

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS



## INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE FeSO<sub>4</sub> NO TEMPO DE DECANTAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DE RESÍDUO LÍQUIDO DE LATICÍNIO NOS PROCESSOS FENTON E FOTO FENTON SOLAR<sup>1</sup>

Suelen Aparecida Gianini Pereira<sup>2</sup>, Taciano Benedito Fernandes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Apresentado no XII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis

<sup>2</sup>Tecnóloga em Gestão Ambiental, Instituto Federeal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Inconfidentes, MG.

E-mail: [suelem.agp@hotmail.com](mailto:suelem.agp@hotmail.com).

<sup>3</sup>Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. Técnico em microbiología no Instituto Federeal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, Inconfidentes, MG.

E-mail: [taciano.fernandes@ifsuldeminas.edu.br](mailto:taciano.fernandes@ifsuldeminas.edu.br).

### RESUMO

Os laticínios, no Brasil, podem ser considerados um dos empreendimentos mais poluentes, por possuírem diferentes concentrações e substâncias em seus resíduos líquidos, como detergentes, graxas e nutrientes que quando lançados diretamente no corpo d'água sem os devidos tratamentos ocasionam graves problemas ambientais. Um dos problemas mais graves está relacionado à quantidade de sólidos suspensos e sedimentáveis presentes nos resíduos líquidos oriundos do processamento de leite e derivados lácteos. O tratamento de resíduos líquidos é uma questão ambiental importante a ser considerada nesta atividade para adequar os resíduos aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da variação de FeSO<sub>4</sub> na sedimentação de sólidos sedimentáveis de resíduos líquidos de laticínios pelos processos Fenton e FOTO-FENTON solar como alternativa de tratamento para resíduos

líquidos desta atividade. Foram utilizados dois processos oxidativos avançados com concentrações de FeSO<sub>4</sub>, 1,349 g e manteve-se fixa a quantidade de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 volumes, 1 ml, aplicados em, 999 ml do resíduo líquido do laticínio do IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*. O intervalo de tempo avaliado foi de uma hora com verificação de sedimentação a cada 15 minutos em cone Imhoff. Os resultados alcançados foram satisfatórios apenas na maior concentração. Os resultados obtidos com a maior concentração nos processos Fenton e FOTO-FENTON solar constituem uma alternativa no tratamento de resíduos líquidos de laticínios.

**Palavras-chave:** Processos oxidativos avançados, águas residuárias, tratamento de resíduos líquidos.

## **INFLUENCE OF FeSO<sub>4</sub> VARIATION ON DECANIMATION TIME FOR SEDIMENTARY SOLIDS FROM DAIRY LIQUID WASTE UNDER FENTON AND SOLAR PHOTO-FENTON PROCESSES.**

### **ABSTRACT**

Dairy sector can be considered as one of the most polluting activities in Brazil, since different concentrations and substances can be found in their liquid waste, such as detergents, grease and nutrients that can cause severe environmental disorder when tossed directly into waterbeds. One of the most serious such problems relates to the amount of suspended and sedimentary solids found in the liquid waste from milk and dairy processing. Liquid waste treatment is an important environmental issue to be considered in this activity context, since such waste must comply with legal disposal standards. This work aimed at assessing the influence of FeSO<sub>4</sub> variation on sedimentation of sedimentary solids from dairy liquid waste by using the Fenton and solar photo-Fenton processes, as an alternative treatment. Two advanced oxidation processes with three concentration rates of FeSO<sub>4</sub> (1,349 g) were used, while maintaining the quantity of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30 volume, 1 ml, applied into 999 ml of dairy liquid waste from IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Evaluation time gaps were set too one hour, with verifications of sedimentation at every 15 minutes, by Imhoff cone. Results were satisfactory only for the highest concentration, whereas no alterations were observed in solids sedimentation for the 1,013 g. Results obtained

with the highest concentration under Fenton and solar photo-Fenton processes render this a viable dairy liquid waste treatment alternative.

**Keyword:** Advanced oxidation processes, residuary waters, liquid waste treatment.

## INTRODUÇÃO

Segundo Campos et al. (2004), o estado de Minas Gerais é considerado o maior produtor de leite do Brasil, estima-se que, por ano, produza mais de 5 bilhões de litros de leite que é equivalente 30% de toda a produção nacional, por este motivo o estado tem grande importância no setor alimentício no que diz respeito à área de produção de leite de seu grande número de laticínios.

Devido ao grande volume de água necessário na produção de produtos lácteos, as indústrias de laticínios se enquadram como uns dos empreendimentos que mais geram resíduos líquidos. Estima-se que são gerados cerca de cinco litros de resíduo líquido para cada dois litros de leite beneficiado (BEGNINI, RIBEIRO, 2014).

Segundo Machado, Silva e Freire (2001), os laticínios, em geral, utilizam grande quantidade de água no seu processo industrial. A água é usada em vários processos tais como, lavagem dos maquinários, latões onde o leite é armazenado até chegar ao laticínio, tubulações, pisos e sistema de resfriamento e nos geradores de vapor, o que provoca um grande aumento no volume do resíduo gerado, o que se distingui como sendo água contaminada. Estes quando lançados sem nenhum tipo de tratamento no corpo d'água causa alteração na sua qualidade, essas alterações vão apresentar elevadas cargas de demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio devido às grandes quantidades de lipídios, carboidratos e proteínas, alta carga de material orgânico.

O lançamento destes resíduos sem tratamento no corpo d'água faz com que a concentração de oxigênio dissolvido tenha uma maior redução colocando em risco todo o ecossistema aquático (BEGNINI; RIBEIRO, 2014). Com objetivo de propor alternativas de tratamento para uma das principais fontes de poluição ambiental que são os laticínios, fazendo tratamento de seus resíduos de maneira a adequar aos padrões de qualidade necessários ao lançamento em corpo d'água, definido pela legislação vigente. Uma dessas alternativas de

tratamento que vem se mostrando uma tecnologia promissora é o emprego dos Processos Oxidativos Avançados, POA's, os quais se caracterizam pela utilização de substâncias com alto poder oxidativo, peróxido de hidrogênio e sulfato de ferro dentre outros, capazes de degradarem a maioria dos compostos orgânicos.

Desta maneira, este trabalho avaliou a aplicabilidade do POA pelos processos Fenton e FOTO-FENTON Solar em escala laboratorial, no tempo de decantação e a influência da variação de FeSO<sub>4</sub> nos sólidos sedimentáveis como alternativa de tratamento de resíduos líquidos de laticínio.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Local de coleta dos resíduos líquidos

As águas residuais utilizadas neste estudo foram coletadas através da caixa de gordura do laticínio do IFSULDEMINAS-Câmpus inconfidentes.

Os resíduos líquidos gerados nas instalações do laticínio provenientes da lavagem de latões eram encaminhados através de canais coletores ao Sistema de Tratamento de Águas Residuárias pertencente a esta instalação. Os resíduos coletados se relacionam apenas à água de lavagem de latões, pasteurizador, tanque de recepção, tanque pulmão e máquina de empacotar leite, uma vez que este tipo de resíduo é o que mais contribui para o aumento da turbidez e sólidos suspensos.

### Processo FENTON

Para a realização do processo oxidativo avançado Fenton, aqui discriminado como F, foi utilizada uma proveta graduada de 1000 ml onde foram medidos 999,0 ml do resíduo líquido previamente homogeneizado. O resíduo medido foi transferido para um bêquer de 1000 ml e direcionado ao agitador magnético. Em seguida foram adicionados 1,349 g de Sulfato de Ferro, primeira concentração, C1, onde permaneceu sob agitação por 1 minuto, decorrido este tempo adicionou-se 1 ml de solução de peróxido de hidrogênio a 30% e agitou-se por mais 1 minuto. Logo em seguida, o resíduo foi transferido para um cone Imhoff, **Figuras 1 e 2**, seguindo os procedimentos padrões para análise de sólidos sedimentáveis no qual foram observadas as

quantidades decantadas de acordo com o tempo decorrido, a cada 15 minutos. Este procedimento foi realizado três vezes em três cones Imhoff diferentes locados em um mesmo suporte com capacidade para três cones.



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 1.** Processo Fenton – C1. Resíduo adicionado das substâncias oxidantes no cone Imhoff.

**Figure 1.** Fenton process– C1. Added waste from oxidative substances into Imhoff cone.



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 2.** Processo Fenton Resíduo adicionado das substâncias oxidantes no cone Imhoff dentro da estufa.

**Figure 2.** Fenton process – Added waste added from oxidative substances into Imhoff cone, inside heater.

### Processo FOTO-FENTON solar

Os mesmos procedimentos utilizados no processo Fenton foram adotados para o processo FOTO-FENTON Solar, FFS. Foram utilizadas as mesmas concentrações de sulfato de ferro 1,349 g correspondente a primeira concentração, C1, a segunda concentração de 1,013 g. O resíduo medido em uma proveta foi transferido para um béquer de 1000 ml e direcionado ao agitador magnético. Em seguida foram adicionados 1,349 g de Sulfato de Ferro, primeira concentração, onde permaneceu sob agitação por 1 minuto, decorrido este tempo adicionou-se 1 ml de solução de peróxido de hidrogênio a 30% e agitou-se por mais 1 minuto. Logo em seguida, o resíduo foi transferido para um cone Imhoff seguindo os procedimentos padrões para análise de sólidos sedimentáveis no qual foram observadas a quantidade decantada de acordo com o tempo decorrido, a cada 15 minutos, **Figura 3**.

Após todos os procedimentos realizados o experimento foi encaminhado para o pátio do laboratório de microbiologia, **Figura 4**, para que recebesse radiação ultravioleta solar por um

período de uma hora, das 13:30 às 14:30 horas. Todos os procedimentos foram realizados em triplicata nos dias 23, 28 e 30 de julho de 2015.



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 3.** Processo FFS – F1. Preparo no laboratório de microbiologia.

**Figure 3.** Process FFS – F1. Preparation in microbiology laboratory.



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 4.** Processo FFS – F1. Preparado e encaminhado ao patio do laboratório de microbiologia.

**Figure 4.** Process FFS – F1. Preparation in microbiology laboratory. Source: this work.

## Coletas amostrais

Para a realização das coletas amostrais foram seguidas as orientações estabelecidas pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2012).

Os resíduos foram coletados na saída da canalização do latícino, **Figura 5**. As amostras foram coletadas às 8:00 da horas da manhã devido às atividades desenvolvidas no laticínio se iniciarem neste horário onde é realizada a lavagem dos latões de leite. No Quadro 01, encontram-se as datas e a quantidade de resíduo coletado para cada processo. O parâmetro analisado e seu respectivo método analítico encontra-se descrito no Quadro 02.



**Fonte:** Elaboração própria

**Figura 5.** Caixa de gordura laticínio do IFSULDEMINAS – Câmpus inconfidentes.

**Figure 5.** Fat disposal box at dairy facilities at IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. Source: this work. Analyzed parameter and its respective analysis method.

Ao todo foram coletados 6000 ml de resíduo para a realização dos processos oxidativos, destes, 3000 ml para o F e 3000 para o FFS na data de 23 de julho de 2015. O mesmo se procedeu com as datas de 28 e 30 de julho de 2015. Com relação à realização dos testes de controle foram coletados 2000 ml para o controle 1, 1,349 g, CT1, para os processos F e FFS nas datas de 31 de julho de 2015 e 03 e 04 de agosto de 2015 e para as outras concentrações, concentração 2, CT2 e concentração 3, CT3, foram adotados os mesmos procedimentos. Para a realização do teste apenas com o uso de peróxido de hidrogênio, CT4, foi realizado apenas um teste em triplicata para os processos F e FFS, ao todo foram coletados 6000 ml de resíduo líquido para cada processo. Os parâmetros analisados bem como o método adotado encontram descritos na Quadro1.

**Quadro 1.** Quantidade de resíduo líquido coletado de acordo com cada processo oxidativo avançado executado e testes de controle.

**Picture 1.** Amount of liquid waste collected according to each advanced oxidation process performed, and control tests.

<b>Processo</b>	<b>Datas</b>						
	<b>23/07</b>	<b>28/07</b>	<b>30/07</b>	<b>31/07</b>	<b>03/08</b>	<b>04/08</b>	<b>05/08</b>
<b>F</b>	3000 ml	3000 ml	3000 ml				
<b>FFS</b>	3000 ml	3000 ml	3000 ml				
<b>CT1</b>				2000 ml	2000 ml	2000 ml	
<b>CT2</b>				2000 ml	2000 ml	2000 ml	
<b>CT3</b>				2000 ml	2000 ml	2000 ml	
<b>CT4</b>							6000 ml

**Quadro 2.** Parâmetro analisado e seu respectivo método analítico.

**Picture 2.** Parameter analyzed and its respective analytical method

<b>Parâmetro</b>	<b>Método Analítico</b>
Sólidos Sedimentáveis ( $\text{ml.L}^{-1}$ )	Sólidos sedimentáveis 2540D. Standard Methods 20ed. (APHA, 1998).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor entendimento da discussão, os resultados obtidos estão dispostos através de gráficos. Pela falta de estudos envolvendo processos Fenton e FOTO-FENTON Solar em resíduos líquidos de laticínios em se tratando de tempo de sedimentação, o presente trabalho ficou restrito apenas à apresentação dos próprios resultados obtidos.

### Processo FENTON - concentração 1

Após a realização do processo Fenton as amostras foram observadas a cada 15 minutos até que se completasse o período de uma hora. Durante o tempo inicial, 0', não foram observadas sedimentações nos três cones que compuseram o experimento com a concentração 1, **Figura 6**.

Nos intervalos de 15 minutos, **Figura 7**, foram observados que a quantidade visível da parte líquida apresentava-se menor do que a parte visível de sólidos e o quadro se invertia no intervalo de observação. Porém, no final do experimento foi observada a estagnação da

sedimentação nos cones o que pode ter ocorrido pela falta de espaço ou pela ausência de sólidos que pudessem ser oxidados.

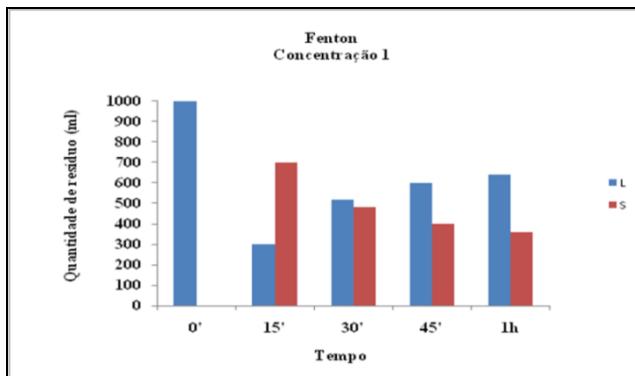


**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 6.** Processo fenton a cada 15 minutos de observação.

**Figure 6.** Process fenton every 15 minutes of observation.

### Processo FENTON – Concentração 1.



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 7.** Relação entre o tempo de sedimentação e quantidade de sólidos sedimentáveis.

**Figure 7.** Relationship between sedimentation

time and amount of sedimentable solids.

De acordo com estudo desenvolvido Nogueira (2007), os processos fenton apresentaram bons resultados em seu desempenho no efluente de industria de laticinios , removendo quase 80% da carga organica presente no seu efluente,e processo fenton funciona com um regulador de carga orgânica solucionando rapidamente o problema do laticínio assim enquadrando seu efluente de acordo com a legislação vigente.

### **Processo FOTO - FETON solar – concentração 1**

O mesmo procedimento foi adotado na observação do processo Fenton, contudo a parte líquida apresentou-se mais evidente logo nos primeiros 15 minutos de exposição à radiação ultravioleta, **Figura 8**, e, após 30 minutos, a quantidade de líquido separado da parte sólida tornou-se mais visível e apresentou diferença significativa nas características físicas do resíduo líquido. Porém, a partir dos trinta minutos de exposição não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de sólidos sedimentáveis que tendenciam à estagnação. Na **Figura 9** encontram-se os intervalos de tempo de exposição do resíduo no processo FOTO-FENTON Solar. De acordo com estudos realizados por Mendes (2014),sobre o emprego do processo foto fenton solar no tratamento de efluente da produção de queijo, apresentando grande eficiencia no tratamento de efluente, removendo grandes partes de seus contaminates, como no processo fenton tambem enquadrando o lançamento de efluente no corpo d'agua segundo a DN74 .

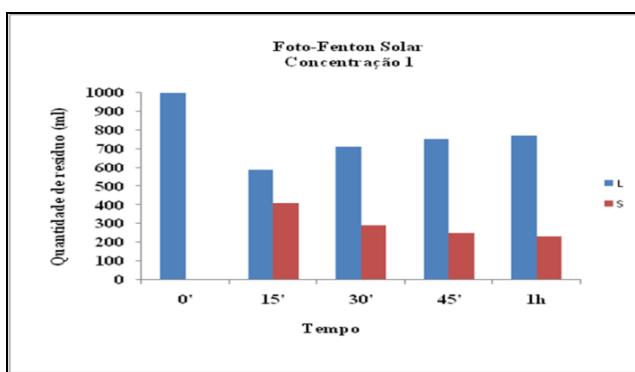
## PROCESSO FOTO – FENTON solar - CONCENTRAÇÃO 1



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 8** Processo FOTO-FENTON Solar a cada 15 minutos de observação.

**Figure 8.** Photo-Fenton Solar Process every 15 minutes of observation



**Fonte:** Elaboração própria.

**Figura 9.** Processo FOTO-FENTON Solar a cada 15 minutos de observação.

**Figure 9.** Photo-Fenton Solar Process every 15 minutes of observation

## Tratamento estatístico

Foi utilizado o software *Microsoft Excel 2010* para processar os dados, utilizando a ferramenta “Teste F: duas amostras para variâncias” e “ANOVA fator único” como tratamentos estatísticos, onde foi calculada a variância das médias das análises realizadas nos dois processos oxidativos, obtendo valor estatístico para cada parâmetro. O tratamento com os dois processos oxidativos levaram em consideração 5% de nível de significância e 95% de probabilidade. Estatisticamente, os valores dos tratamentos oxidativos Fenton e FOTO-FENTON Solar apresentaram próximos sem diferença significativa entre os resultados. Nos Quadros 03, 04 e 05 encontram-se os resultados das análises estatísticas empregadas.

**Quadro 3.** Análise de variância fator único processo Fenton e FOTO-FENTON Solar.

**Picture 3:** Variance analysis single factor, Fenton and Solar Photo-Fenton

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
FFS	4	1170,83	292,708	6382,58
F	4	1931,67	482,917	23456,7

**Quadro 4.** Análise de variância fator único processo Fenton e FOTO-FENTON Solar.

**Picture 4.** Variance analysis single factor, Fenton and Solar Photo-Fenton

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	72358,42014	1	72358,4	4,84987	0,069885907	5,9873776
Dentro dos grupos	89517,88194	6	14919,6			
Total	161876,3021	7				

**Quadro 5.** Teste-F: duas amostras para variâncias, processos Fenton e FOTO-FENTON Solar.

**Picture 5.** F-Test: two samples for variance analysis, Fenton and Solar Photo-Fenton.

	FFS	F
Média	292,7083333	482,917
Variância	6382,581019	23456,7
Observações	4	4
Gl	3	3
F	0,272100402	
P(F<=f) uni-caudal	0,156715509	
F crítico uni-caudal	0,107797789	

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas amostras tratadas pelos processos Fenton e Foto Fenton Solar mostraram-se satisfatórios tanto na decantação dos sólidos sedimentáveis quanto no tempo de sedimentação. A menor das concentrações de FeSO<sub>4</sub> a ser usada deve ser de 1,349 g, por apresentar melhor eficiência na remoção de sólidos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes e à Universidade Federal de Itajubá.

## REFERÊNCIAS

BEGNINI, Beatriz Chinato; RIBEIRO, Heraldo Baialardi. PLANO PARA REDUÇÃO DECARGA POLUIDORA EM INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS. Saúde Meio Ambiente: Revista interdisciplinar, Santa Catarina, v. 01, n. 03, p.19-30, jun. 2014. Disponível em: <http://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/519/426>. Acesso em Abril de 2015.

CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro et al. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO REATOR UASB TRATANDO RESÍDUO DE LATICÍNIO SOB DIFERENTES CARGAS ORGÂNICAS. Ciência Agro técnica, Lavras, v. 6, n. 28, p.1376-1384, dez. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v28n6/a21v28n6.pdf>. Acesso em: abril de 2015.

CETESB, COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO E CONTROLE DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Disponível em: [http://www.cqa.com.br/arquivos/Guia\\_Nacional\\_de\\_Coleta-CETESB-ANA-2012.pdf](http://www.cqa.com.br/arquivos/Guia_Nacional_de_Coleta-CETESB-ANA-2012.pdf). Acesso em: abril de 2015.

COPAM, CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de resíduos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: março de 2015.

MACHADO, Rosângela Moreira Gurgel; SILVA, Patrícia Cristina da; FREIRE, Valdir Honório. Gestão: Controle ambiental em indústrias de laticínio. Brasil Alimentos: brasil alimentos, Bahia, n.07, p.20-32,01/04/2001. Disponível em: <http://www.signuseditora.com.br/BA/pdf/07/07%20-%20Gestao.pdf>. Acesso em: abril de 2015.

MENDES, P. R. A.; ZIZAS, L. N.; FARIA, L. F. F.. UTILIZAÇÃO DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO DO TIPO FOTO-FENTON NA DEGRADAÇÃO DE EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE QUEIJOS. In: CONGRESSO BASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis. Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas. p. 1 - 8. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0628-24674-180305.pdf>. Acessado em : Abril de 2015.

NOGUEIRA, Raquel F. Pupo et al. FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS DOS PROCESSOS FENTON E FOTO-FENTON . Química Nova, Araraquara, v. 30, n. 2, p.400-408, 10 jan. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n2/29.pdf>. Acesso em Abril de 2015.