

## II-123 - APLICACAO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NO ESTUDO DO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS, CONTENDO CORANTES ALIMENTÍCIOS, USANDO O PROCESSO FOTO-FENTON

**Fernando Fernandes Vieira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico (UEPB). Mestre em Engenharia Química (UEPB). Doutorado em Engenharia Mecânica (UEPB). Professor Associado-A do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

**Carlos Antônio Pereira de Lima**

Engenheiro Químico (UEPB). Mestre em Engenharia Química (UEPB). Doutorado em Engenharia Mecânica (UEPB). Professor Associado-A do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

**Geralda Gilvania Cavalcante**

Engenheira Química (UEPB). Mestre em Engenharia Química (UEPB). Doutorado em Engenharia Mecânica (UEPB). Professora Associada-A do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

**Hélder de Carvalho da Silva Fernandes**

Engenheiro Químico (UFCG). Mestre em Engenharia Química (UFCG). Doutorando em Engenharia Química (UFCG)

**Heyde Dayzzyanne Paolly P. Leal Medeiros**

Química Industrial (UEPB)

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Acre, 545 – Liberdade – Campina Grande - PB - CEP: 58414-260 - Brasil - Tel: (83) 98852-1461 - e-mail: [fernando@uepb.edu.br](mailto:fernando@uepb.edu.br)

### RESUMO

No que diz respeito a indústria alimentícia, a mesma usa em seus processos uma grande variedade de substâncias não-biodegradáveis. Dentre estas substâncias destacam-se os corantes e pigmentos, os quais são geralmente compostos orgânicos de estrutura complexa. Deste modo os processos alternativos para o tratamento de efluentes vêm despertando grande interesse na área científica, dentre os quais se destacam os Processos Oxidativos Avançados (POA), que são baseados na formação de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) um agente altamente oxidante. Estes processos têm chamado a atenção de muitos pesquisadores, devido a sua alta flexibilidade, pois podem ser aplicados a uma grande variedade de problemas. Este trabalho de pesquisa, teve como objetivo avaliar a aplicabilidade dos Processos Oxidativos Avançados (Fenton e Foto-Fenton) no tratamento de efluentes contendo corantes usados na industria alimentícia. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) do CCT/UEPB. Foi utilizado um reator tipo tanque operando em Batelada e como fonte de radiação ultravioleta, foram usadas lâmpadas germicidas. Em cada experimento foram utilizados 500 ml da amostra bruta do efluente sintético com corante alimentício e estudado a influência dos seguintes parâmetros operacionais: pH, Concentração do corante, concentração do catalisador, condutividade elétrica e taxa de incidência de radiação UV. Os experimentos duravam 3 horas e a cada 30 minutos, foram retiradas amostras para determinação da redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados obtidos mostraram que a taxa de degradação do corante depende das concentrações de ferro, peróxido de hidrogênio e da taxa de radiação ultravioleta. Concluímos de acordo com os resultados obtidos que os Processos Oxidativos Avançados (Fenton e Foto-Fenton) apresentam-se como uma promissora tecnologia para o tratamento de efluentes de corante alimentício onde os mesmos podem ser utilizados em conjunto com outras formas de tratamentos, para obter taxas de degradação mais elevadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processos Oxidativos Avançados, Corantes Alimentícios, Processo Foto-Fenton.

### INTRODUÇÃO

Tem-se percebido nos últimos tempos um aumento na preocupação com o meio ambiente em vários aspectos, e entre os setores que mais merecem atenção, sem dúvida se destaca o setor industrial, tendo em vista uma grande quantidade de compostos tóxicos e poluidores, orgânicos ou inorgânicos, que são lançados no meio ambiente em virtude de tal atividade.

Vários movimentos oriundos de reivindicações populares, bem como de determinações estatais, através de alterações na legislação ambiental e mesmo a participação de empresas mais interessadas no que se refere à conscientização ambiental vem influenciando as indústrias a desenvolverem alternativas de biodegradação mais eficientes e menos custosas para o seu tratamento, condizentes com a preservação ambiental e eliminação de poluidores resultantes de suas atividades.

A indústria alimentícia usa em seus processos uma grande variedade de substâncias não-biodegradáveis, como os corantes e pigmentos, utilizados com a intenção de aumentar a atratividade de seus produtos e a aceitabilidade dos consumidores. Os corantes são geralmente compostos orgânicos de estrutura complexa que exigem o desenvolvimento de tratamentos suficientes para degradar satisfatoriamente tais compostos.

Os processos biotecnológicos convencionais muitas vezes não são capazes de degradar tais compostos, uma vez que os corantes em sua maioria são derivados de moléculas aromáticas, de difícil degradação, o que vem a ocasionar inibição e/ou paralisação do metabolismo de certos microorganismos (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Podem-se citar os processos físico-químicos, caracterizados por métodos de separação de fases: sedimentação, decantação, filtração, centrifugação, coagulação e flotação dos resíduos. Vários dos processos utilizados no tratamento de efluentes industriais envolvem adição de insumos químicos, gerando, em muitos casos, lodo ao seu final (DEZOTTI, 2003).

Como alternativa a ser usada, estão os processos oxidativos avançados, entre eles destacam-se o processo Fenton que se caracteriza na geração de radicais livres muito reativos em solução aquosa, os radicais hidroxilas ( $\bullet\text{OH}$ ), altamente oxidantes, formados pela reação entre o Ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e o processo Foto-Fenton que se caracteriza na geração de radicais hidroxilas, formados pela reação entre o Ferro e peróxido de hidrogênio na presença de luz ultravioleta (ALATON et al, 2002, CRUZ, 2000).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade dos processos Fenton e Foto-Fenton em escala de bancada, na descoloração e degradação do azo-corante alimentício verde hortelã, avaliando a influência de diversos parâmetros operacionais tais como: tempo, pH, concentração de Ferro (+2) e Peróxido de Hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), e da Luz Ultravioleta no caso do Foto-Fenton, sobre a taxa de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO), minimizando o impacto causado por esse efluente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Química (DQ) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

Foi feito um experimental do tipo fatorial, cujo objetivo foi o de determinar o número de experimentos a ser realizado, cujo objetivo foi o de determinar o número de experimentos a serem realizados, para que fosse possível avaliar a influência dos diversos parâmetros operacionais, sobre o desempenho do tratamento.

**Quadro 1: Variáveis analisadas para determinação de número de experimentos.**

Processo	Variáveis Analisadas
Processo Fenton	✓ Concentração de Fe (+2)
	✓ Concentração de $\text{H}_2\text{O}_2$
	✓ Tempo
	✓ pH
Processo foto-Fenton	✓ Concentração de Fé (+2)
	✓ Concentração de $\text{H}_2\text{O}_2$
	✓ Tempo
	✓ Taxa de Radiação Ultravioleta

Foi utilizado um reator fotocatalítico do tipo tanque operando em batelada, em escala de bancada que possui uma câmara possuindo 3 lâmpadas com radiação ultravioleta, e sistema de agitação magnética. Conforme figura 01.



**Figura 01: Sistema Experimental**

#### **PREPARAÇÃO DO EFLUENTE SIMULADO:**

Em todo o estudo foi utilizado um efluente sintético, com as características semelhantes às encontradas em um efluente real de uma indústria alimentícia. O efluente foi preparado a partir do corante alimentício de Coralim de cor Verde Hortelã da indústria de corantes Mix, de concentração 250mg/L para o processo Fenton, e 1000 mg/L para o processo foto-Fenton.

#### **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO EFLUENTE SINTÉTICO:**

A caracterização do efluente antes e após a realização dos processos de tratamentos, foi feita mediante a determinação dos seguintes parâmetros: pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Cor e Condutividade Elétrica, sempre usando a metodologia proposta pelo Standard Methods (APHA, 1995).

#### **REAGENTES**

Os reagentes utilizados para os ensaios de degradação Fenton e foto-Fenton foram o sulfato ferroso amoniacal (marca CINÉTICA) e o  $H_2O_2$  (marca VETEC).

#### **TRATAMENTO USANDO O PROCESSO FENTON:**

Para a realização do tratamento empregando o processo Fenton, usou-se um reator do tipo fotocatalítico operando em batelada, com um béquero de capacidade 1000 mL com um agitador magnético contendo o corante sintético. Nesta etapa foram investigadas as influências dos seguintes parâmetros operacionais: tempo, pH, concentração de Ferro (+2) e Peróxido de Hidrogênio. Foram retiradas amostras a intervalos de tempos regulares de 30 minutos, ao final de 3 horas realizou-se a caracterização física e química do efluente tratado, analisando condutividade elétrica, pH, determinação da cor e a demanda química de oxigênio (DQO).

#### **TRATAMENTO USANDO O PROCESSO FOTO FENTON:**

Para realização do tratamento empregando o processo foto-Fenton usou-se um reator do tipo fotocatalítico operando em batelada, com um béquero de capacidade 1000mL com um agitador magnético contendo o corante sintético. Nesta etapa foram investigadas as influências dos seguintes parâmetros operacionais: tempo, concentração de Ferro (+2), Peróxido de Hidrogênio e Taxa de radiação Ultravioleta de 1,77 e 4,22 mW/cm<sup>2</sup>. Foram retiradas amostras a intervalos regulares de 60 minutos, ao final de 3 horas, realizou-se a caracterização física e química do efluente tratado, analisando condutividade elétrica, pH, determinação da cor, concentração e a demanda química de oxigênio (DQO).

## RESULTADOS E DISCUSSOES

Dentre os diversos Processos Oxidativos Avançados, o sistema Fenton oferece grandes vantagens na produção de radical hidroxila, principalmente, devido a sua simplicidade de aplicação.

Dentre os experimentos foi ajustado o pH do efluente variando entre pH neutro e pH 3, bem como a concentração de  $\text{Fe}(+2)$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  a ser utilizado.

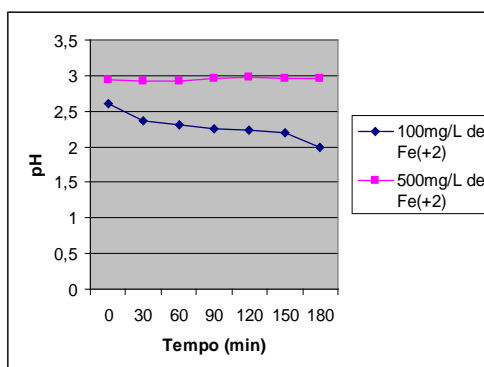
**Tabela 1: Experimentos analisados**

Experimento	pH	Fe (+2)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
1	7	100	100
2	7	500	100
3	3	100	100
4	3	500	100
5	3	500	500

### Influência da concentração de $\text{Fe}(+2)$

As seguintes figuras mostram a influência da concentração de  $\text{Fe}(+2)$  no pH, condutividade elétrica, absorvância e DQO no decorrer de 3 horas de análise no corante verde hortelã, em experimentos com pH inicial neutro e concentração de peróxido de hidrogênio 100mg/L. A variação de concentração de  $\text{Fe}(+2)$  nas análises foram de 100mg/L e 500mg/L.

**Figura 02: Variação do pH no decorrer da análise com influência da concentração de  $\text{Fe}(+2)$ .**



**Figura 03: Variação da Condutividade Elétrica no decorrer da análise com influência da concentração de  $\text{Fe}(+2)$ .**

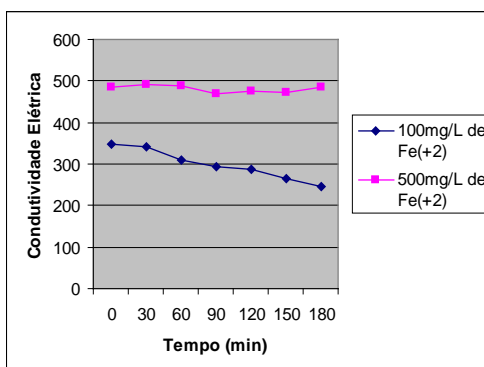


Figura 04: Variação da absorbância no decorrer da análise com influência da concentração de Fe(+2).

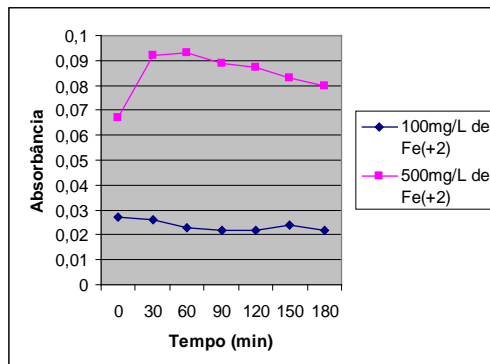
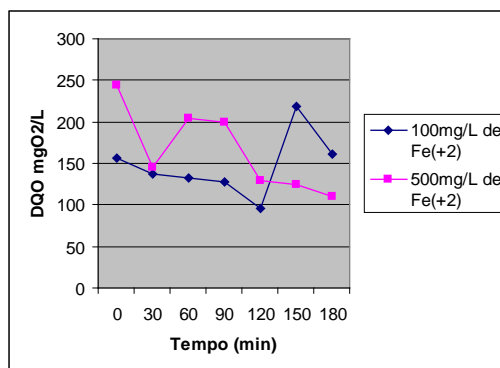


Figura 05: Variação da DQO no decorrer da análise com influência da concentração de



Observa-se com relação à absorbância, que houve uma decaída mais visível no experimento de concentração de Fe(+2) e peróxido 100mg/L, isso ocorreu devido às quantidades de reagente Fenton estarem na proporção estequiométrica de (1:1) conforme podemos observar que para cada mol de íon ferroso é necessário um mol de peróxido de hidrogênio para que ocorra a formação de um mol de radical hidroxila o que conduz a uma melhor remoção de cor. No experimento com 500mg/L de Fe(+2), o decaimento da absorbância não foi muito satisfatório.

#### Influência da concentração de peróxido de hidrogênio.

As seguintes figuras mostram a influência da concentração de  $H_2O_2$  no pH, condutividade elétrica, absorbância e DQO no decorrer de 3 horas de análise no corante verde hortelã, em experimentos com pH inicial 3 e concentração de Fe(+2) 500mg/L. A variação de concentração de  $H_2O_2$  nas análises foram de 100mg/L e 500mg/L.

Figura 06: Variação do pH no decorrer da análise com influência da concentração de  $H_2O_2$ .

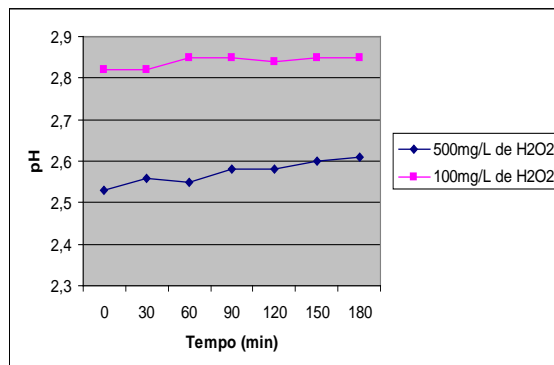


Figura 07: Variação da Condutividade Elétrica no decorrer da análise com influência da concentração de  $H_2O_2$ .

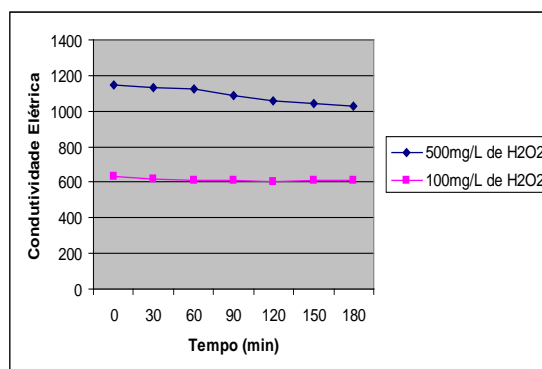
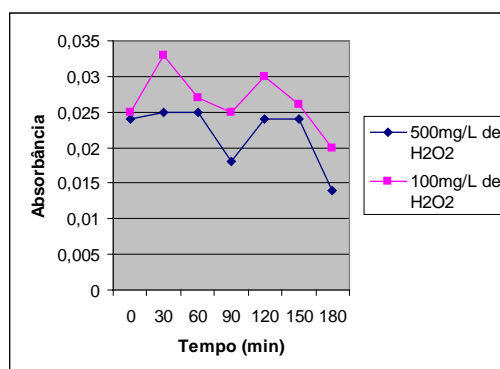
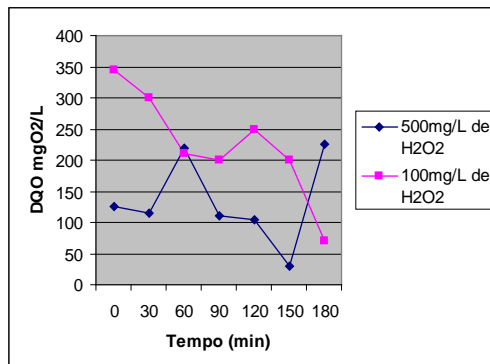


Figura 08: Variação da absorbância no decorrer da análise com influência da concentração de  $H_2O_2$ .



**Figura 09: Variação da DQO no decorrer da análise com influência da concentração de  $H_2O_2$ .**



No experimento de concentração 500mg/L de peróxido de hidrogênio apresentou uma remoção de 81 % de DQO, no caso do experimento de concentração de peróxido 100mg/L, a relação da quantidade de sulfato ferroso é cinco vezes a quantidade de  $H_2O_2$  onde se verificou uma remoção de 76% da DQO devido à quantidade de ferro ser insuficiente, logo ferro está em excesso.

Observando a queda no pH do experimento de concentração 500mg/L de peróxido, percebe-se o aumento da condutividade elétrica através do aparecimento de espécies ácidas contribuindo para este aumento.

## CONCLUSÕES

Os melhores resultados no processo Fenton ocorreram, nos ensaios de degradação utilizando pH 3, 500mg/L de Ferro(+2) e 500mg/L de Peróxido de Hidrogênio, onde se verificou uma maior remoção da DQO da amostra do corante alimentício porque o meio ácido permite uma eficiente remoção da matéria orgânica em combinação com maior concentração e em proporções estequiométricas de reagentes, em comparação com o experimento utilizando pH neutro, 100mg/L de Ferro(+2) e 100mg/L de peróxido de hidrogênio onde ocorreu uma menor remoção da DQO, uma vez que o pH tem um efeito bastante considerável sobre o processo Fenton, fazendo com que determinadas reações sejam mais ou menos favorecido. Portanto, o controle dessa variável é de grande importância para o sistema de remoção, já que os melhores resultados foram nessa faixa de pH.

Os ensaios de degradação utilizando o sistema Foto-Fenton obtiveram os melhores resultados utilizando irradiação UV de 1,77 mW/cm<sup>2</sup>, 50mg/L de Ferro(+2) e 50mg/L de Peróxido de Hidrogênio, onde verificou-se que menor irradiação já proporciona uma boa degradação em combinação com concentrações mais altas de reagentes. O experimento de resultado menos satisfatório analisado foi utilizando irradiação UV de 4,22 mW/cm<sup>2</sup>, 10mg/L de Peróxido de Hidrogênio e 50mg/L de Ferro(+2), comprovando que para uma boa degradação uma menor irradiação já é suficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALATON, I.A.; BALCIOGLU, I.A.; BAHNEMANN, D.W., (2002) **Advanced oxidation of a reactive dyebatch effluent: comparison of  $O_3$ ,  $H_2O_2$ /UV-C and  $TiO_2$ /UV-A process**. Water Research, v. 36, p. 1143-1145.
2. CRUZ, R.M. Reativo de Fenton e Foto-Fenton em efluente de alta salinidade”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), COPPE, UFRJ, 2000.
3. GUARATANI, C., ZANONI, M. (2000), Corantes Têxteis. Química Nova. V. 23.
4. GOI, A. and TRAPIDO, M. (2002). Hydrogen peroxide photolysis, Fenton reagent and photo-Fenton for the degradation of nitro phenols: a comparative study. Chemosphere 46, pp. 913-922.
5. DEZOTTI, M. Apostila do Curso da Escola Piloto: Técnicas de Controle Ambiental em efluentes líquidos – Processos Oxidativos Avançados. Escola Piloto Virtual, PEQ, COPPE, UFRJ, 2003.