

## Tratamento de efluente de indústria de processamento de batata por processo foto-Fenton heterogêneo utilizando ferrita de pilhas descartadas

Hellen L. de Castro e Silva, Flávio S. Silva, Rossano Gimenes, Márcia M. Kondo, Milady R. A. da Silva<sup>1</sup>

**Resumo:** Este trabalho trata da degradação do efluente de uma indústria de processamento de batatas da região de Itajubá (MG), que é um polo de batata processada. A escolha desse efluente baseia-se no fato de empresas da região estarem em busca de um destino final mais adequado para esse tipo de rejeito. Apesar de não tóxico, se este tipo de efluente não for tratado corretamente, pode contribuir para o desaparecimento de nascentes, aparecimento de odor desagradável nos rios e danos à fauna e à flora local. O presente estudo possui como finalidade avaliar se a ferrita de pilha é eficaz no tratamento de efluente de indústria de processamento de batatas. Dessa forma, utilizaram-se diferentes catalisadores:  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  e Ferrita, diferentes concentrações  $\text{H}_2\text{O}_2$  (15 e 30  $\text{mmol L}^{-1}$ ) com presença e ausência de radiação solar em diferentes tempos de tratamentos do efluente de batata com valor de pH ajustado em 2,5. Obteve-se uma eficiência de aproximadamente 32% de mineralização dos compostos orgânicos do efluente durante os primeiros dez minutos, evidenciando a eficácia da ferrita como catalisador do processo, além de mudanças significativas na cor do efluente (deixando-o transparente) e eliminação do cheiro fétido. Além disso, as ferritas puderam ser recuperadas ao final do processo pela aplicação de um campo magnético, evitando dessa forma, a liberação de catalisador no efluente e permitindo o seu reuso.

**Palavras-chave:** Processos Oxidativos Avançados. Processo foto-Fenton heterogêneo. Efluente de processamento de batatas. Ferrita. Tratamento de efluente.

**Abstract:** This work deals with the degradation of effluent of a potato processing industry from Itajubá (MG) region, which is a processed potato pole. The choice of this effluent is based on the fact that companies in the region are in search of a final destination more suitable for this type of waste which causes damage to fauna and flora. Although not toxic, if this type of effluent is not treated correctly it can contribute to the disappearance of springs, the appearance of unpleasant odors in the rivers and damage to the local fauna and flora. The present study has the purpose to evaluate if the battery ferrite is effective in the treatment of effluent of the potato processing industry. Therefore, different catalysts were used:  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  and Ferrite, different  $\text{H}_2\text{O}_2$  (15 and 30  $\text{mmol L}^{-1}$ ) concentrations with and without solar radiation in different treatment times of the potato effluent with pH value adjusted in 2.5. Approximately 32% of mineralization of the effluent organic compounds were reached during the first ten minutes, demonstrating the effectiveness of ferrite as a catalyst in the process, as well as significant changes in the effluent color and elimination of the odor. In addition, the ferrites could be recovered at the end of the process by applying a magnetic field, thus avoiding the release of catalyst in the effluent and allowing its reuse.

**Keywords:** Advanced Oxidative Processes. Heterogeneous photo-Fenton processes. Potatoes processing effluent. Ferrite. Effluent Treatment.

<sup>1</sup> Instituto de Física e Química, Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.  
Autora correspondente: [milady@unifei.edu.br](mailto:milady@unifei.edu.br)

## INTRODUÇÃO

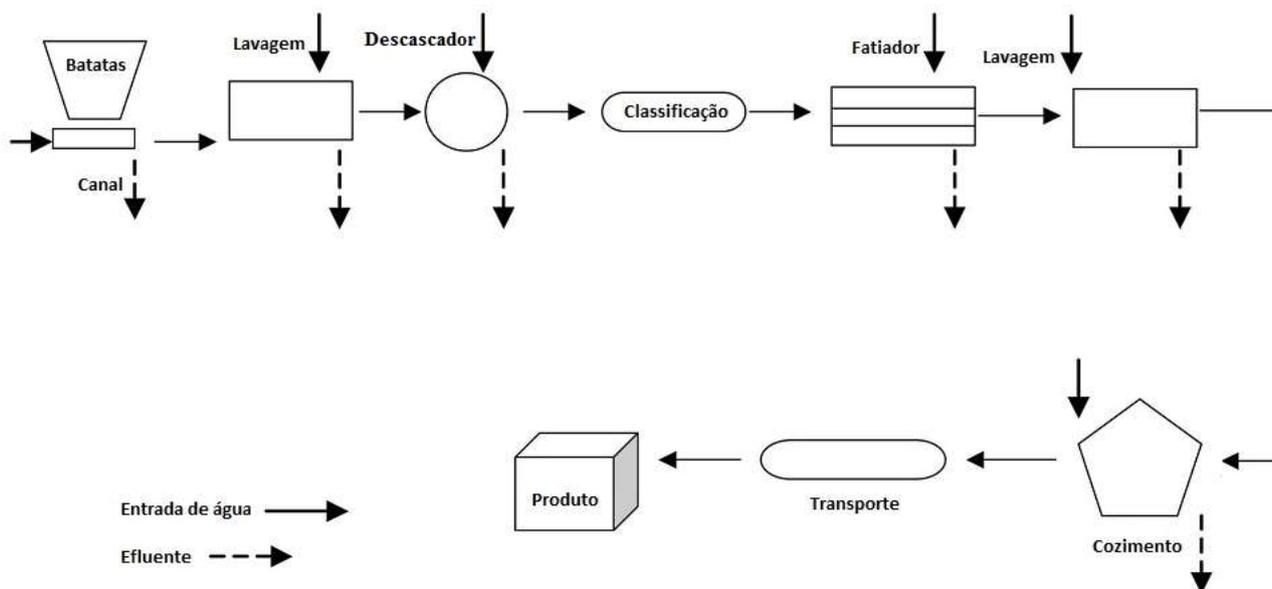
No Brasil, no ano de 2016, foi estimada a produção de 3 milhões de toneladas de batatas, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor<sup>1</sup>. Além disso, o estado de Minas Gerais é também o maior produtor de batata processada no Brasil e o número de empresas dedicadas a esse setor cresce cada vez mais<sup>2</sup>.

O processamento da batata gera muito resíduo, pois aproximadamente 1/3 da produção incluindo casca e polpa são descartados<sup>3</sup>. Assim, o principal componente do efluente gerado é o amido.

O efluente contendo amido possui elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e não pode ser descartado sem tratamento adequado em recursos hídricos. Os grânulos de amido são insolúveis em

água fria e dilatam-se por absorção de água em até 25%. Sob certas condições, eles podem criar uma suspensão coloidal. Essas características tornam difícil o tratamento desses resíduos<sup>4</sup>. Apesar de não tóxico, o não tratamento ou o tratamento inadequado desse tipo de efluente pode causar problemas como o desaparecimento de nascentes, aparecimento de odor desagradável nos rios em época de seca e, conseqüentemente, danos à fauna e à flora local.

Por outro lado, o processamento de batata (Figura 1) usa grandes quantidades de água, como exemplo, em seu processo de lavagem. Dessa forma, existe uma demanda para diminuição e/ou reuso da água nas indústrias de batata<sup>5</sup>.



**Figura 1.** Etapas de processamento da batata<sup>5</sup>, que gera enormes quantidades de efluentes.

As grandes empresas têm aplicado diversos tipos de tratamento para esse efluente, como tratamento anaeróbico, sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, utilização do resíduo sólido na agricultura como biomassa<sup>6</sup>. No entanto, as pequenas empresas praticamente não possuem tratamento e as que o possuem fazem o tratamento físico-químico, que não é eficiente para esse tipo de efluente.

Assim, há a necessidade de desenvolver novos métodos de tratamento para esse tipo de efluente, menos onerosos, mais eficazes, que diminuam os impactos gerados na natureza e que gerem a menor quantidade possível de subprodutos.

Os processos oxidativos avançados (POA) têm sido eficientes no tratamento de efluentes complexos<sup>7</sup>. O processo Fenton é um POA que utiliza a reação entre  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (pH = 2,5 – 3,0) para geração de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), que reagem de forma rápida e não seletiva com quase todos os compostos orgânicos transformando-os em compostos não tóxicos, como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e ânions inorgânicos. Esse processo é melhorado com a aplicação de radiação, processo denominado de foto-Fenton<sup>8,9,10,11</sup>.

Catalisadores sólidos têm sido utilizados em processos Fenton e foto-Fenton<sup>12</sup>, sendo interessante o emprego de ferritas como catalisadores no processo

heterogêneo de Fenton, pois são óxidos ferromagnéticos podendo ser separados da solução através da utilização de um campo magnético externo, evitando a liberação do catalisador no efluente<sup>13</sup>. Ferritas de zinco-mangânês sintetizadas a partir da reciclagem de pilhas descartadas têm sido empregadas como catalisadores no processo heterogêneo de Fenton<sup>14</sup>.

Poucos trabalhos são reportados na literatura que tratam efluentes de batata utilizando processo oxidativo avançado. Vlyssides e colaboradores<sup>15</sup> hidrolisaram o efluente do processamento de batata através de reagentes de Fenton obtendo a produção de glicose e de outros compostos biodegradáveis.

Neste trabalho, avaliou-se o processo foto-Fenton heterogêneo utilizando como catalisador ferritas de pilhas para o tratamento de efluente de uma indústria de processamento de batata da região de Itajubá (MG).

## METODOLOGIA

### *Materiais*

Nos experimentos, foram utilizados: ácido cítrico (Synth), ácido bórico (Synth), ácido sulfúrico (Química Moderna);  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (Synth), hidróxido de sódio (Synth); etilenoglicol (Synth); e peróxido de hidrogênio 30% (Merck).

### *Síntese de ferritas Zn-Mn*

A síntese da ferrita baseou-se no método citrato precursor, em que os íons metálicos foram complexados com um ácido carboxílico e esterificado com etilenoglicol. Posteriormente, a resina poliéster formada foi calcinada em forno (DIGIMEC – FHMP) com atmosfera oxidante (ar comprimido) na temperatura adequada<sup>13,14</sup>.

### **Amostragem e armazenamento do efluente**

A coleta do efluente na indústria de processamento de batatas foi realizada utilizando-se um galão de 20 L após a decantação do amido por precipitação por gravidade (sem prévio tratamento químico). A partir de uma análise preliminar, observou-se que sua cor era esverdeada, com forte odor fétido, contendo algumas partículas sólidas em

suspensão. Durante todo o período do trabalho, o efluente foi armazenado em câmara fria (4°C). As análises foram realizadas no Centro de Estudos em Qualidade Ambiental (CEQUAM-UNIFEI).

### *Caracterização físico-química do efluente*

Dentre os parâmetros químicos de caracterização do efluente industrial foram analisados: demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Também foram avaliados os parâmetros: pH, sólidos totais, sólidos voláteis, sólidos fixos, carbono orgânico total (COT) e quantidade de nitrogênio na amostra. A determinação da DQO foi feita utilizando-se o método colorimétrico<sup>16</sup>. A DBO foi determinada pelo método da diluição e incubação a 20 °C por 5 dias<sup>17</sup>. A mineralização da matéria orgânica na solução durante a fotodegradação foi monitorada por determinações de COT em um analisador de carbono modelo Multi N/C 2100S (Analytik Jena). A determinação da quantidade de sólidos fixos, voláteis, totais e sedimentáveis também foi feita utilizando os métodos previsto no Standard Methods<sup>16,17</sup>. A determinação da concentração de nitrogênio na amostra foi realizada pelo método de Kjeldahl<sup>18,19</sup>.

### *Experimentos de degradação do efluente do processamento de batata*

Os experimentos de degradação foram efetuados utilizando processo homogêneo, tendo nitrato férrico hidratado ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) na concentração de 0,030% (m/v) como catalisador e também catalisador heterogêneo ferrita de pilha 0,10% (m/v). As concentrações de peróxido de hidrogênio utilizadas foram 15 e 30 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. Os experimentos foram realizados na ausência e presença de radiação solar durante 2 horas de reação, em que alíquotas da amostra foram analisadas em diferentes tempos. Essas concentrações foram baseadas em artigo da literatura<sup>3</sup> que apresentava processos Fenton e foto-Fenton de efluentes contendo concentrações de DQO próximas à do efluente em questão.

### Avaliação das variáveis na degradação do efluente

O método de planejamento experimental Fatorial Fracionário<sup>20</sup> foi utilizado para estudar o efeito das variáveis na degradação do efluente de batata. Examinaram-se 4 fatores em dois níveis. Diferentes catalisadores:  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (0,030% m/v) e Ferrita (0,10% m/v), diferentes concentrações de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (15 e 30  $\text{mmol L}^{-1}$ ), na presença/ausência de radiação solar em diferentes

tempos de tratamentos (10 e 120 minutos) em 250,00 mL de efluente de batata filtrado com valor de pH ajustado em 2,5 (com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1  $\text{mol L}^{-1}$ ). A resposta estudada foi em termos de COT. A análise estatística foi efetuada no software Statistica 7<sup>®</sup>. A

**Tabela 1.** Variáveis (Tempo, Catalisador,  $\text{H}_2\text{O}_2$  e Radiação Solar) em diferentes níveis para o estudo de degradação do efluente de batata

Variáveis	Níveis	
	-1	+1
Tempo (min)	10	120
Catalisador (m/v)	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 0,030%	Ferrita 0,10%
$\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{mmol L}^{-1}$ )	15	30 $\text{mmol L}^{-1}$
Radiação Solar	Ausente	Presente

**Tabela 2.** Planejamento experimental envolvendo os fatores: Tempo, Catalisador,  $\text{H}_2\text{O}_2$  e Radiação Solar codificados nos níveis apresentados na Tabela 1

Experimento	Tempo	Catalisador	$\text{H}_2\text{O}_2$	Radiação Solar
1	+1	-1	-1	+1
2	-1	+1	+1	-1
3	-1	+1	-1	+1
4	-1	-1	+1	+1
5	+1	-1	+1	-1
6	+1	+1	-1	-1
7	+1	+1	+1	+1
8	-1	-1	-1	-1

A solução contendo a ferrita foi colocada em um frasco âmbar, mantida sob agitação mecânica (agitador Fisatom modelo 715) e incidência direta da radiação solar. Para efeito de comparação, as amostras para análise foram retiradas utilizando-se a mesma dose de energia<sup>21</sup>. Utilizou-se radiômetro (Modelo Solar Light PMA 2200) para medir as doses de energia ( $\text{J cm}^{-2}$ ). Posteriormente, as amostras foram filtradas em membranas de 0,45  $\mu\text{m}$

(Química moderna), de forma a se eliminar a ferrita precipitada em solução. Os experimentos foram realizados no inverno, entre o horário de 10 a 14 horas.

A utilização do planejamento experimental fatorial em estudos que abrangem muitas variáveis, como é o caso do tratamento de efluentes de batata, é importante, pois torna possível o planejamento e a realização dos experimentos de maneira efetiva,

economizando tempo e recursos financeiros, obtendo-se resultados satisfatórios<sup>20,22</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Caracterização físico-química do efluente de batata*

O efluente de processamento de batata consiste em uma solução que possui amido sólido disperso. No tratamento que a empresa estava empregando, essa solução passava por uma canaleta onde o amido sólido se precipitava e a solução resultante era direcionada para um tanque onde anteriormente se fazia um tratamento físico-

químico e que na época da coleta estava desativado. A empresa estava buscando reaproveitar a parte sólida que fica na canaleta, utilizando-a na agricultura ou agropecuária. Neste trabalho, utilizou-se apenas a parte líquida do efluente e a coleta foi realizada na extremidade da canaleta. O líquido era esverdeado, tinha um odor fétido e ainda possuía sólidos dispersos. Devido a esse fato, a solução foi filtrada com papel de filtro comum (Prolab) antes das análises químicas e para os experimentos de degradação. A Tabela 3 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados para a caracterização do efluente.

**Tabela 3:** Caracterização do efluente de indústria de processamento de batata

Parâmetros	RESULTADOS (mg L <sup>-1</sup> )			
DBO	729			
DQO	749			
COT	1080			
SÓLIDOS	FIXOS	VOLÁTEIS	TOTAIS	SEDIMENTÁVEIS
	101	1688	1795	1 mL h <sup>-1</sup>
NITROGÊNIO	96			
pH	6,5			

Os padrões de lançamento de efluentes líquidos, de forma direta ou indireta, nos cursos d'água do estado de Minas Gerais são estabelecidos pela Deliberação Normativa Copam nº 010/86<sup>23</sup>. Dessa forma, considerando-se os lançamentos de efluentes de forma direta ou indireta nos corpos d'água, tem-se que os valores máximos para DBO e DQO são, respectivamente, de 60 mg L<sup>-1</sup> e de 90 mg L<sup>-1</sup>, considerando-se os rios de classes 1 a 4<sup>23</sup>. Como se pode observar na Tabela 3, os valores para o efluente em questão estão acima dos valores estabelecidos pela legislação.

Analisando-se o resultado obtido para nitrogênio (N), na Tabela 3, tem-se que, de acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama)<sup>24</sup> a concentração de nitrogênio

obtida excede o valor estabelecido em relação às condições e padrões de lançamentos de efluentes, uma vez que a norma considera como concentração máxima 20 mg L<sup>-1</sup> de N. Como limites estabelecidos para o Estado de Minas Gerais<sup>23</sup> tem-se que o valor máximo de concentração de nitrogênio é de 5 mg L<sup>-1</sup>, considerando-se os rios de classes 1 a 4. A concentração de nitrogênio obtida para o efluente foi de 96 mg L<sup>-1</sup>. Portanto, o efluente em questão apresenta concentração de nitrogênio que supera muitas vezes o máximo valor estabelecido pela legislação.

No que se refere à concentração de sólidos fixos, a DN Copam nº 010/86<sup>23</sup> estabelece uma concentração máxima diária de 100 mg L<sup>-1</sup>, bem como uma concentração média mensal de 60 mg L<sup>-1</sup> de sólidos suspensos, considerando-se os corpos

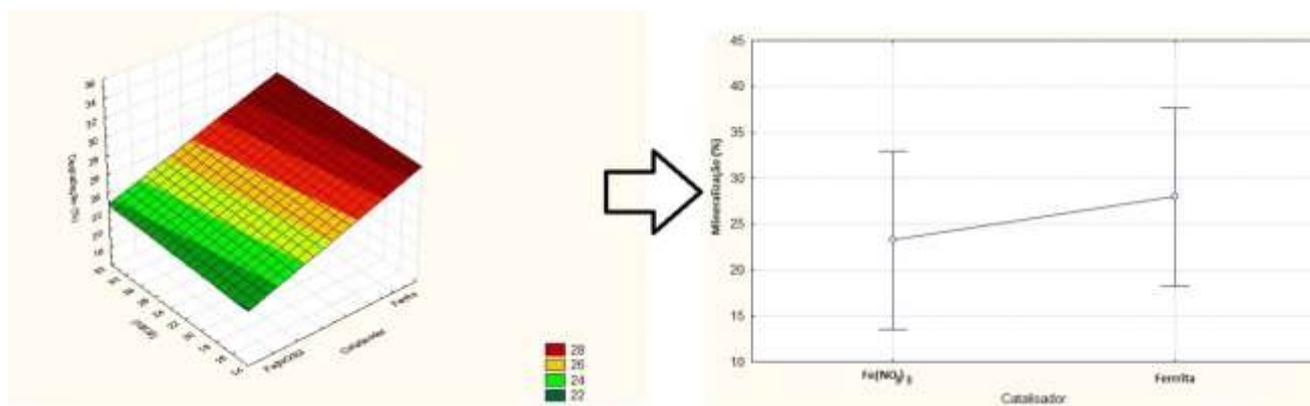
d'água de classes 1 a 4<sup>23</sup>. Além disso, de acordo com a deliberação citada, bem como a Resolução Conama<sup>24</sup>, tem-se que a velocidade de deposição das partículas no cone de Innhoff não deve ultrapassar o valor de 1 mL h<sup>-1</sup>, para um teste de 1 hora. Portanto, o resultado obtido se enquadra no estabelecido pela Resolução Conama em relação à análise mencionada, sendo a única exceção em relação aos resultados obtidos para os outros parâmetros.

A biodegradabilidade do efluente pode ser estimada pela razão entre DBO e a DQO, que se aproxima de 1 para esse efluente. Sarria e colaboradores<sup>22</sup> encontraram que, se a relação é maior que 0,33, o efluente é facilmente biodegradável. No entanto, devida à alta carga orgânica nesse efluente e alta DBO e DQO é

exigido tempo para ser degradado, grande área e o repentino aumento da DBO por qualquer motivo, seja aumento na produção em uma determinada semana, pode intumescer o lodo<sup>5,25</sup>. E em geral as pequenas e médias empresas não possuem disponibilidade de área para o tempo de retenção necessário que pode chegar a até 52 dias<sup>5</sup>. Outro problema é que esses efluentes podem conter fenóis e altas concentrações de N que prejudicam a biodegradação<sup>5</sup>.

#### Resultados do tratamento do efluente do processamento de Batata

A Figura 2 apresenta a superfície de resposta obtida a partir dos experimentos realizados de acordo com a Tabela 2. A resposta utilizada foi em termos de COT.



**Figura 2.** Superfície de resposta, onde x = tempo, y = catalisador e z = mineralização (%) utilizando os experimentos da Tabela 2.

Observa-se que o catalisador heterogêneo ferrita resultou em maior mineralização que o processo homogêneo usando Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, principalmente no início da reação com mineralização de 32% nos primeiros 10 minutos sob radiação solar. Nestes experimentos empregou-se concentração relativa de Fe no catalisador heterogêneo equivalente a 556 mg de Fe/L de solução (baseado nos resultados publicados<sup>14</sup> pelo grupo, considerando a análise elementar da ferrita por fluorescência de raios X), enquanto que, para os experimentos empregando nitrato férrico nonahidratado, a concentração relativa de Fe foi de 41,5 mg Fe/L. Há de considerar que as

concentrações empregadas de nitrato férrico e ferrita foram as que apresentaram melhor degradação (condição otimizada). Embora a concentração relativa de Fe na ferrita em solução seja consideravelmente maior que a de nitrato férrico (556 mg/L e 41,5 mg/L, respectivamente) os íons Fe<sup>3+</sup> estão disponíveis na sua totalidade no nitrato férrico, considerando que a concentração utilizada está bem abaixo do limite de solubilidade deste sal, enquanto que na ferrita, os íons de ferro presentes (Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>) estão associados a sua estrutura cristalina.

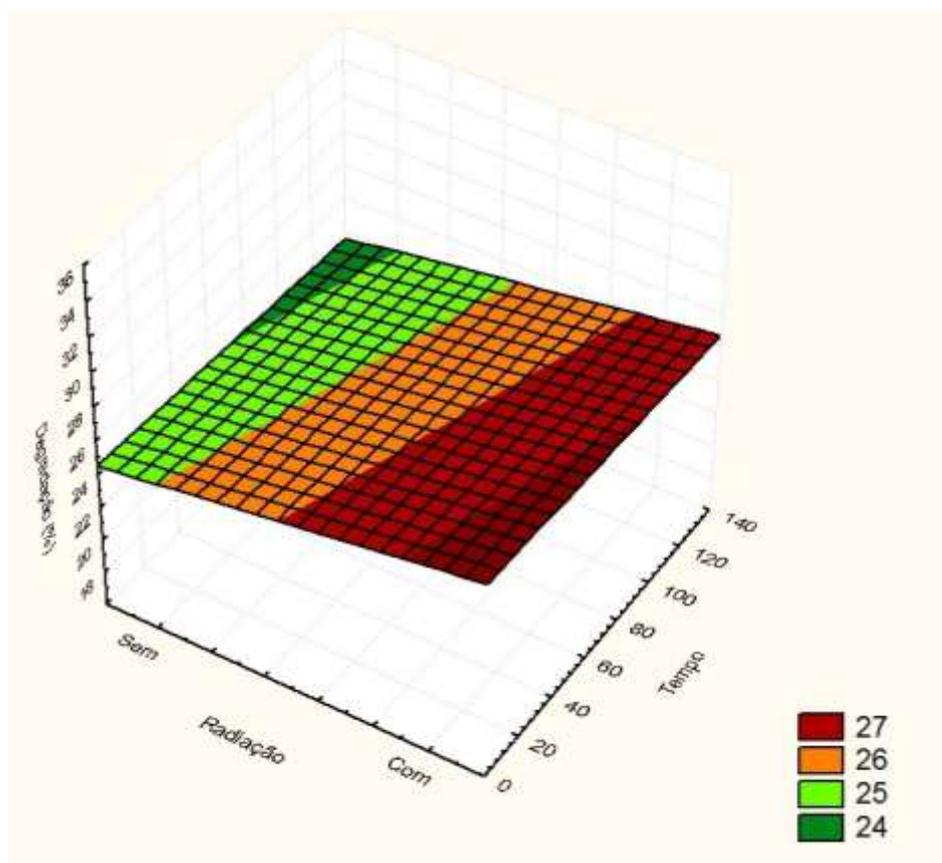
O emprego de ferrita ainda apresenta a vantagem de poder ser separada da solução por

meio de um campo magnético (ímã). Isso previne a necessidade de mais uma etapa química para remover o catalisador, como aumento do pH para remover os íons de ferro, o que gera lodo de hidróxido de ferro.

Prevendo uma aplicação, a ferrita poderá ser empregada em um reator, e estudos adicionais poderão revelar sua capacidade de reutilização para esse tipo de efluente e seu tratamento, sem a necessidade de armazenamento do efluente por um grande período.

A maior concentração de  $H_2O_2$  ( $30 \text{ mmol L}^{-1}$ ) apresentou maior eficiência de degradação tendo em vista que mais radicais livres ( $\cdot OH$ ) são produzidos, uma vez que essas espécies são essenciais para o processo de degradação da matéria orgânica<sup>10</sup>.

A Figura 3 apresenta o comportamento da degradação em função do tempo reacional e da presença da radiação solar.



**Figura 3.** Tempo de reação e radiação solar na mineralização do efluente de batata.

Observa-se que, com a radiação solar, ocorre a ativação do catalisador principalmente no tempo inicial da reação, favorecendo a transição eletrônica da banda de valência para a de condução do catalisador ferrita, melhorando assim a mineralização (32%) do efluente.

O modelo matemático empírico, codificados e de 2ª ordem, encontrado com seus respectivos

**Tabela 1**

coeficientes estatísticos está apresentado na Equação 1, em que os valores são os de significância estatística (95% de confiança).

$$\text{Degradação (\%)} = 25,625 - 0,375.t + 2,375.c + 0,375.p + 1,125.r - 3,625.T.C + 0,375.t.p - 0,875.t.r \text{ (Equação 1)}$$

Em que t- tempo, c- catalisador, r - radiação, p - peróxido (Tabela 1).

Na otimização experimental, as amostras consideradas foram filtradas em membrana de  $0,45 \mu\text{m}$ , cuja carga orgânica de COT inicial foi de 695

mg L<sup>-1</sup>. As melhores condições obtidas foram: ferrita 0,10% (m/v), tempo: 10 minutos, [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>]: 30 mmol L<sup>-1</sup> e sob radiação solar. Os resultados da

remoção de COT nas condições otimizadas estão apresentados na Figura 4.

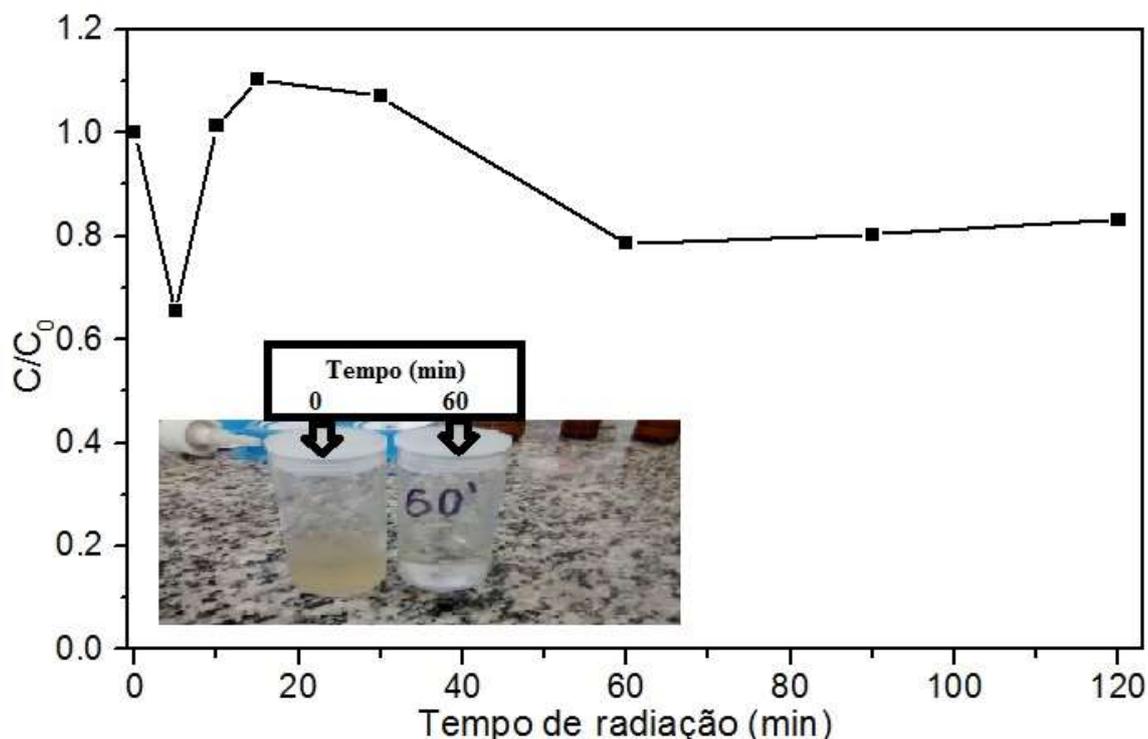


Figura 4: Remoção de COT ([COT<sub>0</sub>] = 695 mg L<sup>-1</sup>) no tratamento do efluente de batata utilizando o processo foto-Fenton heterogêneo solar ( $\Sigma$  de energia : 31 J cm<sup>-2</sup>); [Ferrita] = 0,10% m/v; [H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>] = 30 mmol L<sup>-1</sup> em 250,00 mL de solução.

A Figura 4 mostra que após 120 minutos de radiação solar houve mineralização de 22% da matéria orgânica da solução, o que significa uma remoção de 153 mg L<sup>-1</sup> de carbono. Esse é um valor de remoção apreciável para um pequeno período, visto também que durante o processo há dissolução de material particulado, verificado pelo aumento na concentração de carbono após 10 minutos de exposição à radiação e a carga orgânica só tende a se estabilizar após 1h de exposição. Observou-se experimentalmente que também houve eliminação do odor fétido e da cor esverdeada do efluente após 1 h de tratamento conforme imagem da Figura 4.

Analisando a literatura<sup>5</sup>, verifica-se que o pré-tratamento e/ou tratamento primário remove em média 25% da matéria orgânica prioritariamente ao tratamento biológico. No entanto, muitas etapas e/ou adição de produtos químicos são necessários. Nesse contexto, o processo foto-Fenton heterogêneo poderia ser utilizado como pré-tratamento,

considerando que remove matéria orgânica com menor número de etapas, adição de produtos químicos e geração de subprodutos que os métodos físicos e químicos atualmente empregados. Além disso, é conhecida a capacidade do método Fenton em aumentar a biodegradabilidade desse tipo de efluente<sup>15</sup>.

## CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma tecnologia para o pré-tratamento de um efluente de uma indústria de processamento de batatas. Foram realizadas análises prévias acerca da caracterização do efluente e observou-se que os parâmetros analisados estão acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente no Brasil.

O uso de ferritas de pilhas descartadas como catalisador da fotodegradação do efluente da indústria de batata teve uma eficiência de 32% de

mineralização da solução durante os 10 minutos iniciais. Esses resultados são bastante interessantes para o uso desse processo como pré-tratamento aos tratamentos convencionais. O uso das ferritas como catalisador permite sua recuperação ao final do processo com aplicação de um campo magnético, sem que haja descarte de íons de ferro para o ambiente. Essa solução também é bastante atraente

para uma futura aplicação *in situ*, visando o desenvolvimento de reatores e o tratamento contínuo do efluente. Com esses resultados, conclui-se que a ferrita de pilhas descartadas pode ser aplicada no processo foto-Fenton solar para o tratamento de efluentes de indústria de processamento de batata.

## REFERÊNCIAS

---

- [1] Associação Brasileira da Batata, Batata Brasil: Área, Produção e produtividade disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2016/12/%C3%81REA-PRODU%C3%87%C3%83O-E-PRODUTIVIDADE.pdf>. acesso em 28 de set.(2017).
- [2] Batata/Cepea: Produção de batata para processamento aumenta no Br. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/batata-cepea-producao-de-batata-para-processamento-aumenta-no-br.aspx>. Acesso em: 28 de set (2017).
- [3] A. A. da Silva, G. A. F. Albino, A biodigestão de resíduos agrossilvopastoris no processo de transformação de energia. *Ver. Cient.FEPI*, **2015**, 8(2), 1-3.
- [4] L.E. Mitch, Starch: Chemistry and Technology – Potato Starch: Production and Uses. Academic Press, New York, 1984.
- [5] Y. T. Hung, H. LoHoward, A. Awad, H. Salman, Potato Wastewater Treatment, Taylor & Francis Group, LLC, 2006, ch6.
- [6] Bem Brasil pensando globalmente, disponível em: <https://www.bembrasil.ind.br/imprensa/bem-brasil-pensando-globalmente/> acesso em 27 de set. (2017)
- [7] F. Tisa, A. A. A. Raman, W. M. A. W. Daud, Applicability of fluidized bed reactor in recalcitrant compound degradation through advanced oxidation processes: a review, *J. Environ. Manage*, **2014**, 146, 260-275.
- [8] Y. Deng, R. Zhao, Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment, *Current Pollution Reports*, **2015**, 1(3), 167-176.
- [9] J. J. Pignatello, E. Oliveros, A. MacKay, Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the Fenton reaction and related chemistry, *Crit Rev Environ Sci Technol.*, **2006**, 36 (1), 1-84.
- [10] R. F. P. Nogueira, A. G. Trovó, M. R. A. D. Silva, Villa, R. D., Oliveira, M. C. D., Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton, *Quím. Nova*, **2007**, 30, 400-408.
- [11] S. Giannakis, M. I. P. López, D. Spuhler, J. A. S. Pérez, P. F. Ibáñez, C. Pulgarin, Solar disinfection is an augmentable, in situ-generated photo-Fenton reaction—part 1: a review of the mechanisms and the fundamental aspects of the process, *Appl. Catal., B.*, **2016**, 199, 199-223.

- 
- [12] A. Mirzaei, Z. Chen, F. Haghghat, L. Yerushalmi, Removal of pharmaceuticals from water by homo/heterogenous Fenton-type processes—A review, *Chemosphere*, **2017**, *174*, 665-688.
- [13] R. Gimenes, M. A. Zaghete, L. A. Perazolli, M. R. da Silva, D. A. W. Soares, C. A. da Silveira, M. R. Baldissera, M. R. A. da Silva, Structural and magnetic characterization of  $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$  ( $x=0.2$ ;  $0.35$ ;  $0.65$ ;  $0.8$ ;  $1.0$ ) ferrites obtained by the citrate precursor method, *Ceram Int*, **2012**, *38*, 741-746.
- [14] M. R. Baldissera, M. R. A. Silva, C. A. Silveira, R. M. Lima, S. A. Maia, M. R. Silva, D. A. W. Soares, R. Gimenes, Síntese e caracterização de ferritas de Zn e Mn provenientes de pilhas inutilizadas, *Cerâmica*, **2014**, *60*, 52-56.
- [15] A. Vlyssides, E. M. Barampouti, S. Mai, E. Stamatoglou, K. Rigaki, Hydrolysis of starch using Fenton's reagents as a key for waste integrated management in a potato processing industry, *Chem. Eng. Trans.*, **2009**, *1*, 165-169.
- [16] Method 5220. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, 21th ed., 2005.
- [17] Method 5210. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, 21th ed., 2005.
- [18] Method 4500-c. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, 21th ed., 2005.
- [19] T. Yasuhara, K. Nokihara, High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method, *J. Agric. Food Chem.*, **2001**, *49*, 4581-4583.
- [20] W. T. Carvalho, J. M. Soares, M. Caliari, F. A. Silva, K. O. Ribeiro, Physicochemical and functional characteristics of residual pulp of potato, *Food Sci. Technol.*, **2016**, *36* (4), 570-576.
- [21] W. C. Paterlini; R. F. P. Nogueira, Multivariate analysis of photo-Fenton degradation of the herbicides tebuthiuron, diuron and 2,4-D, *Chemosphere*, **2005**, *58* (8), 1107-1116.
- [22] V. Sarria, M. Deront, P. Péringer, C. Pulgarin, Degradation of a biorecalcitrant dye precursor present in industrial wastewaters by a new integrated iron (III) photoassisted–biological treatment, *Appl. Catal., B.*, **2003**, *40* (3), 231-246.
- [23] BRASIL. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes para o estado de Minas Gerais, e dá outras providências. Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 5 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/DeliberaNormativaConjuntaCOPAM-CERHno01-2008.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2016.
- [24] CONAMA, Resolução. "430/2011." Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes (2011). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 15 fev. 2016.

---

[25] H. J. Porwal, A. V. Mane, S. G. Velhal, Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Res. Environ. Ind.*, **2015**, 9, 1-15.