

II-151 - PROCESSO FOTO-FENTON MODIFICADO: EFEITOS DAS VARIÁVEIS NA DEGRADAÇÃO DE CORANTES REATIVOS E SUA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

Naiara Mottim Justino^{(1)*}

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestranda da Pós-Graduação de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Maria Ángeles Lobo Recio⁽¹⁾

Química pela Universidad Complutense de Madrid (UCM) da Espanha. Mestre e Doutora em Química pela UCM. Professora Adjunta da UFSC.

Flavio Rubens Lapolli⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia de Produção pela UFSC. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Titular da UFSC.

André Aguiar Battistelli⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestrando da Pós-Graduação de Engenharia Ambiental da UFSC.

Maria Eliza Nagel Hassemer⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFSC. Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC. Professora Adjunta da UFSC.

Endereço^(1, *): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Trindade, Florianópolis – SC- CEP: 88040-900- Brasil - Tel: (48) 3721-7736 - e-mail: naiara_mottim@hotmail.com

RESUMO

O processo Fenton modificado é um processo oxidativo avançado que se difere do Fenton convencional pelo uso de complexantes de ferro em fase homogênea, o qual permite o emprego de pH mais próximo à neutralidade. Destaca-se a aplicação desses sistemas no tratamento de efluentes têxteis em função da rápida descoloração e da capacidade de mineralização de corantes, os quais são dificilmente tratados por processos biológicos. O processo pode ser melhorado pela incorporação de radiação (artificial ou solar), designado foto-Fenton modificado. O conhecimento dos efeitos da temperatura e da presença de ânions nesses sistemas é de suma importância para controle e avaliação do processo. Neste contexto, o estudo foi conduzido em duas etapas, as quais contemplam: (i) a avaliação do efeito da temperatura e dos sais no processo foto-Fenton solar modificado com ferrioxalato na degradação de corantes reativos em escala de bancada; (ii) avaliação do processo foto-Fenton solar modificado em escala piloto no tratamento de dois tipos de efluentes têxteis, bruto (E1) e pós-tratamento biológico de lodos ativados (E2). Os resultados mostraram que a temperatura influencia diretamente na eficiência de descoloração do processo e que os ânions HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- e Cl^- exercem influência negativa. Devido a complexidade do efluente têxtil bruto (E1), os resultados referentes à descoloração e a mineralização do efluente não foram satisfatórios. Já o E2 apresentou melhores resultados. Assim, ambos demonstraram a necessidade de um tratamento complementar, anterior ou posterior ao foto-Fenton modificado.

PALAVRAS-CHAVE: Concentrador parabólico composto, corantes, efluente têxtil, foto-Fenton solar modificado, ferrioxalato.

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas fontes de poluição dos recursos hídricos, as indústrias têxteis merecem destaque devido ao elevado consumo de água e ao baixo aproveitamento dos insumos, gerando por consequência grandes volumes de efluente com elevada carga orgânica. Os despejos também são caracterizados pela forte coloração devido a presença de corantes que não são fixados as fibras nas etapas de tingimento e lavagem.

Os corantes são considerados altamente poluentes e podem causar alterações no ecossistema aquático como a diminuição da transparência da água e da penetração da radiação solar e, consequentemente, da atividade fotossintética e da solubilidade dos gases. Ainda, a biotransformação dos corantes azo pode ser responsável pela formação de compostos com potencialidade carcinogênica (CLAUSEN; TAKASHIMA, 2007).

Os efluentes têxteis normalmente são tratados por processo biológico de lodos ativados seguidos de processos físico-químicos de coagulação/floculação. Grande parte dos corantes apresentam estruturas químicas altamente estáveis e com características recalcitrantes, dificultando o tratamento por processos biológicos. Assim, são necessárias grandes quantidades de produtos químicos na etapa de coagulação, produzindo grande quantidade de lodo, o qual não pode ser aproveitado para fins agrícolas devido ao elevado teor de corantes adsorvidos.

Em função destas limitações, os Processos Oxidativos Avançados (POA), baseados na geração de radicais hidroxila, vêm atraindo grande interesse pois são processos destrutivos e não seletivos que degradam inúmeros compostos. Dentre os POA, o processo empregando reagente Fenton se destaca pela simplicidade operacional, elevada eficiência na descoloração e por elevar a biodegradabilidade do efluente. Este é caracterizado pela reação entre o catalisador íon ferroso e o oxidante peróxido de hidrogênio na formação de radicais hidroxila (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

Uma desvantagem apresentada por tal processo, consiste na necessidade de condições ácidas ($\text{pH} < 3$), de maneira a evitar a precipitação de hidróxido de ferro III. A fim de permitir valores de pH próximos a neutralidade, diferentes alternativas estão sendo testadas, dentre elas destacam-se o Fenton modificado, o qual caracteriza-se pelo uso de complexantes de ferro em fase homogênea. Diferentemente dos processos que utilizam matriz sólida para evitar a precipitação do catalisador no meio líquido, os complexantes mantêm o ferro na forma solúvel durante a reação, característica que auxilia o contato com o oxidante (NOGUEIRA, 2007).

O processo pode ser melhorado pela incorporação de radiação (ultravioleta ou solar), o que caracteriza os processos foto-Fenton modificados (FFM) (LANGE *et al.*, 2006; HILDEBRAND, 2010; DURIGAN; VAZ; ZAMORA, 2012). Um complexo bastante utilizado nestes sistemas, principalmente quando se utiliza luz solar como fonte de radiação, é o complexo ferrioxalato, pois estende a banda de absorção para a faixa do visível (BABUPONNUSAMI; MUTHUKUMAR, 2014).

O conhecimento dos efeitos da temperatura e da radiação nesses sistemas é de suma importância para controle e avaliação do processo. Outra variável que deve ser levada em consideração é a presença de ânions como cloreto, nitrato, sulfato, carbonato, bicarbonato e fosfato, os quais se apresentam em grande quantidade em efluentes têxteis e podem afetar negativamente o processo (RIGA, 2007).

Assim, o objetivo do trabalho é determinar o efeito das variáveis temperatura e presença de ânions no processo foto-Fenton modificado com ferrioxalato na degradação de corantes reativos e avaliar em escala piloto utilizando radiação solar o tratamento de dois tipos de efluentes têxteis, bruto e pós-tratamento biológico de lodos ativados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Reuso de Águas (LARA) e no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) pertencente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O reator piloto foi operado no terraço do bloco de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. O trabalho foi dividido em duas etapas as quais são descritas a seguir.

PRIMEIRA ETAPA: ENSAIOS EM ESCALA DE BANCADA

A primeira etapa consistiu na avaliação do efeito das variáveis temperatura e presença de ânions no processo FFM em escala de bancada. Para o controle das condições empregadas nesses ensaios, uma solução corante com concentração conhecida foi utilizada em um reator de lâmpada UV com emissão constante de radiação de $0,2 \text{ mW/cm}^2$. A solução corante era composta de três corantes reativos Levafix Brilliant Red E4BA ($0,072 \text{ g.L}^{-1}$), Remazol Preto B 133% ($0,0345 \text{ g.L}^{-1}$) e Levafix Yellow E-3RL ($0,0435 \text{ g.L}^{-1}$) da DyStar.

A lâmpada do reator UV era envolta por um tubo de quartzo e mergulhada no reator permitindo a irradiação do seu interior ocorresse de forma uniforme. O volume de amostra no reator foi de 300 mL e para que o líquido ficasse em constante agitação, o reator foi instalado sobre um agitador magnético. O reator apresentava parede dupla de vidro Pyrex para recirculação de água, de forma a manter condições isotérmicas de reação. Este sistema de refrigeração consistia em um banho termostático com bomba de recirculação, modelo DI-921M da DIST. Para que não houvesse interferência de luz externa e para proteção do operador contra emissão da radiação UV pela lâmpada, o reator foi envolto por papel alumínio (Figura 1).

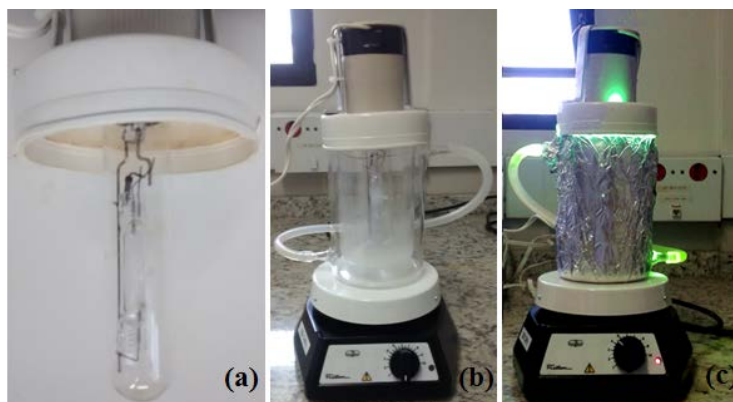


Figura 1: Reator com lâmpada UV. Destacando: lâmpada envolta por tubo de quartzo (a); frasco com parede dupla de vidro Pyrex com lâmpada inserida e agitação magnética (b); reator revestido de alumínio com a lâmpada ligada (c).

O complexo ferrioxalato foi preparado misturando cloreto férrico e oxalato de potássio com razão molar do $\text{Fe}^{+3}:\text{C}_2\text{O}_4^{-2}$ de 1:3. Para os ensaios em escala de bancada foi adotado: concentração de peróxido de 300 mg.L^{-1} , concentração de ferro de 60 mg.L^{-1} e pH igual a 5.

Os ensaios realizados para determinar o efeito da temperatura no processo foto-Fenton modificado (FFM) consistiram na variação da temperatura entre 10 e 50°C e análise da eficiência da remoção da cor após 5 minutos de reação. A temperatura foi variada pelo sistema de recirculação de água do banho peristáltico. Os ensaios tiveram duração de 5 minutos.

Para obtenção dos principais ânions que influenciam no processo (cloreto, bicarbonato, carbonato, sulfato, nitrato e fosfato) foram utilizados seis tipos de sais: NaCl, NaHCO_3 , Na_2CO_3 , K_2SO_4 , NaNO_3 e NaH_2PO_4 . Os sais foram testados individualmente nas concentrações de 0, 0,01, 0,05, 0,1 e 0,5 M por 5 minutos, tendo como resposta a descoloração da solução. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

SEGUNDA ETAPA: ENSAIOS EM ESCALA PILOTO

A segunda etapa consistiu na análise do processo em escala piloto sob radiação solar. Para os ensaios foram utilizadas amostras de efluentes têxteis de uma empresa de tinturaria coletadas em dois pontos da estação de tratamento de efluentes. O primeiro ponto de amostragem foi no tanque de equalização do efluente bruto (E1) e o segundo ponto foi após o processo biológico de lodos ativados (E2).

A unidade experimental em escala piloto, um Concentrador Parabólico Composto (CPC), consistiu em um sistema com seis tubos de borosilicato de 1,25 metros de comprimento, 50 mm de diâmetro externo e 48,2 mm de diâmetro interno, suportados por uma estrutura de madeira. O reator apresentava dois sistemas em paralelo, cada qual com três tubos ligados em série, de forma a trabalhar os dois tipos de efluentes simultaneamente (E1 e E2). Os efluentes foram recirculados a uma vazão de 10 L.min^{-1} por meio de duas bombas acopladas aos tanques reservatórios. Para aumentar a intensidade de radiação, os tubos foram colocados sob refletores de alumínio, curvados em forma de involuta (Figura 2), de maneira a aproveitar a radiação solar direta e a difusa. O reator foi direcionado para o norte com angulação de 30°, valor próximo à latitude da cidade de Florianópolis (27°), de modo a obter máxima irradiação solar.

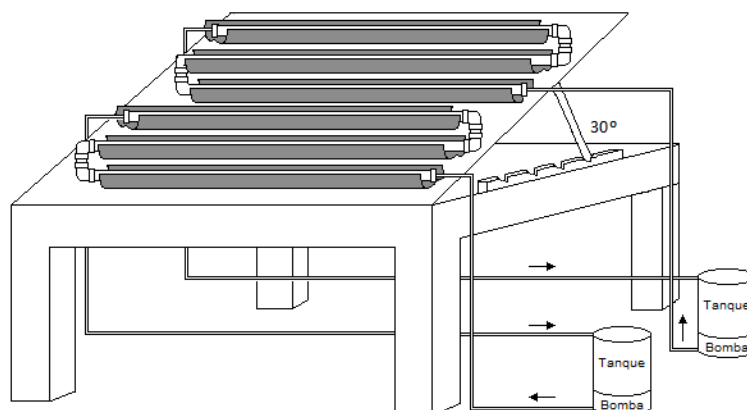


Figura 1. Representação esquemática do reator CPC utilizado na pesquisa

A avaliação da eficiência do tratamento foi realizada a partir da análise dos parâmetros cor e carbono orgânico total (COT) relacionando as intensidades de radiação solar e as temperaturas das amostras ao longo dos ensaios. A leitura da cor foi realizada nos tempos de 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 minutos em espectrofotômetro HACH modelo DR/5000 no comprimento de onda de maior absorção do efluente na faixa do visível (400 a 800 nm). Já o COT foi determinado pelo analisador de carbono orgânico total TOC-L SHIMADZU. Deve-se destacar que as amostras foram filtradas antes da análise em membrana 0,45 μm , sendo o valor resultante referente à fração dissolvida de carbono orgânico total.

Foram realizados três ensaios durante o mês de fevereiro de 2015 entre às 12 e 15 horas. O tempo de reação foi de 90 minutos, onde dosagens decrescentes de peróxido de hidrogênio de 300, 250, 200, 150, 100, 50 mg.L^{-1} foram adicionadas a cada 15 minutos, tendo uma concentração total de 1050 mg.L^{-1} de peróxido. O complexo ferrioxalato foi administrado em dosagem única com concentração de 60 mg.L^{-1} de ferro e com relação molar entre $\text{Fe}^{+3}:\text{C}_2\text{O}_4^{-2}$ de 1:3. O pH foi ajustado para 5 a cada 15 minutos com ácido sulfúrico (50%).

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

EFEITO DA TEMPERATURA

O efeito da temperatura foi testado em uma série de experimentos realizados no reator UV onde cinco temperaturas diferentes (10, 20, 30, 40 e 50°C) foram analisadas. As porcentagens de descoloração da solução corante após 5 minutos do processo foto-Fenton modificado estão apresentadas na Figura 3.

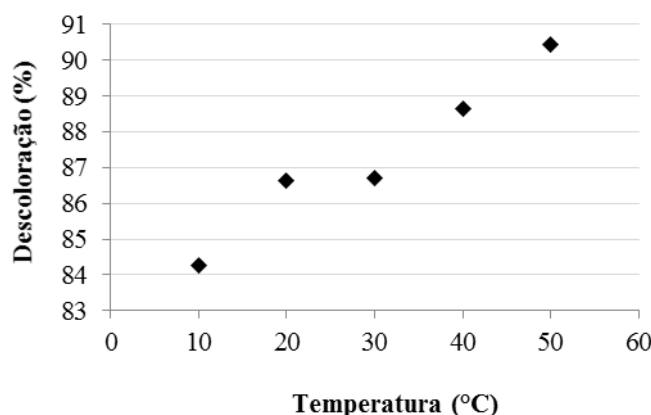


Figura 3. Porcentagem de descoloração da solução corante em diferentes temperaturas.

Podemos observar que temperaturas mais elevadas resultam em maior porcentagem de descoloração, entretanto as variações são pequenas, cerca de 6,19 pontos percentuais entre 10 e 50°C. Diversos autores como Pérez *et al.* (2002) e Lee *et al.* (2003) relatam que as taxas de reação com reagente de Fenton aumentam com o aumento da temperatura. Entretanto, Alves (2004) afirma que quando a temperatura fica acima de 40-50°C, a

produção de radicais diminui devido a acelerada decomposição de H_2O_2 em oxigênio e água. É importante frisar que efluentes têxteis geralmente possuem temperaturas acima de 40°C (CPRH, 2001).

EFEITO DOS SAIS

A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam as porcentagens de descoloração da solução corante na presença dos sais NaCl, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , K_2SO_4 , $NaNO_3$ e NaH_2PO_4 nas concentrações de 0,01, 0,05, 0,1 e 0,5 M após 5 minutos do processo foto-Fenton modificado.

Tabela 1. Porcentagem de descoloração da solução corante na presença dos sais em diferentes concentrações após 5 minutos do processo FFM e porcentagem de redução da eficiência de descoloração.

Concentração molar (M)	Controle (%)	NaCl (%)	$NaHCO_3$ (%)	Na_2CO_3 (%)	K_2SO_4 (%)	$NaNO_3$ (%)	NaH_2PO_4 (%)
0,01	80,14	80,00 (-0,14)	43,43 (-36,71)	53,13 (-27,01)	79,35 (-0,79)	78,42 (-1,72)	81,07 (0,93)
0,05	80,14	79,12 (-1,02)	35,80 (-44,34)	52,46 (-27,68)	77,13 (-3,01)	77,88 (-2,26)	79,97 (-0,17)
0,1	80,14	78,37 (-1,77)	34,58 (-45,56)	50,68 (-29,46)	75,07 (-5,07)	76,34 (-3,80)	70,77 (-9,37)
0,5	80,14	72,03 (-8,11)	32,20 (-47,94)	44,69 (-35,45)	71,07 (-9,07)	50,99 (-29,15)	65,19 (-14,95)

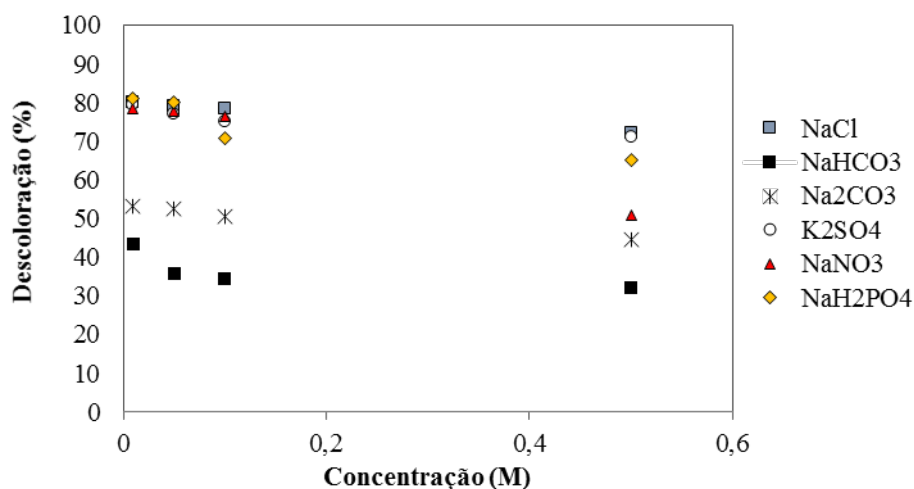
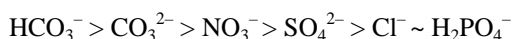


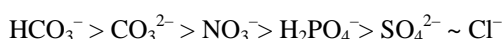
Figura 4. Porcentagem de descoloração da solução corante na presença dos sais em diferentes concentrações após 5 minutos do processo FFM.

Podemos verificar que os sais que apresentaram inibições mais significativas do processo foram o $NaHCO_3$ e o Na_2CO_3 , que, mesmo na concentração mais baixas, obtiveram percentuais de inibição de 36,71% e 27,01%, respectivamente. Os maiores efeitos negativos na descoloração foram na concentração de 0,5 M para todos os sais, com inibições variando entre 8,11 e 47,94%.

Ao compararmos a ordem decrescente de inibição dos diferentes sais, podemos observar que a tendência é um pouco diferente entre concentrações mais baixas (0,01 M) e mais altas (0,5 M). Especificamente referente a concentração de 0,01 M, a ordem de inibição foi a seguinte:



Enquanto que a uma concentração maior de 0,5 M, possui ordem de inibição de:



Diversas justificativas para o efeito inibidor dos ânions já foram relatadas, sendo as principais: (i) reações de complexação com os íons ferrosos e férricos; (ii) reações de precipitação que levam ao decaimento da concentração do ferro dissolvido; (iii) diminuição da solubilidade dos corantes na presença de ânions; (iv) formação de radicais e íons-íons com menor poder de oxidação (Cl^\bullet , Cl_2^\bullet e SO_4^\bullet) e sequestro do radical hidroxila (equação 1); (v) reação de oxidação envolvendo radicais inorgânicos (equação 2) (LAAT *et al.*, 2004; DONG *et al.*, 2007; RIGA *et al.*, 2007; DEVI *et al.*, 2011).



Onde: A^{n-} são os ânions inorgânicos e $\text{A}^{((n-1)-)}$ são radicais inorgânicos.

Particularmente, o efeito da adição de NO_3^- na descoloração foi a que apresentou maior discrepância entre a menor (0,01 M) e maior (0,5 M) concentração com 50,98% para 0,01 M e 78,42% para 0,5 M. Esta diferença entre as concentrações corresponde ao efeito negativo na degradação que ocorre pelo aumento da concentração de NO_3^- na solução. De acordo com Riga *et al.* (2007), assim como os ânions HCO_3^- e CO_3^{2-} , o NO_3^- não forma complexos com íons de ferro, sendo o sequestro de radicais hidroxilas o principal mecanismo de inibição.

Devi *et al.* (2011) analisaram os efeitos dos sais nitrato, carbonato, bicarbonato, cloreto e sulfato no processo foto-Fenton convencional na descoloração de corantes. Os autores relataram que os sais sulfato e cloreto apresentaram maior inibição. Segundo Riga *et al.* (2007), os ânions SO_4^{2-} , H_2PO_4^- e Cl^- , além de inibirem o processo pelo sequestro de radicais hidroxilas podem formar complexos com Fe^{+3} e Fe^{+2} . Assim, em relação ao presente trabalho, os baixos índices de inibição apresentados por estes três ânions podem ser justificados, em parte, pelos íons de ferro já estarem complexados com oxalato no início do processo, característica esta do foto-Fenton modificado.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Na segunda etapa do trabalho, a descoloração e a mineralização dos efluentes têxteis bruto (E1) e pós-tratamento de lodos ativados (E2) foram analisadas em escala piloto, no reator CPC, relacionando a temperatura e a intensidade de radiação solar nos três ensaios realizados.

TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

A temperatura e a radiação solar são variáveis importantes no processo foto-Fenton solar modificado para interpretação dos resultados de degradação do poluente. Na tabela 2 são apresentadas as temperaturas máximas de E1 e E2 nos ensaios no CPC e as intensidades médias de radiação solar no 1º, 2º e 3º ensaio.

Tabela 2. Temperaturas máximas de E1 e E2 nos ensaios em escala piloto e intensidades médias de radiação solar no 1º, 2º e 3º ensaio.

	1º ensaio		2º ensaio		3º ensaio	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Temperatura máxima (°C)	45	42	41	40	46	43
Intensidade média de radiação solar (W/m²)	890		782		935	

Podemos verificar que as temperaturas dos efluentes estão diretamente relacionadas com a intensidade de radiação solar, quanto maior a intensidade de radiação, mais elevada a temperatura. As características do efluente também podem influenciar na temperatura, por exemplo, o E1 possui coloração mais escura que E2, fazendo com que seja capaz de absorver mais energia resultando em temperaturas um pouco mais elevadas que as de E2.

COR

A descoloração foi analisada nos tempos de 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 minutos do processo FFM. Na Figura 5 estão apresentadas as porcentagens de descoloração dos efluentes bruto (E1) e pós-tratamento biológico (E2) nos 1º, 2º e 3º ensaios, com intensidade de radiação solar de 890, 782 e 935 W/m², respectivamente.

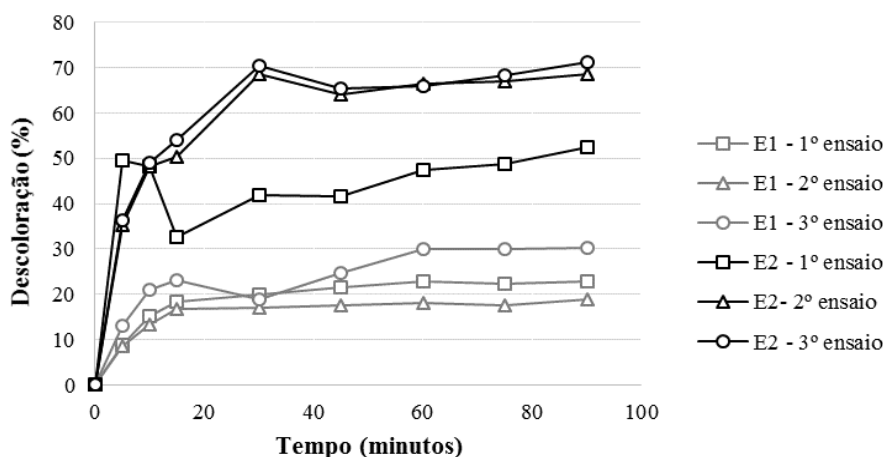


Figura 5. Porcentagens de descoloração dos efluentes bruto (E1) e pós-tratamento biológico (E2) nos 1º, 2º e 3º ensaios, com intensidade de radiação solar de 890, 782 e 935 W/m², respectivamente.

Podemos observar que, exceto para o 1º ensaio com E1, houve maior descoloração nos ensaios com intensidades de radiações solar mais elevadas. Os melhores resultados de descolorações tanto de E1 quanto de E2 foi no 3º ensaio com 30,37% e 71,34%. Já os piores resultados na descoloração, não foram do mesmo ensaio para os dois efluentes. Para E1 a menor descoloração foi no segundo ensaio com 18,9% e para E2 foi no 1º ensaio com 52,35%. Verifica-se também que boa parte da descoloração ocorre nos primeiros 15 minutos do processo, principalmente nos 1º e 2º ensaios do E1, onde após esse período manteve os valores praticamente constantes.

CARBONO ORGÂNICO TOTAL

A mineralização dos efluentes foi analisada por meio do carbono orgânico total (COT). Na Figura 6 estão apresentadas as porcentagens de remoção de COT dos efluentes bruto (E1) e pós-tratamento biológico (E2) nos 1º, 2º e 3º ensaios.

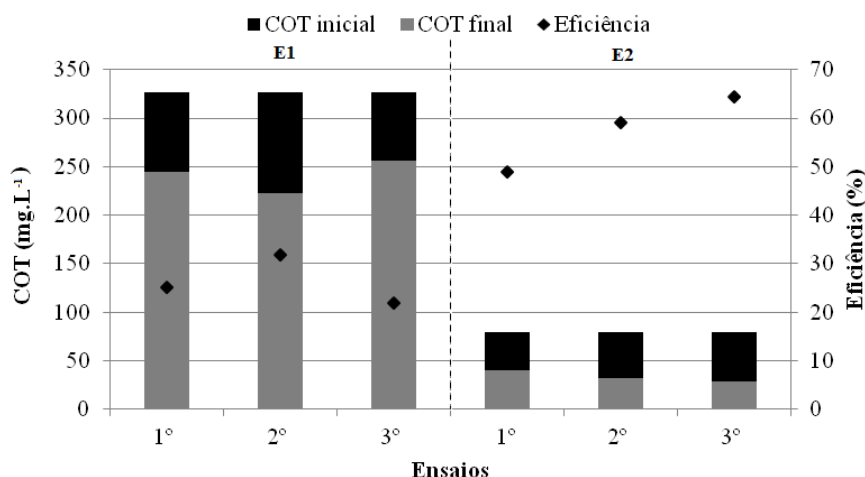


Figura 6. Porcentagens de remoção de carbono orgânico total (COT) dos efluentes bruto (E1) e pós-tratamento biológico (E2) nos 1º, 2º e 3º ensaios com intensidade de radiação solar de 890, 782 e 935 W/m², respectivamente.

Diferentemente do parâmetro da cor, não houve relação entre intensidade de radiação e mineralização dos efluentes. A remoção máxima foi de 31,8% no 2º ensaio para E1 e 64,38% no 3º ensaio para E2. Já os valores mínimos foram de 21,8% no 3º ensaio para E1 e 48,9% no 1º ensaio para E2.

Apesar do E2 apresentar porcentagens de mineralização mais elevadas, nota-se que o E1 obteve remoções maiores das concentrações de carbono orgânico. Isto ocorreu porque além dos efluentes apresentarem concentrações iniciais de COT diferentes, o E2 é efluente resultante do processo biológico de lodos ativados, onde boa parte da matéria orgânica biodegradável foi mineralizada, resultando em um efluente com grande parcela de compostos de difícil degradação.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, conclui-se que:

A temperatura influencia diretamente na eficiência de descoloração do processo FFM, porém a diferença não se mostrou muito significativa.

Todos os ânions testados (HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- e Cl^-) influenciaram negativamente o processo, sendo o HCO_3^- o que mais prejudicou a degradação dos corantes. Em função do mecanismo de inibição dos ânions SO_4^{2-} , H_2PO_4^- e Cl^- , a prévia complexação do ferro com oxalato amenizou o efeito inibitório destes sais.

O uso da radiação solar mostrou-se satisfatório para aplicação do processo foto-Fenton modificado. A intensidade de radiação esteve diretamente relacionada com a descoloração, mas não com a mineralização dos efluentes.

Devido a complexidade do efluente têxtil bruto (E1), o processo não alcançou resultados satisfatórios referente a descoloração e a mineralização desse efluente, com percentuais de remoção da cor e de COT próximo aos 30%. Já o E2 apresentou melhores resultados, com descolorações e remoções de COT próximas a 70%. Assim, ambos efluentes demonstraram a necessidade de um tratamento complementar, anterior ou posterior ao foto-Fenton modificado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, J.F. Aplicação do Reagente de Fenton no tratamento de líquidos lixiviados de Aterros Sanitários. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
2. BABUPONNUSAMI, A.; MUTHUKUMAR, K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v.2, p.557-572, 2014.
3. CLAUSEN, D.N.; TAKASHIMA, K.; Efeitos dos parâmetros operacionais na fotodegradação do azo corante direct red 23 na interface dióxido de titânio/água. *Química Nova*, São Paulo, v.30, n. 8, p. 1896-1899, 2007.
4. CPRH – COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE. Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil. Recife: CPRH/GTZ. 2001. 125 p.
5. DEVI, L. G.; RAJU, K. S. A.; KUMAR, S. G.; RAJASHEKHAR, K. E. Photo-degradation of di azo dye Bismarck Brown by advanced photo-Fenton process: Influence of inorganic anions and evaluation of recycling efficiency of iron powder. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v.42, p.341–349, 2011.
6. DONG, Y.; CHEN, J.; LI, C.; ZHU, H. Decolorisation of Three Azo Dyes in Water by Photocatalysis of Fe(III)–Oxalate Complexes/H₂O₂ in the presence of Inorganic Salts. *Dyes and Pigments*, v.73, p.261-268, 2007.
7. DURIGAN, M.A.B.; VAZ, S.R.; ZAMORA, P.P; Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e foto-Fenton. *Química Nova*, São Paulo, v.35, n. 7, p. 1381-1387, 2012.
8. LAAT, J.; LE, G. T.; LEGUBE, B. A comparative study of the effects of chloride, sulfate and nitrate ions on the rates of decomposition of H₂O₂ and organic compounds by Fe(II)/H₂O₂ and Fe(III)/ H₂O₂. *Chemosphere*, v. 55, p. 715–723, 2004.

9. LANGE, L. C.; ALVES, J.F.; AMARAL, M.C.S.; JUNIOR, W.R.M. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, vol.11, n.2, p. 175-183, 2006.
10. LEE, Y.; LEE, C.; YOON, J. High temperature dependence of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid degradation by Fe 3+/H₂O₂ system. Chemosphere, v. 51, n. 9, p. 963-971, 2003.
11. NOGUEIRA, R. F. P.; TROVO, M.R.A.S.; VILLA, R.D.; OLIVEIRA, M.C. Fundamentos e Aplicacoes ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. Química Nova, Sao Paulo, v.30, p. 400-408, 2007.
12. PÉREZ, M.; TORRADES, F.; DOMÉNECH, X.; PERAL, J. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. Water Reserach, v.36, p.2703-2710, 2002.
13. RIGA, A.; SOUTSAS, K.; NTAMPEGLIOTIS, K.; KARAYANNIS, V.; PAPAPOLYMEROU, G. Effect of system parameters and of inorganic salts on the decolorization and degradation of Procion H-exl dyes. Comparison of H₂O₂/UV, Fenton, UV/Fenton, TiO₂/UV and TiO₂/UV/H₂O₂ processes. Desalination, v.211, p. 72-86, 2007.
14. TEIXEIRA, B. A. P. C.; JARDIM, F. W. Caderno Temático. Processos oxidativos avançados: Conceitos teóricos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p.485, 2004.