

## II-249 - USO DE FOTORREATOR SOLAR EM PROCESSOS OXIDATIVOS HOMOGÊNEOS PARA DEGRADAÇÃO E DESCOLORAÇÃO DE EFLUENTE TÊXTIL SINTÉTICO

**Elisângela Maria Rodrigues Rocha<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Engenharia Civil/Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC), com estágio doutoramento na Universidade de Porto, Portugal. Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Membro efetivo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM/UFPB). Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental da UFPB.

**Giulia Beatriz Mota da Silva<sup>(2)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

**Samara Teixeira Pereira<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal da Bahia (IFBA). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Integrada de Patos (FIP). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

**Tallyson Tavares Cunha de Souza<sup>(4)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

**Wanessa Elaine da Silva Oliveira<sup>(5)</sup>**

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa - PB - Brasil, CEP: 58059-900 - e-mail: [elis\\_eng@yahoo.com.br](mailto:elis_eng@yahoo.com.br)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa - PB - Brasil, CEP: 58059-900 - e-mail: [giuliabeatrizms@gmail.com](mailto:giuliabeatrizms@gmail.com)

**Endereço<sup>(3)</sup>:** Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa - PB - Brasil, CEP: 58059-900 - e-mail: [samaraeng.amb@gmail.com](mailto:samaraeng.amb@gmail.com)

**Endereço<sup>(4)</sup>:** Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa - PB - Brasil, CEP: 58059-900 - e-mail: [tallysontavares@gmail.com](mailto:tallysontavares@gmail.com)

**Endereço<sup>(5)</sup>:** Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, s/n - Conj. Pres. Castelo Branco III, João Pessoa - PB - Brasil, CEP: 58059-900 - e-mail: [wanessaoliveira@outlook.com](mailto:wanessaoliveira@outlook.com)

### RESUMO

A alta presença de corantes nos efluentes têxteis, causada pela fixação incompleta na etapa de tingimento da fibra, agrava o nível de poluição das águas superficiais causada pelo setor; estes são compostos recalcitrantes, que podem causar sérios prejuízos aos ecossistemas locais. Entre os corantes de maior aplicabilidade destaca-se a classe dos reativos, na qual insere-se o Azul de Metileno (AZM). Devido à eficiência limitada dos tratamentos biológicos frente a esses tipos de compostos, os processos oxidativos avançados (POAs) estão sendo amplamente empregados como alternativa eficiente. Os experimentos apresentados tiveram como objetivo utilizar os POAs homogêneos fotocatalise solar homogênea,  $H_2O_2/UV_{\text{-Solar}}$ , e foto-Fenton solar, aplicados em um fotorreator solar do tipo Coletor Parabólico Composto (CPC), para degradar o AZM e avaliar a interferência de variáveis como pH, tempo de exposição, [AZM] e vazão do fotorreator na eficiência dos processos, buscando garantir as melhores condições operacionais. As variáveis respostas foram degradação, descoloração,  $H_2O_2$  residual e pH final. Para acompanhar a redução de concentração realizou-se uma curva de calibração do corante, seguindo a lei de Lambert-Beer a partir de uma solução-padrão de  $100\text{mgL}^{-1}$ . Para a análise da descoloração adotou-se a metodologia do número de cor. A degradação do AZM chegou a uma ordem de 100% para ambos os POAs estudados, em um tempo de 60 minutos para o  $H_2O_2/UV_{\text{-Solar}}$ , e de 10 minutos para o foto-Fenton, evidenciando o alto potencial desses processos oxidativos. Além disso, a radiação UV proveniente do sol é uma fonte limpa e abundante no Brasil, em especial na região Nordeste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processos oxidativos avançados, fotorreatores solares, CPC,  $H_2O_2/UV_{\text{-Solar}}$ , foto-Fenton solar.

## INTRODUÇÃO

Estima-se que cerca de 1,2 toneladas de corantes são lançadas no meio ambiente, sendo a principal fonte a incompleta fixação na etapa de tingimento das fibras têxteis (GUARATINI; ZANONI, 2000). Entre os corantes de maior aplicabilidade, destaca-se o Azul de Metileno (AZM), o qual possui elevada estabilidade química, caráter básico, e aplicação na produção de diversos materiais, tais como papel, poliésteres e nylons (FABRÍCIO, 2010).

A presença de compostos de difícil degradação (recalcitrantes), como os corantes, em corpos hídricos é responsável por causar danos ao ecossistema, pois seu aquecimento pode gerar substâncias tóxicas e sua forte coloração característica interfere nos processos de fotossíntese e oxigenação da água (MELO, 2016).

Nesse contexto, os processos oxidativos avançados (POAs) estão sendo amplamente difundidos atualmente para o tratamento desses tipos de substâncias, que costumam ser resistentes a processos biológicos e físicos. Os POAs são processos que se utilizam de tecnologias capazes de reduzir os compostos orgânicos presentes na água. Objetivo alcançado pela ação da radical hidroxila, altamente reativo, que melhora a biodegradabilidade desses compostos (FERNÁNDEZ-PEREIRA et al, 2012).

Alguns dos POAs mais aplicados são a fotocatalise homogênea utilizando peróxido de hidrogênio em presença de radiação ultravioleta,  $H_2O_2/UV$ , e o processo foto-Fenton. No primeiro processo, utiliza-se o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), que é um oxidante versátil e através de catálise, pode ser convertido em radical hidroxila (MATTOS, et al, 2002); e no segundo utiliza-se da catálise de íons  $Fe^{2+}$  para gerar radicais hidroxila através da decomposição do  $H_2O_2$ , em condições ácidas (FENTON, 1894).

De acordo com Malato et al (2009), a eficiência dos POAs pode ser aumentada através da utilização de fotorreatores solares, que, dependendo da superfície coletora utilizada, são classificados em: coletor concentrador (CC), coletor não concentrador (CNC) e coletor parabólico composto (CPC).

Os CC consistem em superfícies parabólicas refletoras que possuem mecanismo rotacional e concentram a radiação sobre um tubo transparente, localizado ao longo da linha de foco da parábola. Os CNC, por sua vez, possuem placas planas estáticas inclinadas sobre as quais o efluente escoar na forma de uma lamina fina. E os CPC são fixos com uma superfície refletora parabólica em torno de um tubo cilíndrico (SPAZIANO et al., 2015).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência dos POAs homogêneos foto-Fenton e o  $H_2O_2/UV$  quando aplicados em um fotorreator solar do tipo CPC, estudando a interferência da variável operacional vazão nas variáveis resposta: degradação e descoloração do corante AZM.

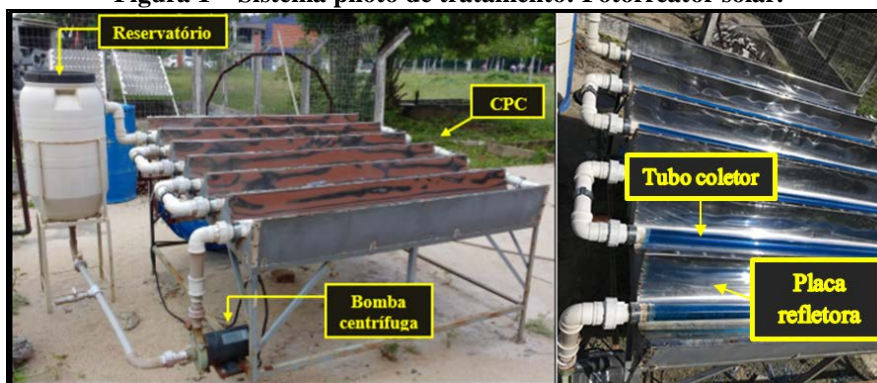
## MATERIAIS E MÉTODOS

### FOTORREATOR SOLAR

O fotorreator solar utilizado nesse trabalho (Figura 1) está instalado no Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba (CEAR – UFPB). É do tipo Coletor Parabólico Composto (CPC), capaz de capturar radiação solar direta e difusa, devido a geometria. Constituem uma excelente alternativa para processos de fotocatalise solar pois este tipo não acumula fótons de alta energia e ao mesmo tempo é iluminado de forma completa devido à reflexão, refração e difração de raios solares na calha de alumínio para toda a superfície do tubo (MALATO et al, 2009).

É formado por um reservatório com capacidade máxima de 70L, uma bomba centrífuga de recirculação (Shneider Motobomba, BC-98sc ¼ CV monofásico 60Hz – 220V), tubos conectores e válvulas de PVC, operando em regime de batelada. A superfície refletora é composta por placas de aço inoxidável, na forma de parábola e seis tubos de vidro borossilicato de 1500mm de comprimento e 48mm de diâmetro nominal. Encontra-se montado sobre plataforma fixa, inclinada no ângulo da latitude local 7° norte (BATISTA, 2016).

**Figura 1 – Sistema piloto de tratamento: Fotorreator solar.**



Fonte: Adaptado de Batista (2016).

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram estudados os seguintes processos:

- Aplicação do processo  $H_2O_2/UV$ -Solar
- Aplicação do processo foto-Fenton solar

A metodologia seguida foi a mesma para ambos: aplicaram-se dois experimentos, diferenciados apenas quanto a variável operacional vazão do fotorreator: i), vazão máxima ( $1,99m^3s^{-1}$ ), e ii) meia vazão ( $0,995m^3s^{-1}$ ).

A amostra do corante utilizada foi preparada em 35 litros de água proveniente do sistema de abastecimento de água da UFPB onde adicionou-se a quantidade necessária de AZM em pó para obter-se a concentração requerida para cada experimento.

As condições operacionais de cada processo (Quadro 1) foram definidas através de otimizações realizadas em experimentos anteriores efetuados pelo grupo de pesquisa.

**Quadro 1 – Condições operacionais dos POAs  $H_2O_2/UV$  solar e foto-Fenton.**

CONDIÇÕES OPERACIONAIS				
Processo	$H_2O_2/UV$ -Solar		Foto-Fenton	
Vazão	Máxima	Meia	Máxima	Meia
Data de realização	26/04/2018	05/06/2018	15/05/2018	15/05/2018
Horário	11 às 16h	11 às 16h	11:30 às 12h	13h às 13:30 min
Variação da radiação solar ( $kJ/m^2$ )	1059 a 3335	767,6 a 2780	1059 a 3335	2430 a 2889
[AZM] ( $mg.L^{-1}$ )	1	1	10	10
PH	5,5	5,5	3	3
Razão $Fe^{2+}: H_2O_2$	-		1:5	
Tempo total (minutos)	270		30	
Retirada de amostras	A cada 30 minutos		Em 2, 5, 10, 20 e 30 minutos	
Quantidade de amostras	9		5	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

## QUANTIDADE DOS REAGENTES

A quantidade de  $H_2O_2$  utilizada nos experimentos foi encontrada através da condição teórica (estequiometria), na qual são necessários 2,5512g de  $H_2O_2$  para degradar 1g de AZM. Já a quantidade de Ferro utilizada para os

experimentos com foto-Fenton foi calculada através de uma relação estequiométrica entre concentração desejada, volume da amostra e massas molares de Ferro e Sulfato de Ferro heptahidratado.

### VARIÁVEIS RESPOSTAS

As variáveis resposta dos processos foram degradação, descoloração, pH final e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual. A concentração final do AZM foi calculada através da equação 1, obtida através da curva de calibração do corante, sendo a absorbância final determinada a partir da leitura espectral no comprimento de onda de 664 nm, com as amostras diluídas em 1:1. A curva foi construída seguindo a Lei de Lambert-Beer e o método dos mínimos quadrados, partindo-se de uma solução padrão com 100 mgL<sup>-1</sup> do corante e apropriadas diluições para concentrações pré-estabelecidas (0,5 a 10mg.L<sup>-1</sup>).

$$\text{Concentração final} = \left( \frac{\text{abs}_{\text{final}} - 0,0262}{0,1566} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Em posse das concentrações final e inicial, a degradação do corante foi encontrada a partir da Equação 2:

$$\text{Degradação (\%)} = \left( \frac{\text{Conc}_{\text{inicial}} - \text{Conc}_{\text{final}}}{\text{Conc}_{\text{inicial}}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Para a análise da descoloração adotou-se a metodologia do número de cor:

$$\text{Descoloração (\%)} = \left( \frac{\text{NC}_{\text{inicial}} - \text{NC}_{\text{final}}}{\text{NC}_{\text{inicial}}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

A análise do peróxido residual foi realizada pelo método Iodométrico (MENDHAM et al, 2011) e o pH das amostras foi medido através do método Potenciométrico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a) Processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV solar

Observou-se que no que se refere ao experimento com vazão máxima, o melhor resultado, amostra 6, alcançou 100% de degradação e 85% de descoloração do corante; no que se refere ao teste a meia vazão foi obtido, na amostra 8, 100% de degradação e 55% de descoloração (Tabela 1). As mínimas e máximas porcentagens de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual neste experimento foram, respectivamente, 2,66% e 5,32%.

**Tabela 1 – Condições das variáveis interferentes e as respostas, para o processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV solar.**

Amostra	Variáveis			Respostas					
				Vazão Máxima			Meia Vazão		
	PH	[AZM] (mg.L <sup>-1</sup> )	Tempo (min)	PH final	Degradação	Descoloração	PH final	Degradação	Descoloração
	Valor	Valor	Valor	-	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	5,5	1	30	5,58	73,93	14,16	5,75	34,22	16,62
2	5,5	1	60	6,85	100,00	18,22	6,30	74,85	28,52
3	5,5	1	90	7,62	100,00	29,14	6,53	89,83	40,81
4	5,5	1	120	7,81	100,00	48,71	6,63	91,96	50,37
5	5,5	1	150	7,71	100,00	48,59	6,88	100,00	54,00
6	5,5	1	180	7,34	100,00	85,37	7,05	100,00	54,00
7	5,5	1	210	8,01	100,00	57,06	7,23	100,00	54,63
8	5,5	1	240	7,98	100,00	53,25	7,17	100,00	54,63

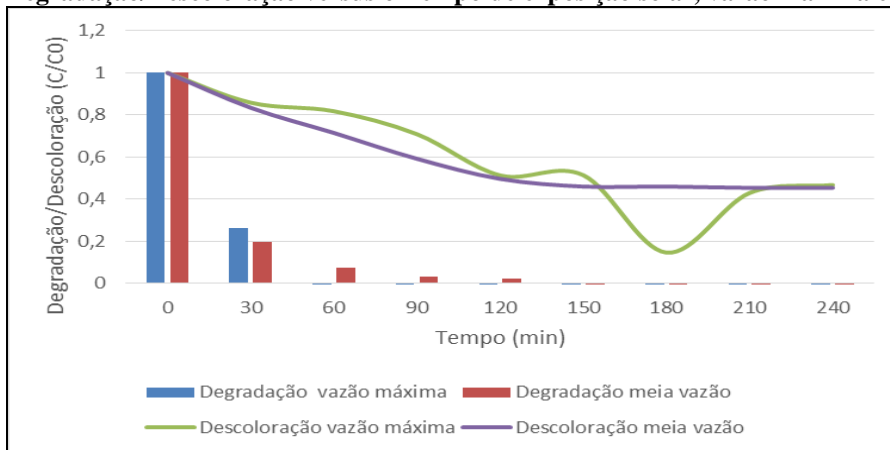
Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

A partir da análise do gráfico C/C<sub>0</sub> (Figura 2), notou-se que o tempo exerce uma influência positiva no processo, ou seja, quanto maior o tempo, maior a eficiência. Quanto às vazões, para a degradação, os melhores

resultados foram obtidos utilizando a vazão máxima, que em 60 minutos já havia atingido 100% de degradação.

Em relação a descoloração, em geral, os resultados mais satisfatórios foram obtidos para meia vazão, provavelmente devido ao aumento do tempo em que a amostra fica exposta no tubo, pois a velocidade de circulação é menor. A figura 4 apresenta o aspecto visual das amostras tratadas.

**Figura 2 – Degradação/Descoloração versus o Tempo de exposição solar, vazão máxima e meia vazão.**

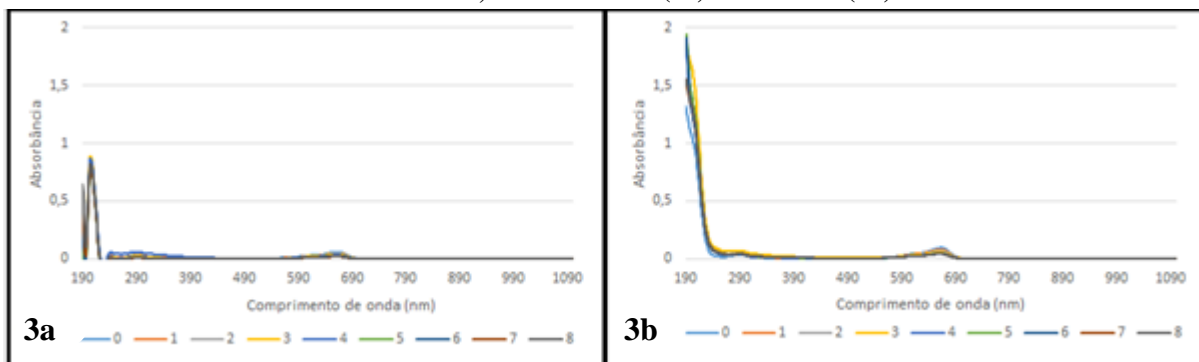


Fonte: Autores, 2018.

Os resultados desse experimento se assemelham aos estudos de Melo (2016) que alcançou a degradação de 99% do AZM em mistura com o corante vermelho reativo RB, utilizando a fotocatalise solar heterogênea (ZnO/UV solar) e um fotorreator CPC, com vazão de 70 L.s<sup>-1</sup>; e de autores como Ribeiro et al (2010), que, ao estudarem a influência da combinação do POA convencional UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com o processo de adsorção, no tratamento de um efluente de indústria têxtil do Ceará, obtiveram resultados de descoloração acima de 96% com concentração de 1% de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, em 4 horas de exposição à luz artificial em um reator de fluxo contínuo, em escala laboratorial.

Como apresentado na figura 3, os picos de absorção da solução inicial do Azul de Metileno são mostrados na região do visível a 664nm e na região do UV entre 245 e 290nm, corroborando com autores como Paulino et al (2014) e FAGNANI et al (2013). Após a aplicação do tratamento pode-se observar que o POA promoveu um abatimento das absorbâncias, indicando a degradação do AZM. Não há a formação de novos picos, como também observado pelos autores supracitados. Através da redução de amplitude em 664nm, confirma-se que o uso da vazão máxima causou a maior degradação do corante. A figura 4 mostra o aspecto visual das amostras após tratamento em fotorreator por H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV<sub>solar</sub>, para as vazões máxima e meia.

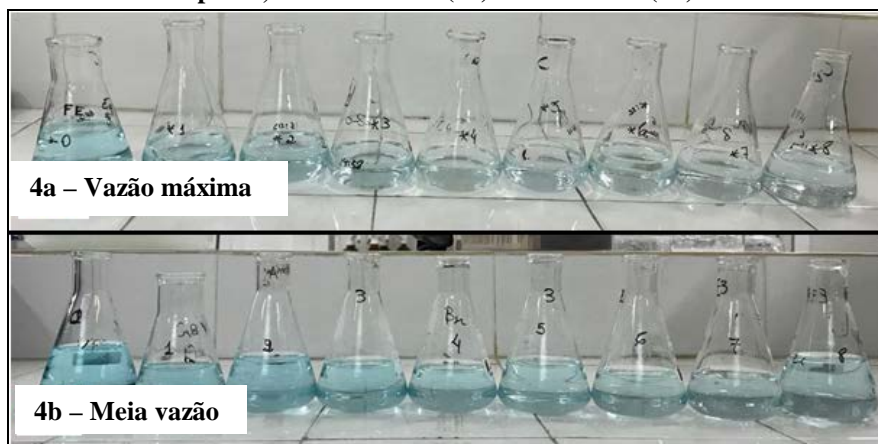
**Figura 3 – Varreduras espectral das amostras das soluções de AZM após o processo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV<sub>solar</sub> no fotorreator solar, vazão máxima (3a) meia vazão (3b).**



Fonte: Autores, 2018.



**Figura 4 – Aspecto visual das amostras do efluente sintético de AZM após o tratamento em fotorreator piloto, vazão máxima (4a) e meia vazão (4b).**



Fonte: Autores, 2018.

#### b) Processo foto-Fenton solar

Para as duas vazões estudadas, os resultados obtidos foram semelhantes, obtendo degradações de 100% e descolorações de aproximadamente 91% em apenas 2 minutos de reação. As mínimas e máximas porcentagens de  $H_2O_2$  residual neste experimento foram, respectivamente, 2,66% e 5,32%, tabela 2.

**Tabela 2 – Condições das variáveis e as respostas do planejamento nos experimentos no fotorreator solar.**

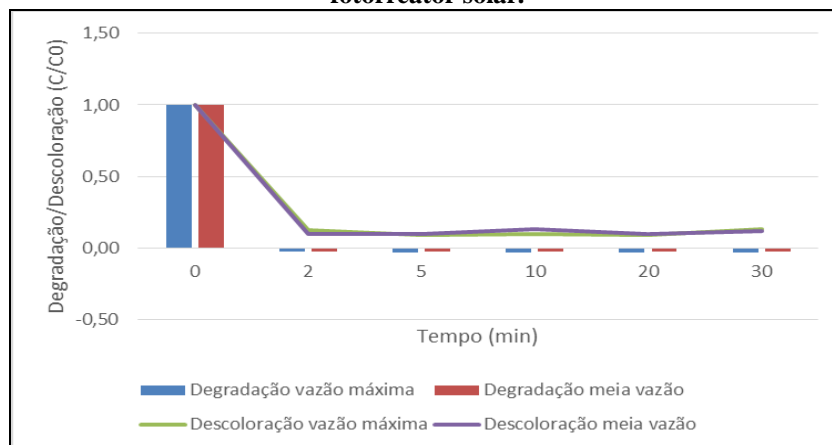
Amostra	Variáveis				Respostas					
					Vazão Máxima			Meia Vazão		
	PH	[AZM] (mg.L <sup>-1</sup> )	Tempo (min)	Razão	PH final	Degradação	Descoloração	PH final	Degradação	Descoloração
	Valor	Valor	Valor	Fe <sup>2+</sup> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	3	10	2	1:5	4,20	100,00	87,44	4,20	100,00	89,97
2	3	10	5	1:5	5,49	100,00	90,89	5,49	100,00	89,92
3	3	10	10	1:5	4,45	100,00	90,38	4,45	100,00	86,95
4	3	10	20	1:5	5,06	100,00	90,86	5,06	100,00	90,48
5	3	10	30	1:5	5,41	100,00	86,84	5,41	100,00	88,43

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

Meira (2014), também obteve degradações acima de 99% quando estudando o processo foto-Fenton e suas variáveis interferentes, na degradação de efluente sintético contendo corante índigo Carmim a 20mg.L<sup>-1</sup> de concentração e pH 4, em 10 minutos de reação. Já Martins et al (2011), obteve eficiências menores: 95% de remoção de cor e 75% de remoção da DQO ao aplicar o processo foto-Fenton em um fotorreator de irradiação artificial, ao tratamento do corante Preto Biozol UC, em pH 3 e razão Fe<sup>2+</sup>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> igual a 1:20.

O gráfico C/C<sub>0</sub> (Figura 5) foi elaborado de forma a visualizar a eficiência do POA ao longo do tempo. A eficiência do foto-Fenton na degradação foi máxima para as vazões testadas. Já para a descoloração, no geral, os melhores resultados foram obtidos para vazão máxima, fato constatado através dos resultados do número de cor, obtido através da varredura espectral das amostras. Visualmente não houveram diferenças significativas entre as amostras tratadas a vazão máxima e meia vazão.

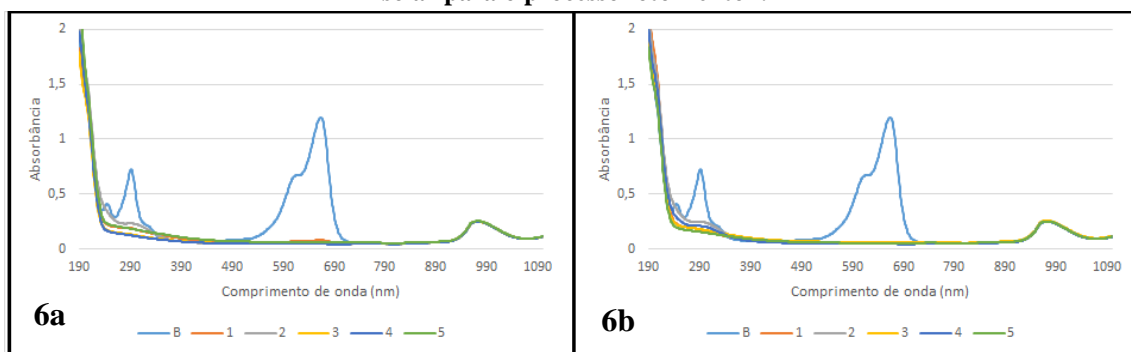
**Figura 5 – Degradação/Descoloração versus o Tempo de exposição solar, para os experimentos no fotorreator solar.**



Fonte: Autores, 2018.

As varreduras espectrais das amostras tratadas por foto-Fenton no fotorreator (figura 6) mostram uma redução gradual dos picos na região do UV (245 a 290nm), rápida redução do pico do grupo cromóforo, indicando a completa degradação do corante e o pico em 990nm, que não foi degradado pelo processo. A figura 7 mostra o aspecto visual das amostras tratadas no fotorreator com vazão máxima (7a) e meia vazão (7b).

**Figura 6– Varreduras espectrais das amostras após tratamento para os experimentos no fotorreator solar para o processo foto-Fenton.**



Fonte: Autores, 2018.

**Figura 7 – Aspecto visual das amostras tratadas no fotorreator, vazão máxima (6a) e meia vazão (6b).**



Fonte: Autores, 2018.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A utilização do fotorreator solar se mostrou muito eficiente para a aplicação dos POA em escala piloto, obtendo degradações de até 100% para ambos os processos estudados.

Observou-se também que o processo foto-Fenton solar apresenta maior eficiência em um tempo reduzido, quando comparado ao processo  $H_2O_2$ /UV solar e que nenhum dos processos gerou lodo ao final do tratamento do efluente sintético.

Vale salientar que o equipamento deve ser utilizado em sua vazão máxima, pois além de ter apresentado maior eficiência na degradação e descoloração do AZM não representa riscos ao bom funcionamento do sistema, ao contrário do que acontece com a meia vazão, que causou início de cavitação na bomba.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BATISTA, M. M. Eficiência do processo foto-Fenton solar em um fotorreator piloto no pós-tratamento do lixiviado do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
2. FABRÍCIO, T. N. R. et al. Produção de biossurfactante e biodegradação no cultivo de *Geobacillus stearothermophilus* com corante Azul de Metileno. In: Anais do V CONNEPI, 2010.
3. FAGNANI, F.; GUADAGNINI, R. A.; SILVA, G. A.; GUIMARÃES J.R. Degradação de cafeína e azul de metileno por processos oxidativos avançados (POA). In: HOLOS Environment, v.13 n.1, p. 86, 2013.
4. Fenton HJH (1894) Oxidation of tartaric acid in the presence of iron. J Chem Soc 65:899–910
5. Fernández-Pereira C, Poblete R, Prieto-Rodríguez L, Oller I, Maldonado MI, Malato S, Otal E, Vilches LF (2012) Solar photocatalytic treatment of landfill leachate using a solid mineral byproduct as a catalyst. Chemosphere 1090–1096.
6. GUARATINI C. C. I.; ZANONI M. V. B. Textile dyes. Química Nova, v 23, p. 71-78, 2000.
7. Malato, S., Fernández-Ibáñez, P., Maldonado, M.I., Blanco, J., Gernjak, W., 2009. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends. Catal. Today 147, 1–59.
8. MARTINS, Leonardo Madeira et al. Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/ $H_2O_2$  no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 261-270, Sept. 2011. 23.
9. MEIRA, Luis. Degradação de Corantes Indigoides com Reagente de Fenton. Dissertação (Mestrado de Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia). Instituto Politécnico de Portalegre - Escola Superior de Tecnologia e Gestão. 2014.
10. MELO, M. M. M. Fotocatálise heterogênea solar com óxido de zinco (ZnO) na degradação de corantes utilizados na indústria têxtil. 2016. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.
11. MENDHAM, J. et al. Análise Química Quantitativa. 6ª edição. LTC Editora, 2011.
12. PAULINO, T.R.S.; ARAÚJO, R. DOS S.; DE SOUSA, F. W.; SALGADO, B.C.B. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton ( $Fe^{2+}/H_2O_2$ ). In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n.3, p. 347-352, 2015.
13. RIBEIRO, J. P.; ARAÚJO, D. S.; DE SOUSA, F. W.; CORREIA, L.M.; MACHADO FILHO, N.S.; DO NASCIMENTO, R.F. Uso do processo  $H_2O_2$ /UV - Adsorção no tratamento de efluente têxtil. In: DAE, v. 6, n.3, p. 4-8, 2010.
14. SPASIANO, D; MAROTTA, R; MALATO, S; IBANES, P; DI SOMMA, I. Solar photocatalysis: Materials, reactors, some commercial, and pre-industrialized applications. A comprehensive approach. Applied Catalysis B: Environmental, v. 170-171, p 90-123, 2015.