

# ELETROFLOCULAÇÃO APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO

Electroflotation applied to the treatment of effluent Dairy

DALLAGO, R. M.  
DI LUCCIO, M.  
KÜHN, M. E.  
KREBS, J.  
DO NASCIMENTO, M. S.  
BENAZZI, T. L.  
VENQUIARUTO, L. D.  
MORES, R.

Recebimento: 10/08/2012 – Aceite: 30/10/2012

**RESUMO:** A atividade de industrialização do leite em derivados gera efluentes de alta carga orgânica, com médias de DQO entre 3.600 e 22.000 mg.O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Devido a estas flutuações de carga hidráulica e orgânica, os processos convencionais não são suficientes para atender a qualidade final desejada frente às exigências da legislação. Frente a isto, a eletro-flotação apresenta-se como uma alternativa em potencial para o tratamento deste tipo de efluente. Neste contexto foi desenvolvido este trabalho o qual tem como objetivos avaliar a potencialidade da eletrofloculação no tratamento de efluentes de laticínios. Durante o estudo foram avaliadas as influências dos parâmetros operacionais pH inicial, afastamento de placas e tensão em relação à remoção de cor, turbidez e DQO, bem como a quantidade de alumínio residual no efluente tratado. Dentre as variáveis avaliadas, o pH e a distância entre os eletrodos apresentam efeitos significativo ( $p < 0,1$ ) sobre o tratamento do efluente. Para a variável pH, o efeito observado foi positivo, enquanto que para a distância o efeito foi negativo. A condição otimizada (voltagem igual a 5V, pH igual a 7 e distância entre eletrodos igual a 0,5 centímetro) apresentou uma eficiência de remoção muito significativa. Para cor verdadeira de 99,17% (redução de 3.750 para 31 mg/L Pt-Co), para turbidez de 99,95% (redução de 2.200 para 1 NTU) e para DQO de 80,46% (redução de 4.351 para 870 mg/L O<sub>2</sub>).

**Palavras-chave:** Eletrofloculação. Tratamento de efluentes. Efluente de laticínio.

**ABSTRACT:** The dairy industry produces wastewater with high organic loads averaging between 3.600 and 22.000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (COD). Because of these variations in hydraulic and organic loading, the conventional processes are not entirely effective to meet the desired quality demanded by law. In this context, the electroflotation is a potential alternative for the treatment of such wastewater. In this work the potential of electroflotation in the treatment of dairy effluent was assessed. The study evaluated the influence of operating parameters like initial pH, distance of electrode plates and tension on the removal of color, turbidity and COD and the amount of residual aluminum in treated effluent. The pH and the distance between the electrodes showed significant ( $p < 0.1$ ) effects on the process. The observed effect for variable pH was positive, while the effect of the distance between plates was negative. The optimized conditions (5V, pH 7, ED 0,5 cm) showed a very significant removal efficiency. For true color of 99,2% (reduced from 3.750 to 31 mg<sub>pt-c<sub>o</sub></sub>/L), for turbidity of 99,9% (reduced from 2.200 to 1 NTU) and COD of 80,5% (reduction for 4.351 to 870 mgO<sub>2</sub>/L).

**Keywords:** Effluent treatment. Dairy effluent. Electroflotation.

## 1 Introdução

Um dos grandes desafios que a humanidade enfrenta, atualmente, é fornecer água limpa para a grande maioria da população em todo o mundo. A necessidade de água potável é crítica, particularmente nos países de terceiro mundo. Rios, canais e outros corpos de água estão sendo constantemente poluídos devido à descarga indiscriminada de efluentes industriais (COCKE et. al., 2001).

Durante o século passado, os problemas ambientais eram frequentemente considerados como problemas locais devido ao impacto de um determinado produto. No entanto, hoje se torna mais evidente que os problemas são muito mais complexos e estão relacionados a todas as fases do ciclo de vida dos produtos, desde a extração da matéria prima utilizada na obtenção do produto até a deposição dos resíduos (BERKHOUT e SMITH, 1999). A indústria de laticínio é exemplo deste tipo de segmento, caracterizada pela associação de diferentes sistemas de produção, como a agricultura, pecuária, laticínios, embalagem

e distribuição de produtos lácteos. Estes sistemas estão intimamente ligados, uma vez que a qualidade do produto final é altamente dependente da combinação adequada entre os sistemas descritos (HOSPIDO et. al., 2003).

A indústria de laticínio tem crescido na maioria dos países do mundo, porque a demanda por produtos lácteos e leite tem aumentado constantemente. A produção de leite por cabeça de gado também cresceu, como resultado dos avanços da ciência veterinária (POOMPAVAI, 2002).

As indústrias de laticínios estão associadas à geração de grandes volumes de águas residuais (BASKARAN et. al., 2003), as quais contém leite e produtos lácteos com água de lavagem. No setor leiteiro, a água é utilizada em todas as etapas industriais: limpeza, higienização, aquecimento, resfriamento e lavagem de pisos (SARKAR et. al., 2006). Para cada volume de leite que é processado gera-se em torno de 2,5 vezes este volume de águas residuais (POOMPAVAI et. al., 2002).

Por produzirem diferentes produtos, como leite, manteiga, queijo, iogurte, leite

condensado, leite em pó, sorvete, vários tipos de sobremesas e queijo, as características de seus efluentes também variam muito, dependendo do tipo de sistema ou métodos de operação utilizados (VIDAL et. al., 2000). As águas residuais do processamento de leite, geralmente, contêm proteínas, sal, substâncias gordurosas, lactose, bem como resíduos de produtos químicos utilizados nos processos de limpeza (THASSITOU e ARVANITTOYANNIS, 2001, RAMASAMY et. al., 2000). Geralmente, esses efluentes são associados à elevada carga orgânica e uma alta concentração de substratos fermentáveis com odores desagradáveis persistentes (POOMPAVAI et. al., 2002), e com isso níveis elevados de demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e de nutrientes são observados. Se lançados sem tratamento, esses efluentes podem causar danos ambientais. Portanto, o tratamento das águas residuais das indústrias de laticínios exige uma atenção especial do ponto de vista ambiental (HAMDANI et. al., 2004).

Atualmente, são utilizados muitos métodos físico-químicos e biológicos nos tratamentos de efluentes das indústrias de laticínios. Destes, os processos físico-químicos, comumente utilizados nos tratamentos primários como a coagulação, floculação, flotação e filtração, apresentam algumas desvantagens, como os elevados custos dos reagentes empregados e a baixa remoção de DQO solúvel. Além disso, os tratamentos químicos podem induzir a uma poluição secundária vinculada aos aditivos químicos adicionados, os quais podem contaminar a água tratada (DEMIREL et. al., 2005; COCKE et. al., 2001).

Há, portanto, uma necessidade de desenvolver técnicas inovadoras que associe baixos custos e eficácia para o tratamento de águas residuais. Neste contexto, o tratamento eletroquímico apresenta-se como um processo mais avançado, que oferece uma

alta eficiência de remoção, utilizando equipamentos simples e compactos para o controle e a operação do processo (GUVEN et. al., 2009). Bensadok et. al., (2011) observaram uma elevada remoção da matéria orgânica, obtendo remoções de até 99,9% e 80,3% de turbidez e DQO, respectivamente.

Estes resultados positivos obtidos com efluente sintético de laticínio serviram de incentivo para o desenvolvimento deste estudo, o qual tem como objetivo avaliar a eficiência da eletrofloculação, modo batelada, no tratamento de um efluente real de laticínio.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Amostra

A coleta do efluente bruto efetuou-se na jusante da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de laticínios em Erechim. Após, a amostra foi caracterizada em relação aos parâmetros, cor aparente, turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pH.

A cor aparente, turbidez e DQO foram medidas, segundo método espectrofotométrico, utilizando um colorímetro digital (Hach DR870), (APHA, 2005). Para a DQO previamente fez a calibração com soluções padrão de ftalato ácido de potássio.

Os valores de pHs foram acompanhados por leituras periódicas em pHmetro digital de bancada (pH LAB 827, Metrohm), previamente calibrado com padrões adequados.

### 2.2 Reator de eletro-floculação

O modelo de reator confeccionado foi mono-polar com eletrodos em paralelo. Para a montagem utilizou-se de béquer com capacidade para 1 litro. As placas de alumínio do reator possuíam 2 milímetros de espessura por 15 centímetros de altura e 7 centímetros

de largura. Estas foram fixadas em suportes de madeira e PVC. A fonte de alimentação de energia elétrica utilizada foi da marca/modelo Mastech HY3005D.

### 2.3 Ensaio de eletro-floculação: efeito do tempo de contato

Inicialmente foi conduzido um ensaio empregando como condição operacional: pH = 6, distância entre eletrodos de 1,5 cm e voltagem de 5 volts. A eficiência do processo foi acompanhada em função do tempo operacional (3, 5 e 10 minutos). Como respostas foram avaliadas a eficiência na remoção de cor, turbidez e DQO.

### 2.4 Otimização do processo: planejamento experimental

Visando a otimização do processo de eletro-floculação e a avaliação de quais fatores interferem sobre o mesmo, foi realizado um delineamento fatorial completo  $2^3$ , apresentado na Tabela 1, envolvendo os fatores voltagem (mV), pH e distância entre os eletrodos, mantendo-se constantes o tempo de contato (10 minutos) e o volume de efluente. Todos os ensaios foram realizados em batelada.

**Tabela 1-** Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial completo  $2^3$

Variáveis	Níveis		
	-1	0	1
Voltagem (mV)	5	7,5	10
pH	4	5,5	7
Distância (cm)	0,5	1,5	2,5

A eficiência do processo foi acompanhada através dos parâmetros, remoção de cor, turbidez e DQO. Os resultados foram posteriormente avaliados no software estatística 6.0 (stat soft, inc. 2001) em relação à modelagem empírica.

## 3 Resultados e Discussões

### 3.1 Caracterização do efluente bruto

Na tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para a caracterização do efluente bruto de laticínio. De acordo com informações do controle de qualidade da indústria, a mesma possuía programação de produção das linhas de doce de leite e queijo no período da segunda coleta.

Embora a Resolução do CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), não estabeleça valores da DQO para lançamento de águas residuárias, é um importante parâmetro para verificar a qualidade da água. Assim, é um teste rápido que dá uma indicação do oxigênio requerido para estabilização da matéria orgânica (THEBALDI et. al., 2011).

**Tabela 2 -** Caracterização do efluente bruto

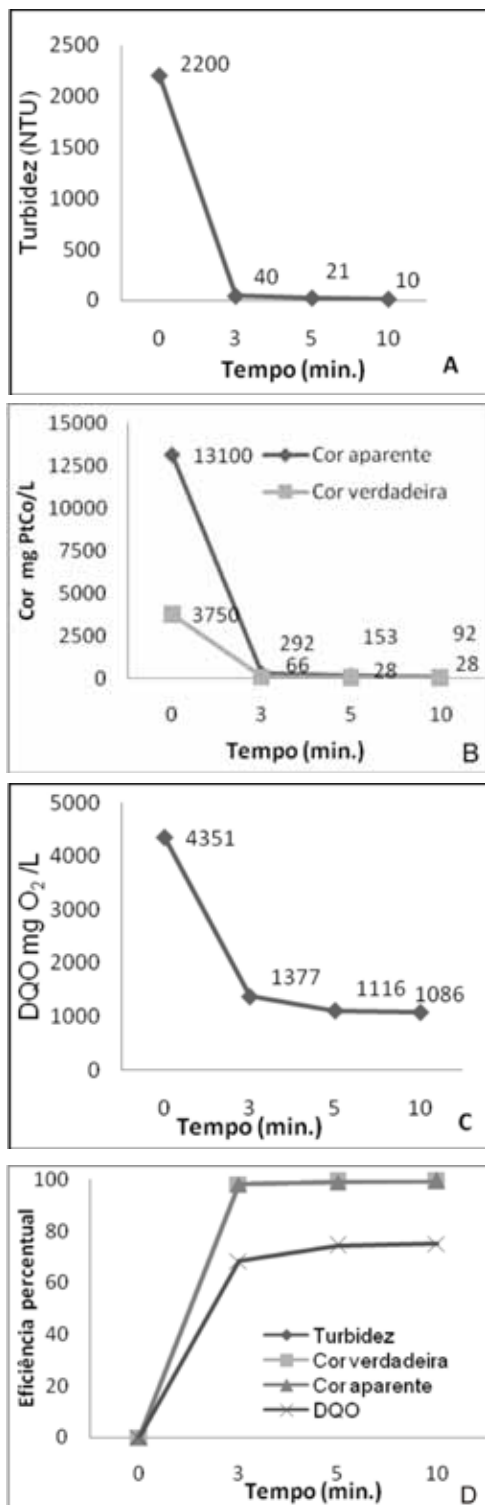
Parâmetros	Valores	FEPAM (Classe 2)
pH	6,19	6 a 9
Turbidez (UNT)	2200	100
Cor aparente (mg/L Pt-Co)	13100	----
Cor verdadeira (mg/L Pt-Co)	3750	75
DQO (mg.O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )*	4351,5	< 360
Alumínio (mg/ L)	n.d.	0,1

\* Até 200 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> (FEPAM)

Em relação aos parâmetros avaliados, a maioria deles encontra-se acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA (Resolução 357/2005) e pela FEPAM, demonstrando a necessidade de um tratamento prévio ao seu descarte.

### 3.2 Influência do Tempo de Contato

Os resultados de cor verdadeira, cor aparente e DQO em função do tempo, encontram-se apresentadas nas Figuras 1A, 1B, 1C e 1D.



**Figura 1** - Variação, em função do tempo operacional, da (A) turbidez, (B) cor aparente e verdadeira, (C) DQO e (D) do percentual de remoção.

Percebe-se que nos três primeiros minutos de reação, ocorreu uma redução superior a 98% para a turbidez e cor verdadeira, com remoções de turbidez de 2200 UNT para 40 UNT e cor verdadeira de 3750 para 66  $\text{mg}_{\text{PtCo}} \cdot \text{L}^{-1}$ . Estes valores são inferiores aos limites para emissão em corpos hídricos classe 2 (Tabela 2), conforme resolução CONAMA 357.

Para o parâmetro DQO, a remoção observada nos tempos de 3, 5 e 10 minutos foi de respectivamente 68,3%, 74,3% e 75%. Mesmo havendo uma alta remoção, percebe-se a tendência da estabilização dos valores após os três minutos iniciais. Estes resultados obtidos estão de acordo com a literatura. Chen et. al., (2000) ao avaliarem a eletrofloculação no tratamento de efluentes de restaurante, com eletrodos de alumínio, obtiveram eficiências de remoção de DQO de apenas 72%. A DQO residual foi vinculada pelos autores a presença de compostos orgânicos dissolvidos. Esta tendência foi confirmada por Tchamango et. al., (2010) ao analisarem o comportamento da eletrofloculação no tratamento de um efluente contaminado com lactose (carboidrato muito solúvel em água). Os resultados DQO permanecem constantes durante todo o tratamento, indicando que a elevada solubilidade da lactose em água, dificulta sua remoção por eletrofloculação.

Resultados semelhantes em eficiências, empregando efluente sintético, com remoção de DQO e turbidez de 70% (3.900 para 1.170  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) e 99,8% (1744 para 3,5 NTU), respectivamente, foram obtidos por Kushwaha et. al., (2010). No entanto, esta eficiência somente foi obtida após 50 minutos operacionais.

De acordo com os resultados obtidos, considerando-se, principalmente, a remoção da DQO, a qual varia com o tempo, optou-se por fixar o tempo operacional, para os ensaios de otimização, em 10 minutos.

### 3.3 Otimização do Processo de Eletro-floculação

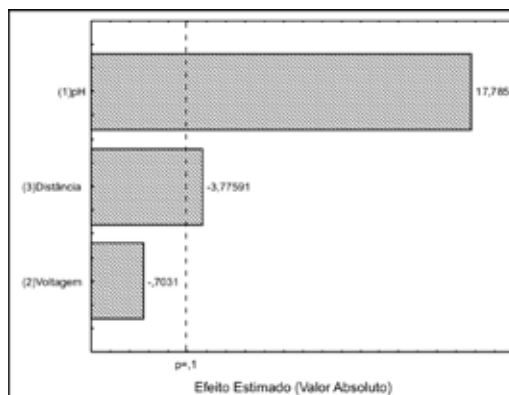
A matriz do planejamento com os valores reais e as respostas para a remoção percentual de cor e turbidez encontram-se apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3** - Matriz do planejamento e respostas para remoção de cor e turbidez

Ensaio	Tensão (V)	pH	Distância (cm)	Cor Verdadeira	Turbidez	Turbidez % Removida
1	5	4	0,5	550+	86	83,83
2	5	4	2,5	550+	245	53,95
3	5	7	0,5	31	1	99,81
4	5	7	2,5	135	16	96,99
5	10	4	0,5	550+	199	62,59
6	10	4	2,5	550+	173	67,48
7	10	7	0,5	35	3	99,44
8	10	7	2,5	24	0	100,00
9	7,5	5,5	1,5	550+	91	82,89
10	7,5	5,5	1,5	528	64	87,97
11	7,5	5,5	1,5	550+	80	84,96

Para as respostas cor verdadeira e turbidez observam-se tendências similares na variação de seus valores. As maiores eficiências de remoção foram obtidas empregando o maior pH (7,0) e a menor distância entre os eletrodos (0,5 cm). No entanto, as variações mais nítidas, passíveis de uma interpretação global, considerando todas as condições ensaiadas, somente foram observadas para a resposta turbidez. Dentro desse contexto, com o auxílio do software Statistica 6.0, os resultados dos experimentos foram analisados a fim de avaliar o comportamento das variáveis estudadas sobre a remoção percentual da turbidez. O gráfico de Pareto, apresentado na Figura 2, possibilita visualizar o efeito absoluto (aquele que leva em consideração o desvio padrão) de cada variável manipulada

sobre a remoção de turbidez do efluente, com um nível de 90% de confiança ( $p < 0,1$ ).



**Figura 2** - Influência do pH, distância e voltagem sobre a remoção da turbidez

O gráfico de Pareto demonstra que das três variáveis estudadas, somente as variáveis pH e distância entre os eletrodos apresentam efeitos significativos sobre a remoção de turbidez. Para a variável pH, o efeito observado foi positivo, enquanto que para a distância entre os eletrodos o efeito foi negativo. O aumento do pH, de 4 para 7, e a diminuição da distância entre os eletrodos, de 2,5 para 0,5 centímetros, proporcionam um aumento na remoção da turbidez da solução. Estes resultados obtidos estão de acordo com os observados por Khemis et. al., (2006) e Gomes et. al., (2007), os quais descrevem que a eficiência do tratamento depende da natureza dos poluentes, com uma melhor remoção encontrada próximo ao pH 7, onde a solubilidade do  $Al(OH)_3$  é mínima. Dependendo da faixa de pH os íons  $Al^{3+}$  podem ser transformados em espécies solúveis monoméricas, tais como  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  e  $Al(OH)_4^-$  (CAN et. al., 2003). De acordo com a hidrólise do alumínio, observa-se uma região de pH ótima para formação dos flocos ( $Al(OH)_3$ ) entre  $6 \leq pH \leq 7$ . Para pHs menores que 6 acentua-se a tendência da formação de formas solúveis de alumínio, como complexos ( $[Al(OH)_2]^+_{aq}$  e  $[Al(OH)]^{2+}_{aq}$ ) íons  $Al^{3+}_{aq}$  solúveis, os quais

apresentam reduzido poder de coagulação, ou seja, de remoção de cor e turbidez (CRESPILHO e REZENDE, 2004).

Em relação à distância entre os eletrodos (DE), quanto maior o espaçamento entre os mesmos maior deverá ser a diferença de potencial a ser aplicado, pois a solução possui resistividade à passagem de corrente elétrica. Assim, de acordo com as características dos efluentes, a variação da distância entre eletrodos, normalmente sua diminuição, pode melhorar a eficiência do processo, visto que ao se reduzir o potencial aplicado diminuirá o consumo de energia elétrica. No entanto, a aproximação excessiva das placas (0,5 cm) pode dificultar a homogeneização do efluente (CRESPILHO e REZENDE, 2004). Neste estudo, observamos que a redução na distância entre os eletrodos proporciona acúmulo de material flotado entre os mesmos, interferindo na homogeneização do efluente durante a reação.

Apesar de o gráfico de Pareto demonstra que não houve efeito significativo da variável voltagem estudada, sobre a remoção de turbidez, é importante ressaltar que a voltagem é um parâmetro importante no tratamento com eletrofloculação. O aumento da voltagem implica no aumento da densidade de corrente. Tezcan Ün et. al., (2006) descreve que a densidade de corrente é um dos principais fatores de operação, ela influencia diretamente no desempenho do processo eletroquímico, determinando a dosagem do coagulante. Aumentando a voltagem e mantendo constantes as outras variáveis que influenciam no processo (distância entre eletrodos, condutividade, pH) tem-se um aumento da densidade de corrente ( $A.m^{-2}$ ). Adhoum et. al., (2004) estabeleceram que a densidade de corrente na célula é um dos parâmetros mais importantes para controlar a taxa de reação nos processos eletroquímicos. Carmona et. al., (2006) observaram que um aumento da corrente

elétrica da célula proporciona uma redução no tempo de tratamento. Com o aumento de corrente na célula, ocorre um aumento da quantidade de metal oxidado, resultando em uma maior quantidade de flocos de hidróxido para a remoção de poluentes (ADHOUM e MONSER, 2004). Kovatchva e Parlapanski, (1999) descreveram que a escolha da densidade de corrente deve ser realizada considerando outros parâmetros de funcionamento, tais como: o pH, a temperatura e a vazão. Os autores sugeriram uma densidade mínima de corrente de 20-25  $A/m^2$ , para que o sistema de eletro-coagulação opere por um longo período sem manutenção, a menos que existam medidas tomadas para uma limpeza periódica da superfície dos eletrodos.

Dentre as condições (pH = 7 e distância entre os eletrodos = 0,5 cm) que apresentaram as melhores eficiências de remoção de cor e turbidez, repetiu-se os experimentos, empregando uma voltagem de 5 V, para acompanhar a remoção de DQO. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Eficiência de remoção para a condição otimizada (voltagem = 5, pH = 7 e distância entre eletrodos = 0,5)

Efluente	Tensão (V)	pH	Distância (cm)	Cor		
				Verdadeira (mg/L Pt-Co)	Turbidez (UNT)	DQO (mg/L O <sub>2</sub> )
Bruto	-	-	-	3.750	2.200	4.351,4
Tratado	5	7	0,5	31 ± 11	1 ± 1	870 ± 47
			Remoção (%)	99,17	99,95	80,46

Pode-se observar que a eficiência de remoção para a cor verdadeira, turbidez e DQO foi de 99,17; 99,95 e 80,26 %, respectivamente utilizando a condição otimizada (Tabela 4). Estes resultados com efluente real foram muito semelhantes aos obtidos por Bensadok et. al., (2011) que utilizou um reator de eletrofloculação em batelada para o tratamento de efluentes sintéticos de leite, empregando eletrodos de alumínio e titânio. Os autores

obtiveram resultados de remoções de 99,9 e 80,3% de turbidez e DQO, respectivamente.

## Conclusões

Comparando os resultados obtidos com a literatura, observa-se que os ensaios de eletro-floculação em batelada realizados em bancada apresentaram resultados satisfatórios em eficiência de remoção dos parâmetros

avaliados (cor, turbidez e DQO) para o tratamento de efluente bruto de indústrias de laticínios.

Com três minutos de contato e ddp de 5 V, conseguiu-se obter reduções acima de 99% para cor e turbidez. Para a DQO obteve-se uma redução de 68%, ou seja, de 4.351,0 para 1.377,0 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. Esta redução foi vinculada a DQO suspensa e coloidal (micropartículas, colóides, gorduras entre outros), restando somente a DQO solúvel.

## AGRADECIMENTOS

A URI- Erechim, Secretaria C&T do RS, FAPERGS e CNPq

## AUTORES

Rogério Marcos Dallago - Doutor em Química (UFRGS), professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: dallago@uricer.edu.br

Marco di Luccio - Doutor em Engenharia Química (UFRJ), professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Campus de Florianópolis. E-mail diluccio@enq.ufsc.br

Mateus Erdmann Kühn – Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: mateus.e.k@gmail.com

Jociane Krebs - Discente do curso de Química Industrial da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: jocianekrebs@yahoo.com.br

Marielle Samuel do Nascimento - Discente do curso de Química Industrial da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: marielesn@yahoo.com.br

Toni Luis Benazzi - Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) Campus Erechim. E-mail: toni.benazzi@erechim.ifrs.edu.br

Luciana Dornelles Venquiaruto - Doutora em Educação em Ciências (UFRGS), professora da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: venquiaruto@uri.com.br

Rubia Mores - Mestranda do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim. E-mail: rubiamores@yahoo.com.br



## REFERÊNCIAS

ADHOUM N., MONSER L., 2004. Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation[J]. **Chem. Eng. Process**, 43(10): 1281–1287.

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21<sup>a</sup> Ed. Washington – DC: APHA. 2005.

ARROJO B., MOSQUERA-CORRAL A., GARRIDO J.M., MENDEZ R., Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors, **Water Res.** 38 (2004) 3389–3399.

BASKARAN K., L.M. Palmowski, B.M. Watson, Wastewater reuse and treatment options for the dairy industry, *Water Sci. Technol. Water Supply* 3 (2003) 85–91.

BELTRAN DE HEREDIA J., J.R. DOMÍNGUEZ, R. LÓPEZ, Treatment of cork process wastewater by successive chemical–physical method, **J. Agric. Food Chem.** 52 (2004) 4501–4507.

BENSADOK K., HANAFI N. El, LAPICQUE F.. Electrochemical treatment of dairy effluent using combined Al and Ti/Pt electrodes system. *Desalination* 280 (2011) 244–251.

BERKHOUT, F. and SMITH, D. (1999). Products and the environment: an integrated approach to policy. *Eur Environ* 9, 174–185.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2009/2010 a 2019/2020**, Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, Jul. 2011.

CALLAGHAN FJ, LUECKE K, WASE DAJ, THAYANITHY K, FORSTER CF. Codigestion of cattle slurry and waste milk under shock loading conditions. *J Chem Technol Biotechnol* 1997;68:405–10.

CAN O. T., BAYRAMOGLU M. e KOBYA M. Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminium electrodes. **Ind. Eng. Chem. Res.**, 42 (2003) 3391-3396.

CARMONA M, KHEMIS M, LECLERC J. P., 2006. A simple model to predict the removal of oil suspensions from water using the electrocoagulation technique[J]. **Chem. Eng. Sci.**, 61(4): 1237-1246.

CARTA-ESCOBAR F., PEREDA-MARIN J., ALVAREZ-MATEOS P., ROMERO-GUZMAN F., DUR'AN-BARRANTES M.M., BARRIGA-MATEOS F., Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime Part I: Analysis of the biodegradation process in two reactor configurations, **Biochem. Eng. J.** 21 (2004) 183–191.

CHEN X., CHEN G., YUC P.L., Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation, *Sep. Purif. Technol.* 19 (2000) 65–76; X. Chen, G. Chen, P.L. Yuc, Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation, **J. Environ. Eng.** 126 (2000) 858-863.

COCKE D. L., MOLLAH M. Y. A., SCHENNACH R., PARGA J. R.. Electrocoagulation (EC) - science and applications. Elsevier Science. *Journal of Hazardous Materials* B84 (2001) 29-41.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente . Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> acessado em 16 de Ago. de 2012.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação**: princípios e aplicações. São Carlos: RiMa Editora, 2004. 96 p.

DEMIREL B., YENIGUN O., ONAY T.T., Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, **Process Biochem.** 40 (2005) 2583–2595.

FEPAM: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao>> Acesso em: 16 mar. 2009.

GOMES, J.A.G., DAIDA, P., KESMEZ, M., WEIR, M., MORENO, H., PARGA, J.R., IRWIN, G., Mcwhinney, H., GRADY, T., PETERSON, E., COCKE, D.L., 2007. Arsenic removal by electrocoagulation using combined AlFe electrode system and characterization of products. **J. Hazard. Mater.** 139 (2), 220e231.

GUVEN G., PERENDECIA., TANYOLA A., Electrochemical treatment of simulated beet sugar factory wastewater, **Chem. Eng. J.** 151 (2009) 149–159.

HOSPIDO, A., MOREIRA, M.T. and FEIJOO, G. (2003). Simplified life cycle assessment of galician milk production. *Int Dairy J* 13, 783–796.

HAMDANIA., CHENNAOUI M., ASSOBBEI O., MOUNTADAR M., Dairy effluent characterization and treatment by coagulation decantation, *LAIT* 84 (2004) 317–328.

KARPUZCU M., DIMOGLO A., AKBULUT H.Y., Purification of agro-industrial wastewater from the grease–protein mixture by means of electroflotocoagulation, **Water Sci. Technol.** 45 (12) (2002) 233–240.

KEENAN D., SAINKOV A., Biological augmentation eliminates grease and oil in bakery wastewater, **Water Environ. Res.** 72 (2000) 141–146.

KHEMIS, M., LECLERC, J.-P., TANGUY, G., VALENTIN, G., LAPICQUE, F., 2006. Treatment of industrial liquid wastes by electrocoagulation: experimental investigations and an overall interpretation model. **Chem. Eng. Sci.** 61 (11), 3602 e 3609.

KOVATCHVA V.K., PARLAPANSKI M.D., Sono-electrocoagulation of iron hydroxides, *Colloids Surf.* 149 (1999) 603–608.

KUSHWAHA J. P., SRIVASTAVA V. C., MALL I. D. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. **Elsevier B.V.** Separation and Purification Technology 76 (2010) 198–205.

MENDES, A.A.; CASTRO, H.F. Redução do teor de lipídeos presentes em efluentes das indústrias de produtos lácteos empregando lípases pancreáticas. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 5, p. 31-39, 2004.

MOHAN S. V., MOHANAKRISHNA G., VELVIZHI G., LALIT BABU V., SARMA P.N. Bio-catalyzed electrochemical treatment of real field dairy wastewater with simultaneous power generation. **Biochemical Engineering Journal** 51 (2010) 32–39.

MONTUELLE B., COILLARD J., LEHY J.B., A combined anaerobic–aerobic process for the co-treatment of effluents from a Piggery and a Cheese Factory, **J. Agric. Eng. Res.** 51 (1992) 91–100.

NOGUEIRA, M.P. Leite: o que esperar para 2011. **Revista Balde Branco**, n. 555, p.20-24, 2011.

PERLE M., KIMCHIE S., SHELEF G., Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater, **Water Res.** 29 (1995) 1549–1954.

- POOMPAVAI, S. **Treatment of different industry wastewaters**. MPhil thesis, Pondicherry University, Pondicherry, 2002.
- RAMASAMY E.V., ABBASI S.A., Energy recovery from dairy wastewaters: impacts of biofilm support systems on anaerobic CST reactors, *Appl. Energy* 65 (2000) 91–98.
- ROSSINI M., GARRIDO J.G., GALLUZZO M., Optimization of the coagulation–flocculation treatment: influence of rapid mix parameters, **Water Res.** 33 (1999) 1817–1826.
- SARKAR B., CHAKRABARTI P.P., VIJAYKUMAR A., KALE V., Wastewater treatment in dairy industries—possibility of reuse, *Desalination* 195 (2006) 141–152.
- SENGIL A., OZACAR M., Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes, *J. Hazard. Mater. B* 137 (2006) 1197–1205.
- TCHAMANGO S., NANSEU-NJIKI C. P., NGAMENI E., HADJIEV D., DARCHEN A.. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. **Elsevier B.V.** *Science of the Total Environment* 408 (2010) 947–952.
- TEZCAN Ün, Ü., UGUR, S., KOPARAL, A.S., BAKIR ÖGÜTVEREN, Ü., 2006. Electrocoagulation of olive mill wastewaters. *Separ. Purif. Technol.* 52 (1), 136-141.
- THASSITOU, P.K. and ARVANITOYANNIS, I.S. (2001). Bioremediation: a novel approach to food waste management. *Trends Food Sci Technol* 12, 185–196.
- THEBALDI, M. S.; Sandri, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S. da; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.3, p.302–309, 2011.
- VIDAL, G., CARVALHO, A., MENDEZ, R. and LEMA, J.M. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of the dairy wastewaters. *Bioresource Technol* 74, 231–239.
- YETILMEZSOY K., ILHAN F., SAPCI-ZENGİN Z., SAKAR S., M. GONULLU T., Decolorization and COD reduction of UASB pretreated poultry manure wastewater by electrocoagulation process: A post-treatment study. **Journal of Hazardous Materials** 162 (2009) 120–132.

