

Tratamento de águas residuais domésticas com Fenton e sistema de Wetlands Construídos

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.007-040>

Suzana Maria Loures de Oliveira Marcionilio

Adriano Carvalho Costa

José Eduardo Ferreira da Silva Gadêlha

Édio Damásio da Silva Júnior

Vicente Douglas Figueredo Carvalho

RESUMO

Formas alternativas de tratamentos de esgotos domésticos, como os sistemas Wetlands Construído (WC), é eficiente e ambientalmente favorável. Este efeito pode ser intensificado ao associar dois tratamentos para reduzir carga poluidora, neste trabalho, combinou a reação Fenton após sistema WC para remoção de Matéria Orgânica (MO). O ensaio experimental foi realizado em arranjo fatorial 5 x 5, sendo os fatores o H₂O₂ e Fe²⁺ nas concentrações em ambos 0, 25, 50, 75 e 100 %, sendo a variável resposta a MO em UV 254nm. Os dados foram submetidos a análise exploratória, considerando os efeitos dos fatores e suas interações, realizando a análise de variância e modelos estatísticos Linear, Linear Platô, quadrático e quadrático Platô. Houve interação entre os fatores, desdobrando Fe²⁺ dentro de H₂O₂, constatou-se que em todas as concentrações de H₂O₂, o modelo platô foi o que melhor ajustou. Enquanto no desdobrando H₂O₂ dentro de Fe²⁺ constatou-se que nas concentrações até 50% de Fe²⁺ o modelo quadrático melhor ajustou, já nas maiores concentrações (75 e 100%) foi o platô. A modelagem demonstrou que a dosagem ótima para este estudo é de 25% de H₂O₂ (250 mg L⁻¹) / 33% de Fe³⁺ (165 mg L⁻¹), removendo 92,75% de MO.

Palavras-chave: Fenton, Wetlands Construídos.

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é de fundamental importância para o bem-estar do ser humano, uma vez que promove o controle da saúde pública, melhora a qualidade de vida de uma cidade, elimina os fatores de riscos à sua saúde e, assim, aumenta as condições sociais e ambientais favoráveis a uma boa sobrevivência. No entanto, a garantia das condições de acesso e de qualidade dos serviços se encontra em crescimento no país, ainda retrata uma enorme desigualdade e déficit no processo (BATISTA, 2014). Com a ausência destes tratamentos pode acarretar inúmeros prejuízos ambientais, sendo entre estes o de eutrofização. Por isso, diversas alternativas de tratamentos vêm sendo estudadas visando a remoção de poluentes com uso de tratamentos biológicos, destacando-se os sistemas Wetlands Construídos (WCs) têm se mostrado promissores (Kadlec and Knight, 1996; SOUZA, 2019). E uma outra versão de tratamento, os híbridos, associação de tratamentos biológicos seguidos de tratamentos químicos são uma forma de aumentar a eficiência de remoção de carga poluidora e devolver a possibilidade de reuso de água, com condições físico-químicas compatíveis ao meio ambiente.

O sistema WC possui baixo custo de operação, implantação e manutenção em relação aos sistemas convencionais. Os usos de wetlands demonstram boas eficiências na remoção de sólidos suspensos, DBO e na concentração de nutrientes (Fósforo e Nitrogênio) (Carvalho, 2019; Ferreira & Paulo 2009; SALATI et al., 2009). Dentro de um sistema wetland ocorrem diversos processos que contribuem para a melhoria da qualidade do efluente, são eles: adsorção de íons amônio e de metais pelos argilominerais, adsorção de íons metálicos, de pesticidas e de compostos a base de fósforo pela matéria orgânica; decomposição da matéria orgânica; remoção de patógenos por microrganismos; retiradas de metais pesados e outras substâncias tóxicas (dentro de limites) pelas plantas (macrófitas) (CARVALHO, 2019; Kadlec and Knight, 1996; Melo Júnior et al, 2019). Nos esgotos domésticos, a Matéria Orgânica (MO) é encontrada em solução — representada pelos sólidos orgânicos dissolvidos (rapidamente biodegradáveis) — e em suspensão — relativa aos sólidos suspensos no meio líquido (lentamente biodegradáveis) (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). but substâncias químicas recalcitrantes são removal technologies such as advanced oxidation processes have been scarcely practiced in decentralized areas (Chong et al., 2012). Dentre os processos oxidativos avançados (POA) a reação de Fenton tem sido um dos mais pesquisados e já adotados comercialmente no tratamento de efluentes recalcitrantes caracterizados por altas DQO e salinidade, baixa biodegradabilidade e alta toxicidade como àqueles oriundos de indústrias farmacêuticas ou de cosméticos (CAVALCANTI, 2018; Sires et al., 2014; Rocha, 2014, Xu et al, 2020).

Combinando-se os processos avançados como um tratamento prévio ou posterior, pretende-se, em geral, apenas a transformação dos compostos tóxicos e/ou recalcitrantes em substâncias biodegradáveis ou em substâncias facilmente elimináveis (KAMMRADT, FERNANDES, 2004). Segundo Kunz (2002) os processos combinados podem ser utilizados de maneira complementar, de tal

forma que possam suprir deficiências apresentadas pelos processos quando aplicados isoladamente. Todavia, a oxidação Fenton pode ser usada em condições mais otimizadas como pré-tratamento antecedendo a uma depuração biológica quando o objetivo principal for privilegiar o aumento da biodegradabilidade e/ou a redução da toxicidade dos despejos deixando para a fase biológica a incumbência de reduzir a maior parte da matéria orgânica. Neste caso, esta associação pode ficar economicamente mais atrativa (CAVALCANTI, 2018). E ou utilizada como tratamento posterior com o intuito de remover compostos que pela etapa anterior ainda não houve a remoção total, com o caráter de polidez daquele efluente.

A otimização da dosagem dos reagentes Fenton tem sido alvo para diversas moléculas orgânicas. Experimentos utilizando-se o modelo de regressão linear segmentado com platô e o modelo de regressão quadrática segmentado com platô, que utilizam a técnica de resposta com platô a modelos que possuam mínimo tem sido crescente em experimentos de otimização (Peixoto et al, 2011; Souza et al 2014). Dessa forma, o objetivo deste trabalho avaliar o efeito das concentrações de H_2O_2/Fe^{2+} no Fenton após sistema WC no tratamento de esgoto para remoção de matéria orgânica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 TRATAMENTO FENTON

O experimento foi realizado em arranjo fatorial 5x5 (Tabela 1), sendo utilizadas cinco dosagens de H_2O_2 e cinco de Fe^{2+} , com 3 repetições. As dosagens em % utilizadas em ambos os fatores foram: 0, 25, 50, 75 e 100.

As amostras foram coletadas do sistema WC situado no Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, onde o efluente gerado é caracterizado como doméstico, logo, a Tabela 1 traz os parâmetros hidráulicos do WC.

Tabela 1: Dimensões do sistema WC- estudo de caso.

Parâmetro de projeto (WC)	VA	VC
N (hab) -	12	--
C (L.hab.d-1)	100	--
T (d) -	1	--
K (d) -	97	--
Lf (L.hab-1.d-1)	1	--
Período de limpeza (anos)-	2	--
Volume necessário (L) -	--	3364
Geometria do tanque -	Prismático	--
C/L -	2/I	--
Profundidade do tanque (m)	1,3	--
Comprimento do tanque (m)	--	2,2
Largura do tanque (m)	--	1,2
Volume do tanque (L)	--	3432

VA: Valor adotado; VC: Valor Calculado; N: número de pessoas contribuintes; C: contribuição de esgoto per capita; T: período de detenção; K: taxa de acúmulo de lodo digerido; Lf: contribuição de lodo fresco; C/L: relação comprimento e largura do tanque Fonte: SILVA e SOUZA, 2018.

2.2 OS PARÂMETROS FÍSICO- QUÍMICOS FORAM QUANTIFICADOS CONFORME APHA (2012). E O PARÂMETRO AVALIADO COMO CRITÉRIO DE EFICIÊNCIA DA REAÇÃO FENTON FOI O INDICADOR DE MATÉRIA ORGÂNICA (MO) UV NO COMPRIMENTO DE ONDA DE 254 NM.

Tabela 2: Dosagens dos reagentes da reação Fenton

Fe ²⁺ (%)	[Fe ²⁺] mg/L	H ₂ O ₂ (%)	[H ₂ O ₂] mg/L
0	0	0	0
25	125	25	250
50	250	50	500
75	375	75	750
100	500	100	1000

Condições de reação: volume de 1 L; pH=3,5; tempo 120 minutos e rotação 100 rpm. Fonte: Autores, 2024.

2.3 OTIMIZAÇÃO VIA MODELAGEM ESTATÍSTICA, SOFTWARE R:

Os dados inicialmente foram submetidos à análise exploratória e de resíduo considerando o efeito do peróxido, ferro e a interação entre ambos. Posteriormente, submetidos a análise de variância e desdobrados os efeitos, sendo verificado o ajuste dos modelos de regressão linear de primeiro grau, segundo grau, linear platô e quadrático platô. Foi utilizado os critérios de Akaike e Informação Bayesiana determinação do melhor modelo que explica o efeito do tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 parâmetros físico-químicos do efluente antes e após tratamento fenton.

		Tratamento Fenton					
		% remoção UV 254 nm					
H ₂ O ₂ %/ Fe ²⁺		0	25	33*	50	75	100
0		----	60,85		66,60	66,52	66,78
25		15,69	85,44		90,85	90,67	89,54
50		---	84,74		90,85	90,84	94,25
75		---	83,43		89,19	90,67	93,72
100		---	82,21		89,36	91,28	93,81
25*					92,79*		
Efluente WC antes Fenton		Efluente WC após Fenton*					
pH	6,23	pH		8,5			
DQO mg/L	8,33	DQO mg/L		---			
UV(254nm)	0,38233	UV(254nm)		0,0283			
Surfactante mg/L		Surfactante mg/L		0,85			

Fonte: Autores, 2024.

Tabela 4. Critério de Akaike e Informação Bayesina dos modelos ajustados com o desdobramento dos fatores.

Modelo estatístico	Teor de Fe ²⁺ %									
	0		25		50		75		100	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Linear	97,99	99,56	108,3	110,5	107,3	109,4	106,1	108,2	-61,52	-59,39
Quadrático	76,23	79,06	90,97	93,8	90,99	93,82	90,3	93,13	-85,4	82,57
Quadrático Platô	76,52	79,35	----	----	----	----	38,71	41,54	-118,9	116,1
Modelo estatístico	Teor de H ₂ O ₂ %									
	0		25		50		75		100	
	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Linear	117,1	119,3	138,4	140,5	143,3	145,5	142,6	144,7	142,18	144,3
Quadrático	95,1	97,83	117,9	120,8	125,3	128,2	124,6	127,4	123,16	126
Quadrático Platô	62,93	65,76	44,79	47,63	58,39	61,22	62,71	65,54	61,93	64,76

Na tabela 4 são apresentados os valores observados de Akaike e Informação Bayesina dos modelos ajustados com os desdobramentos dos fatores. Verificou-se que o modelo linear platô não ajustou em nenhum dos desdobramentos, e que o quadrático platô só não ajustou nos desdobramentos do peróxido dentro com teores de 25% e 50% de Fe.

Em relação aos resultados da dosagem do reagente fenton, entre os vinte cinco tratamentos, destaca-se que os ensaios com apenas dosagens de íons ferroso, houve aumento de remoção da MO (UV 254nm), isso se deve ao efeito de coagulante que esse sal exerce na matriz, sendo este efeito registrado em tratamento de água na estação de água (Matilainen et al., 2010, Sharp et al., 2006).

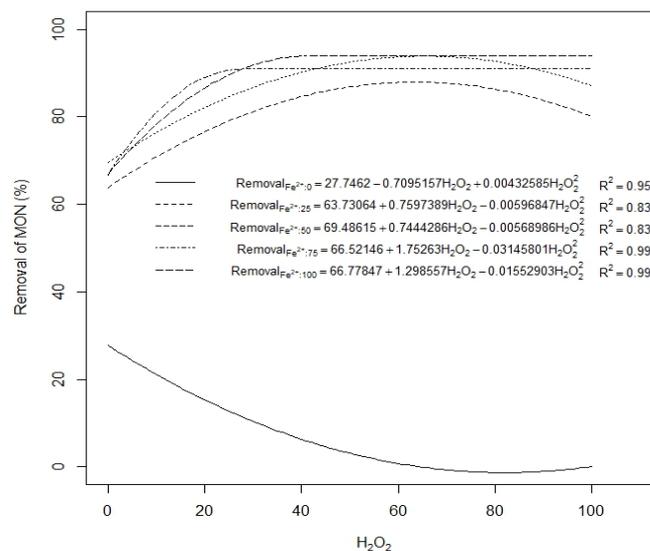
Na presença apenas H₂O₂ percebeu-se remoção apenas na condição de 25% deste, o peróxido tem o efeito de oxidante e sua eficiência depende de condições catalisadas para produção de oxidantes para degradar matéria orgânica (Pouzarmani et al., 215). Já nos teores de 25,50, 75 e 100% de H₂O₂/Fe²⁺ as melhores remoções se deram na proporção 1:1, crescente para dosagem de íons ferroso, removendo 90,85, 94,25, 93,72 e 93,81% de MO, respectivamente. A partir das análises estatísticas teve se os teores otimizados, sendo a melhor condição na proporção de 1:1,5 de H₂O₂/Fe²⁺, culminando numa remoção de 92,75 % de MO. A razão estequiométrica dos reagentes é o principal fator do processo Fenton (Nogueira et al. 2007; Gulkaya et al 2006; Bokare e Choi, 2014). Zhang et al (2005) utilizou a proporção de H₂O₂/Fe²⁺ de 1,5 para lixiviado de aterro.

A figura 1 traz os gráficos dos efeitos do teor de peróxido e de ferro e a incidência na remoção de MO. O desdobrando H₂O₂ dentro do ferro (Figura 1 a), verificou-se que dentro da dosagem de íons ferroso 0, 25 e 50 (%), o modelo quadrático foi o que melhor ajustou para explicar o efeito do H₂O₂. Na ausência de íons ferroso, o teor de MO aumentou de forma quadrática conforme o aumento de teor do H₂O₂, não havendo remoção da mesma. Para dosagem de 25% de Fe²⁺ a remoção de MO cresce de forma quadrática até o teor de 63,64% de H₂O₂, proporcionando a remoção de 87,91% de MO. Para dosagem de 50 % de Fe²⁺ a MO é removida de forma quadrática até o teor de 65,41% de H₂O₂, equivalente a remoção de 93,84 % de MO. Logo nas dosagens de 75 e 100 % de íons ferroso, a MO teve comportamento quadrático platô com a adição de H₂O₂. Com 75% de Fe²⁺, a MO reduz de forma quadrática até 27,86% de H₂O₂ correspondendo a remoção de 90,93% de MO. Já para a dosagem de

100% de Fe^{2+} (%) a MO decresceu de forma quadrática até o teor de H_2O_2 igual a 36,68%, equivalente a remoção de 91,48%.

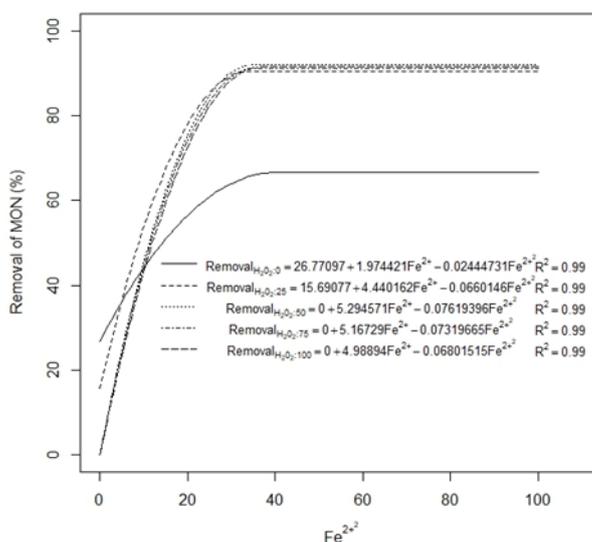
Desdobrando o efeito do teor de íons ferroso (%) sobre o H_2O_2 (Figura 2), verificou-se que em todos os tratamentos prevaleceu o comportamento quadrático platô em relação a remoção da MO. Na dosagem de H_2O_2 (%) igual a zero, a remoção de MO aumentou de forma quadrática platô conforme aumento de teor do ferro, demonstrando que o teor de Fe^{2+} igual a 40,38% atinge 66,64% de remoção e mantém constante posteriormente. Para o teor de 25 % de H_2O_2 , a removeu 90,35% de MON na presença de 33,63% de íons ferroso, mantendo constante a remoção posterior a esse teor. Logo, para o teor de 50% H_2O_2 , o aumento foi crescente até 91,97% com o teor de 34,74% de Fe^{2+} , e não alterando após esse valor. No caso das dosagens de 75 e 100 % de H_2O_2 , a % a remoçã teve comportamento quadrático platô com a adição de íons ferroso. Respectivamente o teor de remoção de MO ficou acima de 90% e a quantidade limite de íons demonstrada pela análise foram de 29 e 36,68% de Fe^{2+} .

Figura 1: Efeitos do teor de peróxido e de ferro e a incidência na remoção de MO: desdobrando H_2O_2 dentro do ferro, uso do software R.



Fonte: Autores, 2024

Figura 2: Efeitos do teor de peróxido e de ferro e a incidência na remoção de MO: desdobrando íons Fe^{2+} dentro do H_2O_2 , uso do software R



Fonte: Autores, 2024

4 CONCLUSÃO

A partir dessa investigação conclui-se que deve utilizar ferramentas estatísticas para otimizar a dosagem dos reagentes para a reação Fenton, sendo que a mesma demonstra que há interação entre os dois reagentes, dosagem de ferro e dosagem do peróxido, em condições fixas de pH igual a 3,5, tempo de reação de 120 minutos e volume de 1 litro. A melhor dosagem para o tratamento proposto é na proporção de 1,5 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$. E há viabilidade de adequar como pós tratamento em um sistema WC o tratamento fenton, promovendo esta remoção de compostos recalcitrantes como indicado no trabalho, os surfactantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pela bolsa de Iniciação científica edital IF Goiano PIBITI 2020/2021, CeMA, FAPEG, Laboratório de Águas e Efluentes e Laboratório de Saneamento Ambiental e aos Programs de Pós Graduação Stricto Sensu IF Goiano Campus Rio Verde: PPGAq, PPGEAS e PPGZ



REFERÊNCIAS

BATISTA, H.; SANTANA, D. A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE-PB, COM UM ENFOQUE NO ESGOTAMENTO SANITÁRIO CAJAZEIRAS -PB 2014. [s.l.]: , [s.d.]. Disponível em: <http://www.cfp.ufcg.edu.br/geo/monografias/HENRIQUE%20BATISTA%20DE%20SANTANA.pdf> >.

BOKARE, A. D.; CHOI, W. Review of iron-free Fenton-like systems for activating H₂O₂ in advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 275, 121-135, 2014.

CAVALCANTI JOSÉ, E; DE, E, A. PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA) MODELO DE TRATAMENTO ASSOCIANDO O PROCESSO FENTON COM DEPURAÇÃO BIOLÓGICA. [s.l.]: , [s.d.].2018. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/05/PROCESSOS-OXIDATIVOS-AVAN%C3%87ADOS-REA%C3%87%C3%83O-DE-FENTON.pdf>>. Acesso em: 26 Jul. 2021.

CARVALHO, P. Wetlands (Jardins Filtrantes) para Tratamento de Esgotos. Portal Tratamento de Água. 2019. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-wetland/#:~:text=Dentro%20de%20um%20sistema%20wetland,org%C3%A2nica%3B%20decomposi%C3%A7%C3%A3o%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%3B>>. Acesso em: 27 Aug. 2021.

CHONG M.N, SHARMA A.K, BURN S AND SAINT C.P, Feasibility study on the application of advanced oxidation technologies for decentralised wastewater treatment. *J. Cleaner Prod.* 35, 230–238, 2012.

FERREIRA, C. A; PAULO, P. L. Eficiência de wetlands construídos para o tratamento domiciliar de água cinza com configuração diferenciada. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, p.1,2, Campo Grande – MS, 2009

GULKAYA, I.; SURUCU, G.A.; DILEK, F. B. Importance of H₂O₂/Fe²⁺ ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater. *Journal of Hazardous Materials B136* (2006) 763–769

KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L., 1996. *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, p.893

KAMMRADT, P.B e FERNANDES, C.V.S., Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2004.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; DE MORAES, S. e DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v.25, n. 1, p.78-82, 2002.

LEONETI, A. B; PRADO, E. L; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*.Rio de Janeiro: FGV – EBAPE, mar./abr. 2011.

MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. “Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review”, *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 159, No. 2, pp. 189–197, 2010.

MELO JÚNIOR, A. S.; NASCIMENTO, P. C.; DIAS, C. J.; RIBEIRO, K. A.; MERIJ, A. C.; GAMA, S. M. Qualidade No Tratamento De Esgoto Doméstico Por Wetland. *Inovae*, Vol.7, pp. 20-39, 2019



MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 625 p, 2002.

PEIXOTO, A. P. B.; FARIA, G. A.; MORAIS, A. R. DE. Using of regression plateau models in estimation of plot sizes for experiments with passion fruit. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.11, p.1907-1913, nov, 2011

POURZAMANI, H.; MAJD, A.M.S. ; ATTAR, H.M.; BINA, B. Natural Organic Matter Degradation Using Combined Process of Ultrasonic and Hydrogen Peroxide Treatmen. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 38 - 1 / 2015 p. 63-72

SALATI, E; FILHO, E. S; SALATI, E. Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas. Instituto Terramax - Consultoria e Projetos Ambientais LTDA, p.1-15, Piracicaba/SP, 04 de Abril de 2009

SHARP EL, PARSONS SA, JEFFERSON B. *Environ Pollut* 2006;140:436

Sirés, I., Brillas, E., Oturan, M.A. RODRIGO, M. A.; PANIZZA, M. Electrochemical advanced oxidation processes: today and tomorrow. *A review. Environ Sci Pollut Res* 21, 8336–8367 (2014).

SOUZA, F. A.DE; MALHEIROS, E. B.; CARNEIRO, P. R. O. Positioning and number of nutritional levels in dose-response trials to estimate the optimal-level and the adjustment of the models. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.44, n.7, p.1204-1209, jul, 2014

SOUZA. E. J. C. O que são Wetlands e como funcionam? *Blog 2 Engenheiros | Engenharia Ambiental e Divulgação Científica*. 2019.

XU, M.; WU, C.; ZHOU, Y. Advancements in the Fenton Process for Wastewater Treatment, *Advanced Oxidation Processes - Applications, Trends, and Prospects*, Ciro Bustillo-Lecompte, IntechOpen,, 2020.

ZHANG, H.; CHOI, H.J; HUANG, C.P.; Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate, *J. Hazard. Mater.* 125 (2005) 166– 174

WETZEL, R. Constructed wetlands: Scientific foundations and critical. In: Moshiri, G.A ed. *Constructed Wetlands for water Improvement*. Pensacola, Florida. 2009, 1-8 p. 1.