

II-231 – REMOÇÃO DE COR E DQO DE EFLUENTE TÊXTIL PELO PROCESSO DE OZONIZAÇÃO

Jéssica Luiza Bueno Trevizani⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão. Mestranda em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba.

José Eduardo Munhoz Martins

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Fernando Hermes Passig

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Gilson Junior Schiavon

Licenciado em Física pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Docente da Coordenação de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR).

Karina Querne de Carvalho

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900, Ecoville - Curitiba - Paraná - CEP : 81.280-340 - Brasil - Tel +55 (41) 3279-4500 - e-mail: jlbtrevizanii@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste artigo foi avaliar a eficiência de remoção de cor e demanda química de oxigênio (DQO) de efluente têxtil de uma indústria de tinturaria pelo processo de ozonização realizado por um gerador de ozônio com vazão de 8 L/min e geração de até 18,24 mgO₃/min. Além da eficiência de remoção de cor, foram analisados os parâmetros físico-químicos temperatura, pH, turbidez, condutividade, cor, alcalinidade a bicarbonato, ácidos voláteis, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos nas amostras do afluente e do efluente da indústria de tinturaria. Os parâmetros que apresentaram remoções significativas foram cor verdadeira e DQO. Foram obtidos valores de cor iguais a 1603 UPC e 250 UPC e 337 UPC e 33 UPC antes e depois da ozonização nas amostras do efluente bruto (entrada) e tratado (saída) da indústria, com eficiências de remoção de 84% e 90%, respectivamente. Para DQO do efluente bruto os valores obtidos foram iguais a 436 mg/L e 236 mg/L antes e depois da ozonização com eficiência de remoção de aproximadamente 46%, para o efluente tratado a eficiência de remoção foi de 42% com valores de DQO de 75 mg/L e 43 mg/L antes e após a exposição ao ozônio.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente têxtil, DQO, Geração de Ozônio, Cinética.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais decorrentes de atividades industriais são a contaminação e poluição de corpos hídricos por despejos e efluentes sem tratamento adequado.

Segundo Sanin (1997), os maiores setores consumidores de água doce disponível são a agricultura e à indústria, sendo o setor têxtil responsável por 15% da água consumida pelas indústrias. As indústrias de tingimento são consideradas especialmente poluentes, pois no processo de tingimento são utilizados altos teores de metais, sais, surfactantes ou álcalis e solventes (SOTTORIVA, 2002).

Segundo Somensi (2006), várias pesquisas efetuadas em escala de laboratório com ozônio tiveram como resultado a descoloração em até 90% do efluente. O autor destaca que esse resultado depende de fatores como

tempo de exposição, tipo de corante utilizado e concentração do ozônio. Uma das principais vantagens desse processo é não produzir íons inorgânicos como na oxidação com cloro (SILVA, 2006).

Dentro deste contexto, o objetivo principal deste artigo foi avaliar a eficiência de remoção de cor do efluente da entrada e da saída de uma indústria têxtil submetido ao processo de ozonização realizado por um gerador de ozônio com vazão de 8 L/min e geração de até 18,24 mg/min de ozônio (O_3).

MATERIAIS E MÉTODOS

O tratamento do efluente têxtil pelo processo de ozonização foi avaliado por análises físico-químicas em três campanhas de amostragem temporal com coleta de 10 L de efluente no tanque de equalização (entrada) e na calha Parshall (saída) de uma Estação de Tratamento (ETE).

O efluente bruto, coletado na entrada da ETE, foi ozonizado durante 5 h, com medições de cor a cada 15 min, e de temperatura, pH, turbidez e condutividade a cada 30 min e DQO a cada uma hora. As determinações de alcalinidade a bicarbonato, ácidos voláteis, sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos foram feitas em amostras do início e final do processo de ozonização. O efluente tratado, coletado na saída da ETE, foi ozonizado durante duas horas, com determinações dos mesmos parâmetros avaliados para o efluente.

As metodologias utilizadas para realização das análises foram obtidas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005). Os parâmetros alcalinidade a bicarbonato e ácidos voláteis foram determinados de acordo com metodologias reportadas por Dillalo e Albertson (1961) e Ripley et al. (1986), respectivamente.

As constantes cinéticas de 2ª ordem foram obtidas a partir da relação entre o tempo e a remoção dos parâmetros cor verdadeira e DQO. Primeiramente foi feito a constante cinética de 1ª ordem porém a de 2ª ordem se ajustou melhor aos resultados.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos após o processo de ozonização do efluente têxtil bruto (entrada da ETE).

Tabela 1. Caracterização do efluente bruto (entrada) da indústria, antes e após a ozonização.

PARÂMETROS	ANTES DO OZÔNIO					DEPOIS DO OZÔNIO				
	N	X	DP	Máx	Mín	X	DP	Máx	Mín	
T (°C)	6	24	2	26	23	33	2	33	31	
pH	6	8,6	0,6	9,1	7,9	8,9	0,1	9,0	8,9	
Turbidez (UNT)	6	159	81	216	67	86	2	87	83	
Condutividade (µS/cm)	6	6,2	0,7	7,0	5,7	5,4	0,6	6,0	4,9	
Cor (UPC)	6	1603	671	2320	990	250	10	260	240	
Alcalinidade à bicarbonato (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	6	581	63	654	538	480	47	530	437	
Ácidos Voláteis (mgHac.L ⁻¹)	6	18	11	25	6	27	21	46	5	
DQO bruta (mg.L ⁻¹)	12	436	138	597	445	236	31	270	210	
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	6	3719	809	4584	2932	3590	633	4266	3010	
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	6	3623	1178	4432	2096	3519	614	4180	2968	
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	6	96	49	152	60	78	14	86	62	
N: número de amostras; X: média aritmética; DP: desvio padrão; Máx: máximo; Mín: mínimo										

Pela Tabela 1, é possível notar que o valor médio obtido de temperatura aumentou no decorrer da ozonização, com temperatura média de 23 °C (antes do ozônio) e máxima de 33 °C (depois do ozônio). Este aumento de temperatura provavelmente pode estar associado ao processo de turbilhonamento do efluente durante o tratamento pelo ozônio.

É possível notar que os valores médios de pH e condutividade foram de $8,6 \pm 0,6$ e $6,2 \pm 0,7 \mu\text{S}/\text{cm}$ e de $8,9 \pm 0,1$, $5,4 \pm 0,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ antes e depois da ozonização, respectivamente. Os valores médios de pH e a condutividade não apresentaram diferenças significativas nas amostras durante a exposição do ozônio.

Para o efluente bruto obteve-se diminuição de aproximadamente 46% na turbidez em relação ao tempo de exposição ao ozônio. Faria (2005) investigou a ozonização à concentração de $0,6 \text{ mg.L}^{-1}$ na água bruta de zona rural para abastecimento doméstico. O autor verificou redução de aproximadamente 32% até os primeiros 15 min de exposição ao ozônio, e em seguida aumento desse parâmetro em aproximadamente 4%.

O parâmetro cor apresentou diminuição significativa em média de 84% em relação ao tempo de exposição de ozônio nas três campanhas de amostragem temporal, como pode ser observado na Figura 1.

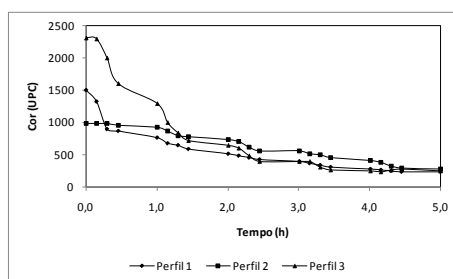


Figura 1. Variação da cor em função do tempo no efluente bruto tratado pelo processo de ozonização.

De acordo com a Figura 1 é possível notar que o parâmetro cor apresentou média de 1602 UPC antes e média de 250 UPC após o término da ozonização, com eficiência média de 84%. Segundo Somensi (2006), várias pesquisas efetuadas em escala de laboratório tiveram descoloração em até 90% do efluente. Sens (2000) obteve eficiência de remoção de cor verdadeira de aproximadamente 92% durante 40 min de exposição ao ozônio com concentração de $7,2 \text{ mg/L}$.

Silva (2006) avaliou a eficiência da ozonização na degradação dos corantes Orange II e Acid Red 27, em meio salino e em valores de pH de 5,0, 7,5 e 9,0. A autora obteve remoção de cor significativa em meio ácido de aproximadamente 96% em 40 min de ozonização.

Santana (2010) estudou a remoção de cor em solução aquosa contendo o corante Solophenyl Yellow Arle 154% durante 5 min e 60 min em um difusor de ozônio em experimentos em semi-batelada com circulação, com 10 a 40 mg/L de ozônio, 20 a 100 mg/L de corante e pH de 3,0 a 10,0. A autora obteve remoção de cor de 62% e 99% nos tempos de 5 min e 60 min com concentração de 40 mg/L e pH de 10,0, respectivamente.

Porém com pH de 3,0, a autora verificou remoção de cor de 98% em 5 min e 99% em 60 min nas mesmas condições operacionais.

A eficiência de remoção de DQO foi de aproximadamente 46% no efluente bruto, com valor máximo de 436 mg/L e mínimo de 236 mg/L . Somensi (2006) tratou por processo de ozonização três amostras de efluentes com DQO de 671 mg/L durante 150 min, a segunda amostra com 545 mg/L durante 180 min e a terceira amostra com 880 mg/L durante 210 min.

O autor obteve DQO final de 520 mg/L , 437 mg/L e 602 mg/L , respectivamente para as três amostras, e eficiência de remoção média de 24,8%. O mesmo autor afirma que diversas outras pesquisas em escala de bancada tiveram como resultado redução da DQO na ordem de 15%.

A alcalinidade a bicarbonato reduziu de 581 mgCaCO₃/L para 480 mgCaCO₃/L após a ozonização nas campanhas de amostragem temporal, com diminuição média de 34%. As concentrações de ácidos voláteis resultaram em média de 18 mgHac/L e de 27 mgHac/L antes e após a ozonização.

A concentração média de sólidos totais resultou em 3719 mg/L e 3590 mg/L antes e após a ozonização, respectivamente. A concentração média de sólidos dissolvidos foi de aproximadamente 3623 mg/L e de 3512 mg/L antes e após a ozonização, respectivamente. A concentração média de sólidos suspensos apresentou diminuição média de aproximadamente 18% com a ozonização. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos após o processo de ozonização do efluente têxtil tratado (saída da ETE).

Tabela 2. Caracterização do efluente tratado (saída) bruto da indústria, antes e após a ozonização

PARÂMETROS	ANTES DO OZÔNIO					DEPOIS DO OZÔNIO			
	N	X	DP	Máx	Mín	X	DP	Máx	Mín
T (°C)	6	22	3	25	19	24	3	32	29
pH	6	8.2	0.2	8.3	8.0	8.8	0.2	9.0	8.6
Turbidez (UNT)	6	16	6	21	10	23	5	29	19
Condutividade (µS/cm)	6	4.1	0.3	4.3	3.8	3.9	0.6	4.3	3.2
Cor verdadeira	6	337	146	440	170	33	35	70	0
Alcalinidade à bicarbonato (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	6	363	96	428	253	252	158	414	98
Ácidos Voláteis (mgHac.L ⁻¹)	6	11	12	24	1	11	10	21	2
DQO bruta (mg.L ⁻¹)	12	75	41	122	43	39	30	73	15
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	6	2127	326	2480	1844	2057	322	2410	1778
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	6	2096	310	2436	1828	2019	286	2330	1768
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	6	31	14	44	16	39	37	80	10

N: número de amostras; X: média aritmética; DP: desvio padrão; Máx: máximo; Mín: mínimo

Assim como para o efluente bruto os parâmetros como cor, temperatura, turbidez, condutividade e DQO foram analisados com relação ao tempo exposto ao ozônio.

Pela Tabela 2, é possível notar que o valor médio obtido de temperatura aumentou no decorrer do processo de ozonização com temperatura média de 22°C (antes de ozônio) e máxima de 33 °C (depois do ozônio). O aumento de temperatura do efluente tratado foi menor do que do efluente bruto devido ao tempo de exposição ao ozônio e turbilhamento de apenas 2 horas.

Na Tabela 2 é possível notar que os valores médios de pH e condutividade foram de 8,2 ± 0,2 e 4,1 ± 0,3 µS/cm e de 8,8 ± 0,2, 3,9 ± 0,6 µS/cm antes e depois a ozonização, respectivamente. Assim como para o efluente de entrada da indústria, o pH e a condutividade oscilaram durante o tempo de tratamento, porém sem alterações significativas.

Para o efluente tratado, a turbidez foi em média de 16 UNT (antes do ozônio) e de 23 UNT (após o ozônio), ou seja, um aumento, que pode estar relacionado com o turbilhamento durante o processo de ozonização. Hassemer e Sens (2002) investigou o tratamento de efluente têxtil por ozonização e obteve remoção de turbidez de 96%, com a aplicação de ozônio.

O parâmetro cor apresentou diminuição significativa em média de 90% em relação ao tempo de exposição de ozônio nas campanhas de amostragem temporal como pode ser observado na Figura 2.

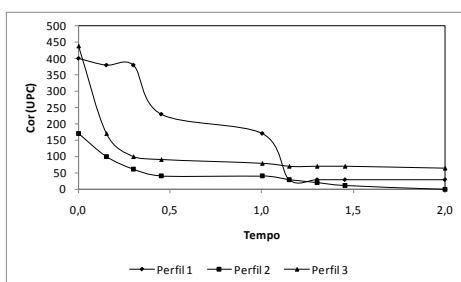


Figura 2. Variação da cor em função do tempo do efluente tratado pelo ozônio.

A média máxima das medições de cor na campanhas de amostragem temporal do efluente tratado foi de aproximadamente 337 UPC, antes da ozonização. A média mínima após a exposição ao ozônio foi de aproximadamente 33 UPC, removendo aproximadamente 90% da cor do efluente. A remoção de DQO com a ozonização foi de aproximadamente 48%, com média máxima de 75 mg/L e mínima de 39 mg/L.

A alcalinidade a bicarbonato foi menor após o tratamento com ozônio com média máxima de 363 mgCaCO₃/L e média mínima de 252 mgCaCO₃/L, com remoção de aproximadamente 31%. Foi verificada mesma concentração para os ácidos voláteis durante a exposição de ozônio.

Foi verificada concentração de sólidos totais de 2127 mg/L e de 2057 mg/L antes e após a ozonização, respectivamente. As concentrações de sólidos dissolvidos foi de 2096 mg/L (antes do ozônio) e de 2018 mg/L (depois do ozônio). A concentração média de sólidos suspensos foi de 31 mg/L (antes do ozônio) e de 39 mg/L (depois do ozônio). Na Tabela 3 podem ser observados os valores da constante cinética de 2ª ordem para cor verdadeira para o efluente bruto e tratado na indústria.

Tabela 3. Valores da constante cinética, equação e R² calculados para o efluente bruto e tratado na indústria

Efluente bruto			Efluente tratado		
Perfis	k (h ⁻¹)	R ²	Perfis	k (h ⁻¹)	R ²
1	0,0007	0,9822	1	0.0156	0.8616
2	0,0003	0,9364	2	0.0208	0.94760
3	0,0009	0,9796	3	0.0204 0.0028	0.9556 0.8756
4	0,0015	0,9605	4	0,0404 0,0031	0,8578 0,8846

Na Tabela 4 podem ser observados os valores da constante cinética de 2ª ordem para DQO para o efluente bruto e tratado na indústria.

Tabela 4. Valores da constante cinética, equação e R² calculados para o efluente bruto e tratado na indústria

Efluente bruto			Efluente tratado		
Perfis	k (h ⁻¹)	R ²	Perfis	k (h ⁻¹)	R ²
1	0,0003	0,9455	1	0,0055	0,8446
2	0,0003	0,9559	2	0,0247	0,9991
3	0,0005	0,9427	3	0,0028	0,8615
4	0,0015	0,9749	4	0,0445	0,9987

CONCLUSÕES

Os parâmetros cor verdadeira e DQO apresentaram remoção de 87% e 47%, respectivamente, após a ozonização. Os resultados foram melhores para o efluente tratado na indústria devido aos menores valores dos parâmetros analisados, facilitando assim a ação do ozônio.

É possível considerar o processo de ozonização como uma forma eficiente e promissora para o tratamento destes efluentes. Foi possível concluir que a remoção de cor do efluente tratado de aproximadamente 90%, similar ao citado na literatura técnico-científica.

A remoção da turbidez depende do tempo de exposição e das características iniciais do mesmo, sendo para o efluente bruto de 54% e para o efluente tratado de 44%.

Nas amostras do efluente tratado, a cor verdadeira foi mínima e igual a 0 nas campanhas de amostragem temporal, dessa forma pode-se considerar possibilidades de reuso, até então descartadas, devido a coloração existente no efluente.

É importante desenvolver mais estudos com relação à ozonização para possibilitar seu uso em grande escala nos tratamentos de efluentes têxteis, melhorando assim a qualidade da água a ser despejada, possibilitando seu reuso e consequentemente diminuindo o consumo deste recurso.

Para cor verdadeira as constantes cinéticas de 2ª ordem de $0,0404 \text{ h}^{-1}$ foram melhores para o efluente da indústria para o perfil 3. Para DQO, os maiores resultados foram observados para o efluente da indústria com $0,0445 \text{ h}^{-1}$ no perfil 4. As constantes cinéticas calculadas foram maiores no efluente da ETE da indústria, provavelmente devido a maior remoção em menor tempo de exposição ao ozônio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DILLALO, R.; ALBERTSON, O. E. **Volatile acids by direct titration**. *Journal of Water Pollution Control Federation*, New York, v. 33, n. 4, p. 356-365, apr. 1961
2. EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.
3. FARIA, D. A.; URRUCHI, W. M. I.; OTANI, C.; MASSI, M. **Efeitos na turbidez, cor, pH, FE e MN da aplicação de ozônio (O₃) em água de abastecimento**. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande –MS, 2005.
4. HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do Efluente de uma Indústria Têxtil. Processo Físico-Químico com Ozônio e Coagulação/Floculação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 7, n.1 e 2, p. 30-36, 2002.
5. SANTANA, C. M. **Estudo da degradação de corante têxtil em matrizes aquosas por meio dos processos oxidativos avançados O₃-H₂O₂/UV e Foto-Fenton**. Dissertação (mestrado), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 120p. 2010.
6. SENS, Maurício. L.; FILHO, Luiz. C. M.; LAPLANCHE, Alain. (2000). **Efeito da pré-ozonização sobre a geração de lodo em processos físico-químicos de estações de tratamento de efluentes têxteis**. IN: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Foz. do Iguaçu, PR.
7. SOMENSI, Cleder A.; BERTOLI, Savio L.; JUNIOR, Alberto W.; SIMIONATTO, Edesio L. **Ozonização de efluente têxtil em escala piloto: Avaliações iniciais para a redução de cor e DQO**. In: 29ª RENÍÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 2006, Blumenau. Disponível em: < <http://sec.sbgq.org.br/cd29ra/resumos/T0980-1.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2012.
8. SANIN, L. B. B. A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente. Química Têxtil. *Revista Química Têxtil*, São Paulo, mar 1997. Disponível em: < <http://www.abqet.com.br>>. Acesso em: 18 out.2011
9. SILVA, Alessandra C. **Degradação de corantes em meio salino por ozonização**. 2006. 123f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.