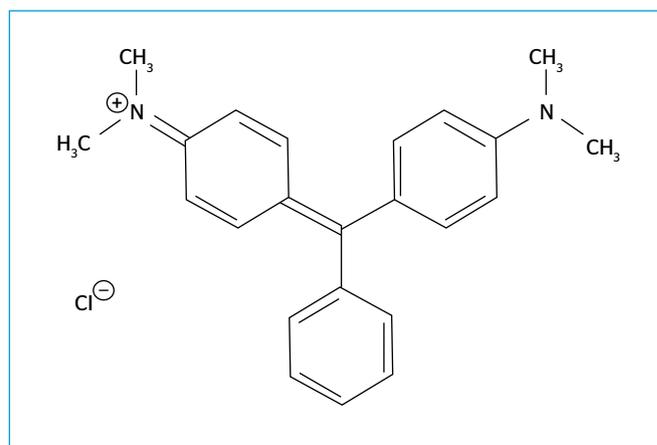


Figura 1 - Fórmula estrutural do corante verde malaquita.

Os POA são processos físico-químicos que, aplicados ao tratamento de efluentes, são capazes de produzir mudanças nas estruturas químicas dos contaminantes. Os processos envolvem a geração e uso de espécies transitórias, principalmente o radical hidroxil ($\text{HO}\bullet$) (MARTINS, 2012). Esse radical pode ser gerado por meios fotoquímicos ou outras formas de energia e possui alta eficiência na oxidação da matéria orgânica (MOMENTI, 2006).

Um dos processos oxidativos mais utilizados, que envolve a decomposição catalítica espontânea de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em meio ácido em presença de íons ferrosos (Fe^{2+}), é o processo Fenton. A aplicação bem sucedida desse processo para a degradação de variados contaminantes orgânicos depende da produção de radicais hidroxilas $\text{HO}\bullet$ sob condições ácidas do íon ferroso quando reage com H_2O_2 . O sistema Fenton representa uma alternativa simples e eficiente para descoloração de corantes reativos (LIRA *et al.*, 2013).

Segundo Lucas e Peres (2006), no processo Fenton, o íon Fe^{2+} inicia e catalisa a decomposição do H_2O_2 , resultando na geração de radicais $\text{HO}\bullet$ (Equação 1). Esses radicais são capazes de rapidamente atacar substratos orgânicos (RH), causando a decomposição química por abstração de H e adição em ligações insaturadas $\text{C}=\text{C}$ (Equações 2 a 4).



Comparado a outros processos POA, a reação Fenton apresenta a vantagem do H_2O_2 ser ambientalmente degradável, decompondo-se lentamente em oxigênio e água. Além disso, a abundância, a ausência de toxicidade e a fácil remoção em água tornam o Fe^{2+} o metal de transição mais comumente usado para aplicação de reações Fenton (EL-GOHARY *et al.*, 2009).

Em vista do exposto, o presente trabalho propõe o tratamento de água residuária sintética de indústria têxtil contendo o corante verde malaquita por meio de um reator UASB, seguido de POA do tipo Fenton.

METODOLOGIA

O reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo

O reator UASB, utilizado na pesquisa (Figura 2), foi construído com cano de policloreto de polivinila (PVC), em forma de Y, com 100 mm de diâmetro, 1,5 m de altura e volume útil de 11,55 L. Ao longo do reator, a cada 20 cm, foram instaladas torneiras para entrada do afluente, coleta de lodo e de efluente. O modelo foi adaptado de Araújo (2008).

Uma tela foi colocada a 15 cm da entrada do reator, para evitar obstruções na primeira torneira. Uma bomba dosadora modelo LMI Milton Roy foi utilizada para conduzir o afluente de um recipiente de 50 L até o reator. Os procedimentos apresentados por Van Haandel e Lettinga (1994) e Chernincharo (1997) foram utilizados no dimensionamento do reator.

O lodo anaeróbico, utilizado para a inoculação do reator UASB, foi coletado de uma estação de tratamento de águas residuárias de origem doméstica da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) localizada em Pajuçara (CE).

Esse lodo foi alimentado com soluções de nutrientes e elementos-traço, descritos nas Tabelas 1 e 2, e transferido para o reator UASB. O volume de lodo introduzido foi de 6,0 L o que corresponde a 52% do seu volume útil (CAMPOS *et al.*, 2005).

A carga orgânica volumétrica (COV) do lodo aplicada ao reator UASB na inoculação foi de 1,5 kg DQO. $\text{m}^3.\text{d}^{-1}$.

Para que não ocorressem problemas com a massa microbiológica, as soluções do corante foram inoculadas gradativamente nas concentrações de 30, 50 e 60 mg.L^{-1} por um período de 20 dias. A concentração de 60 mg.L^{-1} foi mantida até a verificação da estabilização, em termos de demanda química de Oxigênio (DQO) do lodo do reator. Logo após, a concentração do corante foi elevada para 100 mg.L^{-1} (EL-GOHARY *et al.*, 2009). Do 42º ao 78º dia foram avaliadas as remoções de DQO e cor para o reator e realizados os experimentos do processo Fenton para o seu efluente. O reator operou por 119 dias, contados desde a aclimação.

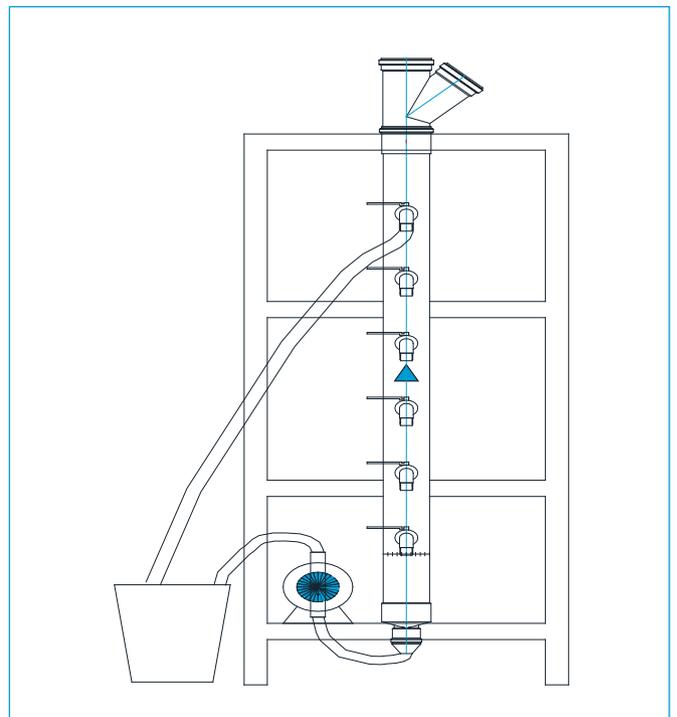


Figura 2 - Esquema simplificado do reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo utilizado na pesquisa.

As soluções de corante foram preparadas com água da torneira e enriquecidas com os nutrientes listados nas Tabelas 1 e 2. O reator UASB foi operado com uma vazão de 0,95 L.h⁻¹, sem recirculação, e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 horas. Após esse período, o efluente foi submetido ao processo Fenton.

O processo Fenton

As reações Fenton foram realizadas em erlenmeyers de 500 mL, recobertos com papel alumínio, a fim de evitar a penetração de luz. O processo foi realizado em agitador magnético.

A amostra (300 mL) submetida ao processo Fenton era efluente ao reator UASB. Para o processo foram preparadas soluções de Fe₂SO₄ e H₂O₂ (35% m/m), em proporções de 5:1 (proporção determinada em experimentos preliminares) respectivamente, ou seja, 5,0x10⁻⁴ mol.L⁻¹ de Fe²⁺ para 1,0x10⁻⁴ mol.L⁻¹ de H₂O₂. O pH foi ajustado com H₂SO₄ (1,0 mol.L⁻¹) para valores entre 2,0 e 3,0, pois, segundo Neyens e Baeyens (2003), o processo Fenton é mais eficiente em meio ácido.

A reação foi realizada sob agitação contínua, a 10 rpm e, por um período de 60 minutos. Após esse tempo, o pH da solução foi elevado a 10 com NaOH (0,1 mol.L⁻¹) para eliminar interferentes nas determinações analíticas. A adição dessa solução permite que o Fe²⁺, que foi oxidado a Fe³⁺ na reação Fenton, seja precipitado na forma de Fe(OH)₃. Após isso, as amostras ficaram em repouso por 15 minutos e depois foram centrifugadas a 250 rpm, por 10 minutos, para total precipitação de materiais em suspensão. Por fim, para eliminar resíduos de H₂O₂ foi adicionado MnO₂ ao sobrenadante (YETILMEZSOY & SAKAR, 2008). Foram realizados 10 experimentos.

Tabela 1 - Solução estoque de nutrientes, utilizada no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

Nutriente	Concentração (g.L ⁻¹)
NH ₄ Cl	0,28
K ₂ HPO ₄	0,25
MgSO ₄ .7H ₂	0,10
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,01
CaCO ₃	0,60
Elementos traço	1,00 mL.L ⁻¹

Tabela 2 - Solução estoque de elementos-traço, utilizada no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

Nutriente	Concentração (mg.L ⁻¹)
FeCl ₂ .4H ₂ O	2.000,00
H ₃ BO ₃	50,00
ZnCl ₂	50,00
CuCl ₂ .2H ₂ O	38,00
MnCl ₂ .4H ₂ O	500,00
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	50,00
AlCl ₃ .6H ₂ O	90,00
CoCl ₂ .6H ₂ O	2.000,00

Os procedimentos para as determinações de pH, cor e DQO seguiram as recomendações do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005). Todas as análises foram realizadas em duplicatas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Eficiência de remoção de demanda química de Oxigênio no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo e no sistema reator/Fenton

O reator UASB apresentou estado de equilíbrio entre o 35° e 41° dia de operação com valores de DQO próximos a 1,2 kg DQO.m³.d⁻¹. Araújo (2008), que utilizou lodo anaeróbico de uma cervejaria, em reator UASB, obteve estabilização da DQO, no mesmo intervalo de tempo. O lodo adaptado teve por finalidade evitar problemas de choques na biomassa do reator e, conseqüentemente, manter a eficiência de remoção de carga orgânica do resíduo (RIGO, 2004).

O desempenho do reator UASB em termos de concentração de DQO afluente e efluente, para o período estudado, está apresentado na Figura 3.

Os dados da eficiência na remoção de DQO pelo reator UASB durante o período de operação estão apresentados na Figura 4.

Ao analisar os resultados da Figura 4, constatou-se que a eficiência média de remoção de DQO no UASB ficou em torno de 82,0% após 70 dias, tendo permanecido nessa faixa até o final do experimento. Registros mostrando a eficiência de reatores anaeróbicos do tipo UASB na remoção de corantes são bastante comuns na literatura especializada. Conceição, Freire e Carvalho (2013), ao realizarem o tratamento de um efluente têxtil sintético contendo o corante azul índigo por meio de um reator UASB, constataram que a eficiência média de remoção de DQO no durante todo o período de observação foi em média 81,2%. Pode-se verificar, dessa forma,

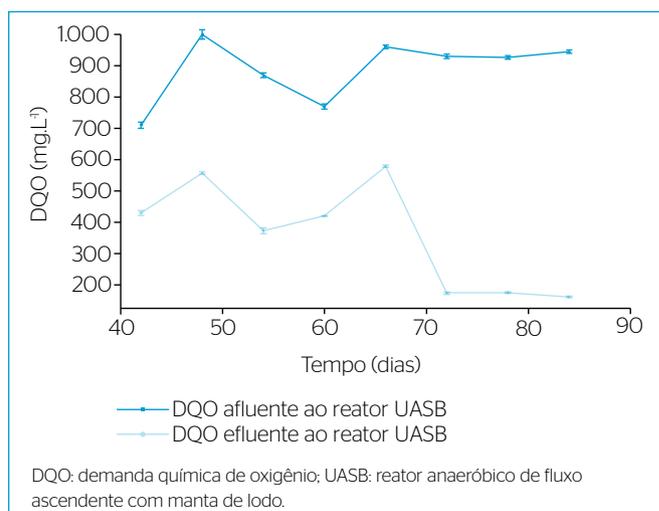


Figura 3 - Variação temporal dos valores de demanda química de oxigênio afluente e efluente no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

que o reator UASB, tratando o efluente têxtil sintético contendo o corante verde malaquita, apresentou efetiva remoção de matéria orgânica em termos de DQO — apesar da diminuição da eficiência de remoção por volta do 66º dia devido a um ligeiro aumento da DQO afluente. Ao final da operação, o reator apresentou uma porcentagem de remoção mais constante. O resultado mostrou-se similar aos valores reportados na literatura para reatores UASB tratando esgoto sanitário (VON SPERLING, 2005).

O desempenho do sistema (reator UASB/Fenton) em termos de concentração de DQO afluente e efluente, para o período estudado, está apresentado na Figura 5.

Os dados da eficiência na remoção de DQO sistema (reator UASB/Fenton) durante o período de operação estão apresentados na Figura 6.

A remoção média de DQO para o tratamento conjugado utilizado na presente pesquisa foi de 95,6%.

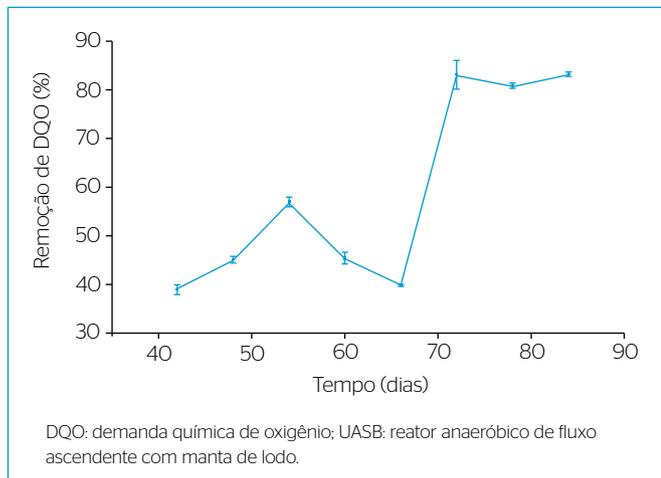


Figura 4 - Eficiência de remoção de demanda química de oxigênio no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

Yetilmeszooy e Sakar (2008), em seus estudos, obtiveram remoção média de 95% de DQO no tratamento de água residuária proveniente da produção de aves. Foram obtidos resultados pontuais de até 99,3% na remoção desse parâmetro.

Os resultados apresentados mostraram a eficácia do processo UASB seguido por oxidação via reação Fenton como alternativa de pós-tratamento.

Influência do pH no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo e no sistema reator Fenton

De acordo com a Figura 7, a faixa de pH no reator UASB para o afluente e o efluente foi de 6,5 a 7,5 e de 7,4 a 8,0, respectivamente. Com esses valores, foi observado consumo de ácidos voláteis e diminuição da acidez nas reações bioquímicas dentro do reator UASB.

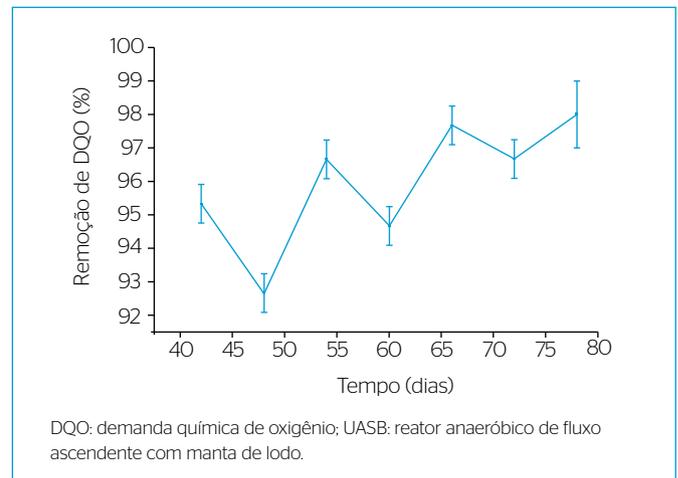


Figura 6 - Eficiência de remoção de demanda química de oxigênio no sistema (reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo - Fenton).

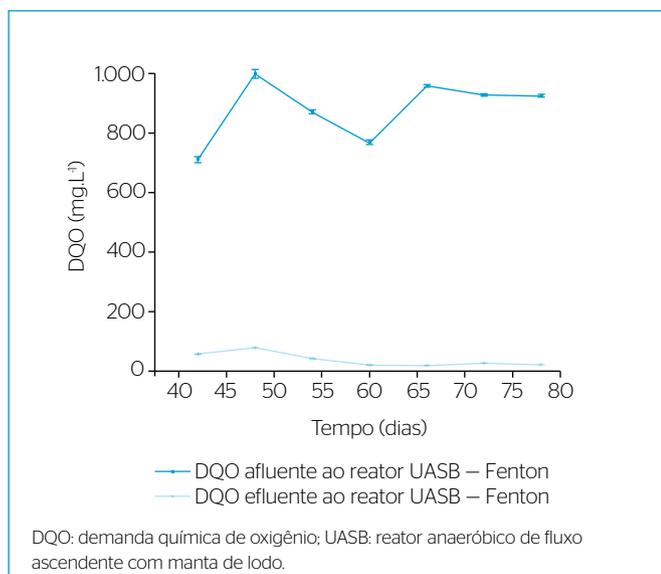


Figura 5 - Variação temporal dos valores de demanda química de oxigênio afluente e efluente no sistema (reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo - Fenton).

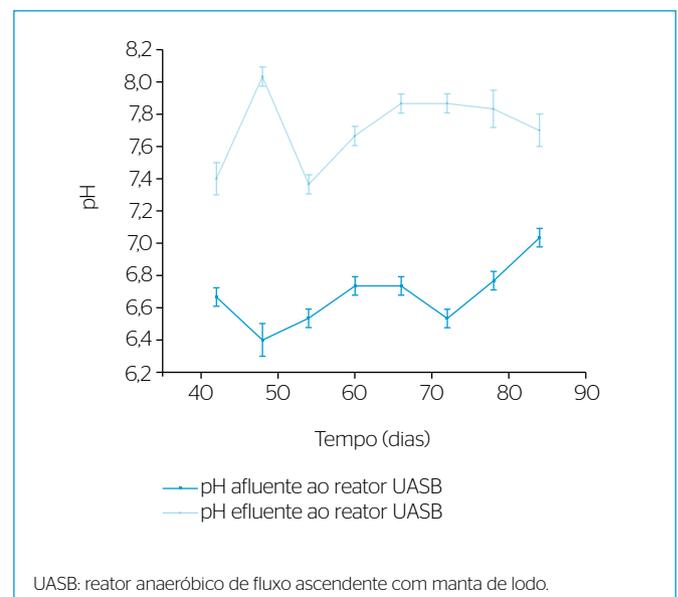


Figura 7 - Variação do pH afluente e efluente ao reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

Os valores demonstram que os ácidos graxos estavam na sua grande maioria de forma ionizada, não tóxicos às bactérias metanogênicas (PEREIRA & FREIRE, 2005).

Chernicharo (1997) ressaltou o pH como parâmetro importante no controle e na operação adequada de reatores anaeróbios. Além disso, o autor sugere que o controle desse parâmetro é importante para o crescimento dos microrganismos dentro do reator.

O efluente ao processo Fenton foi acidificado a pH 3,0 antes da realização dos experimentos. A influência do pH na eficiência de degradação de compostos orgânicos foi avaliada em diversos trabalhos, sendo observado que uma estreita faixa de pH, entre 2,5 e 3,0, proporciona maior eficiência de degradação. Essa faixa limitada é decorrência da precipitação de Fe^{3+} em valores de pH acima de 3, diminuindo drasticamente sua interação com H_2O_2 e, conseqüentemente, a produção de HO^\bullet . Abaixo de pH 2,5, a velocidade de degradação também diminui apesar das espécies de ferro permanecerem solúveis, pois em concentrações elevadas de H^+ esse íon reage com os radicais HO^\bullet e compete com os íons metálicos (NOGUEIRA et al., 2007).

Ao final do processo, os íons de ferro presentes foram precipitados a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ por elevação do pH com NaOH (BORGES, 2011).

Eficiência de remoção de cor no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo e no sistema -reator/Fenton

A solução aquosa do corante verde malaquita na concentração de 100 mg.L^{-1} , submetida a varredura de 200 a 800 nm, em espectrofotômetro UV-visível modelo Shimadzu, apresentou comprimento de onda máximo em 617 nm. Esse comprimento de onda foi utilizado para as determinações de cor nas amostras.

O desempenho do reator UASB em termos remoção de cor está apresentado na Figura 8.

O reator UASB apresentou 96,1% de remoção média de cor. A literatura retrata sucesso no uso de reatores anaeróbios do tipo UASB na remoção de cor de efluentes têxteis. Em seus trabalhos tratando efluentes têxteis sintéticos, Wouter et al. (1998), O'Neill et al. (2000), Pearce, Lloyd e Guthrie (2003) e Allegre et al. (2006) obtiveram remoções de cor que variaram de 92,0 a 97,0%, o que corrobora a eficiência desse tipo de reator na remoção desse parâmetro.

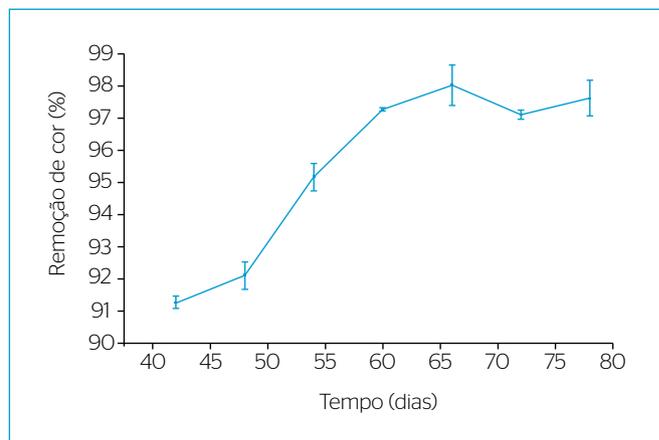


Figura 8 - Eficiência de remoção de cor no reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo.

Somasiri et al. (2008), avaliando a remoção de cor e DQO em águas residuárias têxteis industriais em reatores UASB, alcançaram mais de 92% de remoção de cor. Não ocorreram danos à atividade metanogênica durante o processo de tratamento anaeróbico, como na presente pesquisa.

A remoção de cor foi de 100% após o efluente ao reator UASB ter sido submetido ao processo Fenton. As concentrações de ferro e H_2O_2 remanescentes foram desprezíveis (em torno de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$), muito inferiores à máxima permitida para esse parâmetro ($15,0 \text{ mg.L}^{-1}$) citado na Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 (BRASIL, 2005), de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

CONCLUSÕES

A presente pesquisa mostrou que o reator UASB obteve boa remoção de DQO com eficiência média de 82,0%. Os resultados mostraram também que a remoção de DQO para o processo combinado (UASB-Fenton) foi de 95,6%. A cor obteve 96,1% de remoção apenas no reator UASB, tendo sido obtida remoção de 100,0% desse parâmetro após passagem pelo processo Fenton.

O sistema proposto, nas condições experimentais, demonstrou ser adequado para remoção de DQO e cor de água residuária sintética contendo o corante verde malaquita.

REFERÊNCIAS

ALLEGRE C.; MOULIN P.; MAISSEU M.; CHARBIT F. (2006) Treatment and reuse of reactive dyeing effluents. *Journal of Membrane Science*, n. 69, p. 15-34.

ALVES, I. (2013) *Caracterização de grânulos de reator UASB empregado no processamento de vinhaça*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21. ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF. 1082 p.
- ARAÚJO, A.M. (2008) *Tratamento anaeróbio do líquido da casca de coco verde utilizando reator UASB*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Fortaleza, Fortaleza.
- BORGES, T.A. (2011) *Degradação de fungicida tiofanato metílico pelo processo foto-fenton em reatores anular e solar*. Dissertação (Pós-graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- BRASIL. (2005) *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.
- BRASIL. (2011) *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 20 abr. 2016.
- CAMPOS, M.M.; MOCHIZUKI, E.T.; DAMASCENO, L.H.S.; BOTELHO, C.G. (2005) Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 4, p. 848-856.
- CARVALHO, Z.M. (2013) *Aproveitamento do resíduo sólido de mamona proveniente da cadeia produtiva do biodiesel como adsorvente alternativo*. Dissertação (Pós-graduação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CHERNICHARO, C.A.L. (1997) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. v. 5.
- CONCEICAO, V.M.; FREIRE, F.B.; CARVALHO, K.Q. (2013) Treatment of textile effluent containing indigo blue dye by a UASB reactor coupled with pottery clay adsorption. *Acta Scientiarum Technology*, v. 35, n. 1, p. 53-58.
- EL-GOHARY, F.A.; BADAWY, M.I.; EL-KHATEEB, M.A.; EL-KALLINY, A.S. (2009) Integrated treatment of olive mill wastewater (OMW) by the combination of Fenton's reaction and anaerobic treatment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 1536-1541.
- GALINDO, C.; JACQUES, P.; KALT, A. (2011) Photochemical and photocatalytic degradation of an indigoid dye: a case study of acid blue 74 (AB74). *Journal of Photochemistry and Photobiology Chemistry*. v. 141, p. 47-56.
- KUNZ, A.; ZAMORA, P.; MORAES, S.G.; DURAN, N. (2002) Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 78-82.
- LIRA, R.; DIAS, F.F.S.; CHIAVONE-FILHO, O.; CARVALHO, F.; PACHECO, J.G. (2013) Degradação de corante Reative Black 5 via processo foto-Fenton em reator PTC com modelagem e otimização utilizando RNA. *Scientia Plena*, v. 9, n. 10, p. 104201-1-104201-12.
- LUCAS, M.S. & PERES, J.A. (2006) Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation. *Dye and Pigments*, v. 71, p. 236-244.
- MARMITT, S.; PIROTTA, L.V.; STULP, S. (2010) *Aplicação de fotólise direta e UV/H2O2 a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios*. *Química Nova*, v. 33, n. 2, p. 384-388.
- MARTINS, J.E.M. (2012) *Avaliação hidrodinâmica de um reator UASB tratando esgotos sanitários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão*. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.
- MENDES, R.C.; DILARRI, G.; PELEGRINI, R.T. (2015) Aplicação da biomassa *Saccharomyces cerevisiae* como agente adsorvente do corante Direct Orange 2GL e os possíveis mecanismos de interações adsorbato/adsorvente. *Revista Matéria*, v. 20, n. 4, p. 898-908.
- MÓDENES, A.N.; ESPINOZAQUIÑONES, F.R.; BORBA, F.H.; MANENTI, D.R. (2012) Performance evaluation of an integrated photo-Fenton - Electrocoagulation process applied to pollutant removal from tannery effluent in batch system. *Chemical Engineering Journal*. v. 197, p. 1-9.
- MOMENTI, T.J. (2006) *Processo anaeróbio conjugado com processos oxidativos avançados (POA) no tratamento dos efluentes do processo industrial de branqueamento da polpa celulósica*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- NAPOLEÃO, C.D.; ZAIDAN, C.M.E.L.; SALGADO, J.B.A.; SALES, L.V.R.; SILVA, L.V. (2015) Degradação do Contaminante Emergente Paracetamol Empregando Processos Oxidativos Avançados. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 725-734.
- NEYENS, E.; BAEYENS, J. (2003) A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials*. v. B98, p. 33-50.
- NOGUEIRA, R.F.P.; TROVÓ, A.G.; DA SILVA, M.R.A.; VILLA, R.; OLIVEIRA, M. (2007) Fundamentos e Aplicações Ambientais dos Processos Fenton e Foto-Fenton. *Química Nova*, v. 30, n. 2, p. 400-408.
- O'NEILL, C.; HAWKES, F.R.; HAWKES, D.L.; ESTEVES, S.; WILCOX, S.J. (2000). Anaerobic-aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dyes. *Water Research*, n. 34, p. 2355-2361.
- PEARCE, J.R.; LLOYD, J.T.; GUTHRIE, J.T. (2003) The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: a review. *Dyes Pigment*, n. 58, p. 179-196.

- PEREIRA, W. & FREIRE, R. S. (2005) Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. *Química Nova*, n. 28, n. 1, p. 130-136.
- PRATRES, R.A. (2005) *Verde malaquita como fotossensibilizador em terapia fotodinâmica: Ação bactericida sobre actinobacillus actinomycescommissus* - um estudo in-vitro. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RIBEIRO, F.W.P.; OLIVEIRA, S.N.; LIMA-NETO, P.; CORREIA, A.N.; MASCARO L.H.; MATOS, R.; SOUZA, E.C.P.; LANZA, M.R.V. (2013) Eletrodegradação de ponceau 2R utilizando anodos dimensionalmente estáveis e Ti/Pt. *Química Nova*, v. 36, n. 1, p. 85-90.
- RIGO, E. (2004) *Aplicação de lipases como auxiliares no pré-tratamento de efluentes de frigorífico de suínos e bovinos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim.
- ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NEGAN, P. (2011) Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 247-255.
- SILVA, E.C. (2015) *Remoção de azo-corantes de efluente aquoso modelo por adsorção em carvão ativado*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- SILVA, R.A.; PETTER, C.O.; SCHNEIDER, I.A.H. (2007) Avaliação da perda da coloração artificial de ágatas. *Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 3, p. 477-482.
- SOMASIRI, W.; LI, X.; RUAN, W.; JIAN, C. (2008) Evaluation of the efficacy of upflow anaerobic sludge blanket reactor in removal of color and reduction of COD in real textile wastewater. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 9, p. 3692- 3699.
- VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. (1994) *Tratamento anaeróbio de esgoto*. Um manual para regiões de clima quente. ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba.
- VON SPERLING, M. (1996) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. v. 1. 243 p.
- VON SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Volume 1: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.
- YETILMEZSOY, K. & SAKAR, S. (2008) Development of empirical models for performance evaluation of UASB reactors treating poultry manure wastewater under different operational conditions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 153, n. 1-2, p. 532-543.

Errata

No artigo “Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil”, com número de DOI: 10.1590/S1413-41522016148154, publicado no periódico *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016005008115&lng=pt&nrm=iso>. Epub 21-Nov-2016.

Onde se lê:

Antônia Tatiana Pinheiro dos Santos

Leia-se:

Antônia Tatiana Pinheiro do Nascimento