

Eletrofloculação no tratamento de efluentes industriais: Suporte às práticas de gestão ambiental

SANTOS, Pedro Vieira Souza*

Colegiado de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF;

* Autor de correspondência. E-mail: pedrovieirass@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento da atividade industrial significa, em geral, aumento do consumo de recursos naturais como a água e, com isso, a poluição resultando no problema de eliminação desses resíduos. Um dos seguimentos que enquadram-se nesse perfil é a indústria têxtil. Nesse sentido, a eletrofloculação apresenta-se como uma alternativa de tratamento dos rejeitos gerados no ramo, configurando-se um método de caráter eletroquímico que tem por base a geração de bolhas de gás (geralmente H₂), o que possibilita a substituição dos aditivos flocculantes. Logo, presente artigo teve como objetivo comprovar a eficiência do processo de eletrofloculação no tratamento de efluente gerado por uma indústria têxtil localizada na cidade de Juazeiro-BA. Como principais resultados desse estudo de caso, notou-se uma redução de 95,77 % na DQO, 93,88 % na concentração de Fósforo, 98,75 % de redução no nível de turbidez, além de 92,21 % no quantitativo concentrado de sólidos totais e 99,17 % de clarificação do efluente, em média.

Palavras-chave: Efluentes; Indústria; Química; Eletrofloculação.

Electroflocculation in the treatment of industrial effluents: support to environmental management practices

ABSTRACT

The development of industrial activity generally means increasing the consumption of natural resources such as water and thus the emission of an aqueous solution without waste residues. The following is a video that fit the profile is a textile industry. In this sense, an electroflocculation is presented as an alternative treatment of tailings generated in the branch, configuring a method of electrochemical character that is based on a generation of gas bubbles (in general H₂), which allows the substitution of flocculant additives. . Therefore, the present article has resulted in the efficiency of the effluent process generated for the industry in the city of Juazeiro-BA. As a result of a case study, a reduction of 95.77% in COD was observed, 93.88% in phosphorus concentration, 98.75% reduction in turbidity level, and 92.21% in the quantitative concentrate of solids and large and 99.17% of effluent clarification, on average.

Keywords: Effluents; Industry; Chemistry; Electroflocculation.

1 Introdução

A poluição ambiental é uma ameaça potencial à manutenção dos recursos naturais. O crescimento do setor industrial aliado com o uso cada vez maior de insumos, acarreta no aumento das poluições no meio ambiente, sendo uma discussão que requer uma atenção significativa (NAMPOOTHIRI *et al.*, 2016). Em outras palavras, tem-se que o desenvolvimento de indústrias e urbanização extensiva significa aumento do consumo de água e poluição resultando no problema de eliminação desses resíduos e, infelizmente, as normas impostas pela legislação (quando existem) são por vezes facilmente desrespeitadas (ABDALLH *et al.*, 2016).

Nesse contexto, as atividades de cunho industrial representam uma importante fonte de poluentes, contribuindo para um aumento significativo nas concentrações de elementos tóxicos nos corpos d'água (SALEH *et al.*, 2014). O que pode-se notar é que a tendência de industrialização crescente no mundo inteiro poderá resultar na geração de efluentes industriais em grandes quantidades com alto conteúdo orgânico, que se tratado adequadamente, pode-se minimizar o impacto gerado por este no meio (FAZAL *et al.*, 2015).

O rejeito residual das atividades industriais apresenta grandes quantidades de material suspenso (sólidos), coloidais e sólidos dissolvidos (minerais e orgânicos). além de diversas substâncias tóxicas (MING; DE-SHENG, 2010). Entretanto, a composição do fluido rejeito promovido nas industriais varia com base no tipo de atividade e/ou segmento, o que envolve um conjunto determinado de contaminante e composição poluente com classificação geral em inorgânicos e águas residuais industriais orgânicas (ROSENWINKEL *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2017).

Incorporada nesse cenário, a indústria têxtil (objeto desse estudo) produz grandes volumes de água oriundas do beneficiamento de seus produtos, rejeito que representa aproximadamente 90% do consumo geral da indústria por tonelada de peça produzida (VON SPERLING, 2007; KARCI, 2014). Ledakowicz *et al.* (2001) apontam que significativos volumes de efluentes são gerados com alta carga de contaminantes complexos, de natureza química resistente e altamente persistentes aos processos de biodegradação.

Ademais, esse material potencial poluidor apresenta alto índice concentrado de coloração em razão da presença de corantes que não se fixam adequadamente às fibras durante o processo de manufatura (LEDAKOWICZ *et al.*, 2001). Pode-se citar ainda como parte compositora do rejeito: compostos orgânicos, compostos inorgânicos (o que representa alta Demanda Química de Oxigênio (DQO)), sólidos em suspensão e outros mais (GUARATINI; ZANONI, 2000; CISNEROS *et al.*, 2002).

Dentro das possibilidades de tratamento desse tipo particular de efluente, há uma gama de processos que podem atender às necessidades locais. Dentre os métodos, encontra-se a eletrofloculação. De forma resumida, trata-se de um método de caráter eletroquímico que tem por base a geração de bolhas de gás (geralmente H₂), o que possibilita a substituição dos aditivos flocculantes. Esse processo é dividido em quatro fases principais: geração de pequenas bolhas de gás; contato entre as bolhas e as partículas em suspensão; adsorção das pequenas bolhas na superfície das partículas e ascensão do conjunto partículas para a superfície (flotação) (PASCHOAL; TREMILIOSI-FILHO, 2005).

De acordo com Mollah et. al. (2004) o método utiliza eletrodos metálicos, em geral de Alumínio ou Ferro, para fornecer íons ao rejeito fluido, pela ação de corrente elétrica aplicada, caracterizando-se como um processo complexo que agrega vários fenômenos físicos e químicos. Porém, apesar da complexidade, comparando-se com outros métodos convencionais, essa técnica tem sido adotada com maior frequência no ambiente industrial. Tal fato é reflexo da simplicidade de operação e aplicação em diversos tipos de efluentes.

Há várias citações acerca de sua aplicabilidade, como na descontaminação de águas subterrâneas (POON, 1997), no tratamento de rejeitos da indústria de processamento de coco (CRESPILHO *et al.*, 2004), em fluidos poluidores da indústria de óleo (MOSTEFA; TIR, 2004; SANTOS *et al.*, 2006), em lavanderias (GE *et al.*, 2004) e também na remoção de íon fluoreto (SHEN *et al.*, 2003), além de ter sido empregado na indústria de alimentos e remoção de polifenóis (CRESPILHO; REZENDE, 2004); na remoção de flúor de ambientes aquosos (BAZRAFESHAN *et al.*, 2012), citando ainda o tratamentos de efluentes de curtumes (MURUGANANTHAN *et al.*, 2004), e outros mais.

Isto posto, o presente artigo tem como objetivo comprovar a eficiência do processo de eletrofloculação no tratamento de efluente gerado por uma indústria têxtil localizada na cidade de Juazeiro-BA, evidenciando ainda o suporte que o método eletro-químico agrega às práticas de gestão ambiental da empresa.

2 Abordagem teórica

2.1 Efluentes industriais

Como consequência da permanente evolução dos processos industriais, observa-se um significativo aumento na geração de resíduos. Dentre estes rejeitos, destacam-se os efluentes líquidos, tendo em vista que a introdução deste tipo de material na natureza é um problema de graves proporções, em especial no que se refere às condições de saúde pública e de integridade do meio ambiente (CERQUEIRA; MARQUES, 2011).

A geração de efluentes, portanto, é uma problemática que constante é enfrentada pelas empresas e deve ser controlada. Contudo, na maioria dos casos a ocorrência desse tipo de rejeito não pode ser evitada, indicando-se a busca por um tratamento adequado dos mesmos. Há vários tipos de efluentes citados na literatura, os quais são gerados nos mais diversos tipos de indústrias (BELTRAME *et al.*, 2016).

Para controle da poluição acarretada por esses contaminantes, tem-se duas estratégias: a redução na fonte poluidora e o tratamento direto dos resíduos. Ambas com um objetivo em comum, de remover os contaminantes ou pelo menos de minimizá-los a uma forma menos nociva (GRASSI, 2001; SANTOS *et al.*, 2016). Os tratamentos indicados para efluentes industriais englobam, em suma, processos destinados a remover as impurezas oriundas da manufatura de produtos diversos.

Deve-se observar e classificar o tipo de efluente para que os processos de tratamento sejam aplicados, dependendo ainda do controle operacional da indústria e as particularidades da água utilizada. Assim, há vários processos que podem ser destinados para este fim, como os processos físicos, químicos e biológicos (CRESPILHO; REZENDE, 2004).

Alguns parâmetros são observados na análise de tratamento de rejeitos industriais, tais como:

- Demanda Química de Oxigênio – DQO: definida como porção que mede a quantidade de matéria orgânica capaz de ser oxidada por meios químicos que existam em uma amostra de natureza líquida (PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2004);
- Turbidez: causada pela presença de sólidos suspensos, matéria coloidal e outros organismos microscópicos, correspondendo assim para a redução da transparência da água (FAY; SILVA, 2006). Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) ou *Nephelometric Turbidity Unity* (NTU);
- Cor: pode indicar a presença de substâncias orgânicas ou inorgânicas. Geralmente, é classificada em cor verdadeira ou cor aparente, onde poluentes coloridos são apontados como substâncias potencialmente tóxicas (KAO *et al.*, 2001);
- Outros, como: presença de Sólidos totais, nível de Fósforo, pH, condutividade térmica e etc.

Nesse contexto, o tratamento do tipo eletroquímico apresenta-se como uma alternativa viável de aplicação nas indústrias. Com essa prática, pode ser possível atingir uma elevada eficácia de degradação de compostos (NETO *et al.*, 2011).

2.2 Processo de eletrofloculação

A eletrocoagulação apresenta-se como uma técnica de caráter eletroquímico que consiste na geração de coagulantes *in situ* dissolvendo-se eletricamente através de íons de alumínio ou de ferro, por meio dos eletrodos. A geração de íons metálicos ocorre no ânodo, quando o gás hidrogênio é liberado do cátodo. Nesse aspecto, o gás hidrogênio auxilia na flutuação das partículas floculadas para a superfície do recipiente (TORRES-SÁNCHEZ *et al.*, 2014).

A técnica baseia-se nos princípios eletroquímicos, isto é, a base do tratamento são fenômenos de eletrólise que ocorrem ao serem submetidos ao contato entre o efluente a ser tratado e os dois eletrodos (podendo ser de Ferro - Fe ou Alumínio - Al), dispostos de forma paralela, alimentadas por uma corrente elétrica de fonte contínua (KUOKKANEN *et al.*, 2013). Assim, o processo envolve três etapas sucessivas, sendo:

- Formação de coagulantes por oxidação eletrolítica do eletrodo de sacrifício;
- Desestabilização dos contaminantes, suspensão de partículas e quebra de emulsões;
- Agregação da fase desestabilizada para formar flocos (CHATURVEDI, 2013).

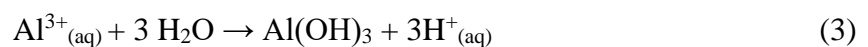
Quando se utiliza o alumínio como material do eletrodo de sacrifício, são gerados íons de Al^{3+} , a partir da aplicação de um potencial elétrico, gerando a reação 1 (KILIC *et al.*, 2009):



A partir de reações secundárias, ocorre a formação do hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$), por meio da reação 2 e 3:



Em condições onde tem-se nível levemente ácido, por meio da hidrólise da água, a reação 3 ocorre:



As reações eletroquímicas ocorrem no ânodo e o cátodo de uma célula eletrolítica quando uma tensão de corrente direta externa é aplicada, sendo o principal reagente o elétron, que é conceituado como um reagente limpo, o que explica a menor quantidade produzida de resíduos associados a esse procedimento (BARRERA DÍAZ; GONZÁLEZ-RIVAS, 2015). Logo, as técnicas e/ou processos de tratamento de cunho eletroquímico atraem a atenção por causa de sua versatilidade e compatibilidade ambiental.

Portanto, como vantagens, pode-se eleger:

- A exigência de equipamento relativamente simples e de fácil operação;
- A célula eletroquímica requer baixo investimento inicial com baixo custo operacional;

- Os processos eletrolíticos na célula são controlados eletricamente e sem movimento, exigindo menos manutenção;
- Não requer produtos químicos. Portanto, não há problema em neutralizar o excesso de produtos químicos e não há possibilidade de poluição secundária causada por substâncias químicas;
- O processo é resistente a ácidos e mais estável e, portanto, pode ter o *output* separado mais rapidamente por filtração;
- O procedimento produz efluente com menor teor de sólidos dissolvidos totais em comparação com tratamentos químicos (MOLLAH *et al.*, 2004).

Por outro lado, apresenta algumas desvantagens, tais como:

- Em alguns sistemas, pode ocorrer a formação impermeável de filmes de óxidos no cátodo, provocando a perda de eficiência da célula de eletrocoagulação;
- É necessária uma alta condutividade da suspensão de águas residuais;
- O hidróxido gelatinoso produzido pode tender a ser solubilizado em alguns casos;
- Devido à oxidação, o ânodo sacrificial dissolvido precisa ser substituído regularmente;
- O uso de eletricidade pode ser caro em alguns casos (MURUGANANTHAN; RAJU; PRABHAKAR, 2004).

Portanto, segundo Tian *et al.* (2016), a técnica mostra-se viável de aplicação em diversos contextos industriais, promovendo a formação de reagentes coagulantes em águas residuais que ajuda a coagular poluentes e a formação de bolhas que favorece a mistura (eletrofloculação) além da remoção de sólidos em suspensão por flotação (eletroflotação).

3 Metodologia

3.1 Caracterização da pesquisa

Quanto a classificação desse estudo em relação à escolha do objeto de estudo, enquadra-se como estudo de caso. Segundo Yin (2001), o estudo de caso é caracterizado pelo estudo exaustivo dos fatos objetos de investigação, permitindo um amplo conhecimento da realidade e dos fenômenos pesquisados. “Um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001 p. 33).

Do ponto de vista da classificação quanto à natureza da pesquisa, a mesma é definida como Quantitativa. Para Malhotra (2001, p.155), “a pesquisa qualitativa proporciona uma melhor visão e compreensão do contexto do problema, enquanto a pesquisa quantitativa procura

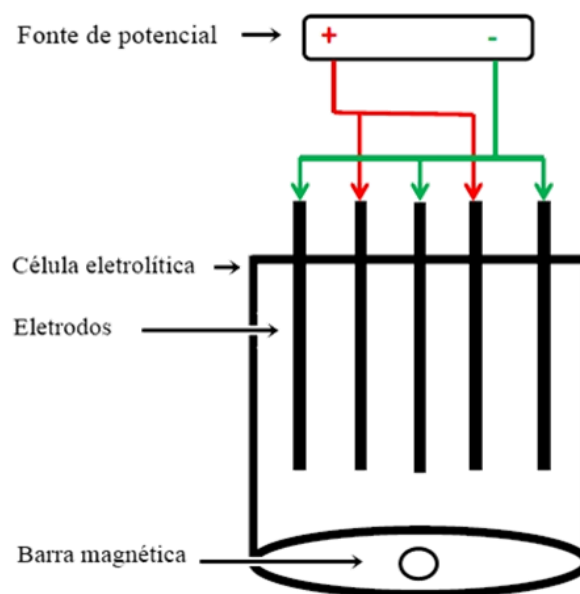
quantificar os dados e aplica alguma forma da análise estatística”. Quanto aos objetivos do estudo, esta pesquisa caracteriza-se como descritiva, no intuito de descrever as características de determinadas populações ou fenômenos (GIL, 2008).

3.2 Etapas da pesquisa

Para cumprimento do desenvolvimento da presente pesquisa, as etapas foram seguidas:

- a) Construção do reator: a primeira atividade foi o desenvolvimento do reator para eletrofloculação. Para isso, foi-se adotado o modelo estrutural proposto por Mollah *et al.* (2004), conforme esquematização abaixo (Figura 1);

Figura 1 – Estrutura de reação eletroquímica



Fonte: Dados da pesquisa

- b) Teste operacional I: para garantir que o reator iria funcionar nas etapas seguintes, com o uso de efluente bruto, foi-se testado o funcionamento dos elementos de composição do equipamento. Realizou-se um estudo preliminar com adição de 0,8 de efluente;
- c) Teste operacional II: no segundo teste, foi possível avaliar as distâncias dos eletrodos e a voltagem aplicada mais indicada para a ocasião. Esta etapa é importante, pois estas variáveis afetam diretamente a densidade de corrente;
- d) Coleta de dados: após verificar a operacionalidade do reator, foram coletadas doze amostras do efluente da empresa. Cada amostra contendo 1,0 litro de rejeito bruto, armazenadas em recipientes protegidos e vedados;
- e) Detecção preliminar: nessa fase, o material coletado pôde ser analisado quanto aos níveis de concentração de Demanda Química de Oxigênio, Nível de Fósforo, Turbidez,

Sólidos Totais e Cor; os dados foram catalogados para efeito de comparação após a saída do efluente do reator;

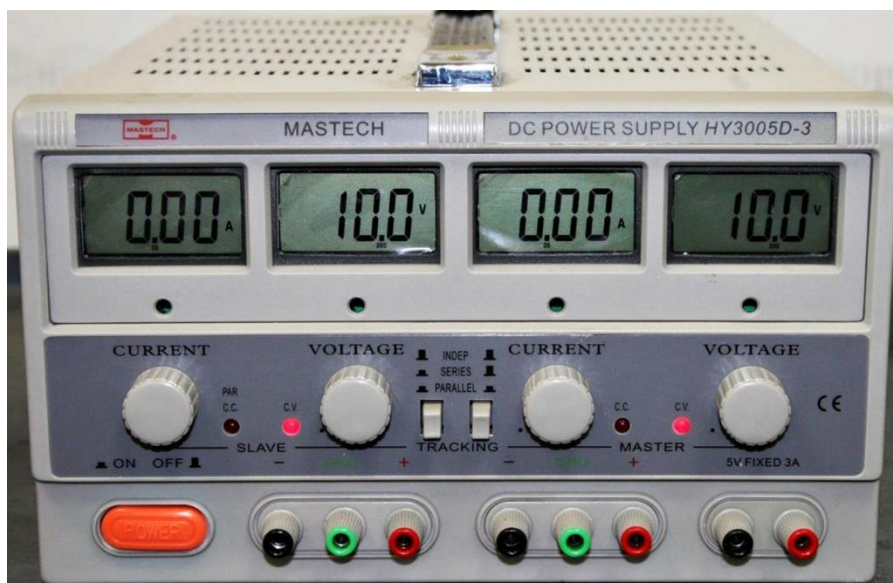
- f) Submissão à reação eletroquímica: nessa atividade, o efluente bruto foi introduzido no reator. Cada amostra (1 L) foi utilizada em sua totalidade, sendo o volume do reator de 1,2 L;
- g) Análise pós reação: por fim, o efluente tratado foi analisado em termos de concentração dos elementos citados na etapa “e”; os resultados foram registrados e colocados em comparação com os dados do material em estado bruto.

4 Resultados e discussão

4.1 Estrutura eletroquímica

Para construção do equipamento utilizado no estudo, o reator de eletrofloculação foram utilizados como materiais: eletrodos em paralelo, um agitador magnético (Modelo 752A/Fisatom), uma fonte de potencial modelo Mastech HY3005D (Figura 2), um recipiente cilíndrico de vidro com capacidade para 1,2 litros, placas de alumínio (com 2,5 milímetros de espessura por 15 centímetros de altura e 7,5 centímetros de largura).

Figura 2 – Fonte de potencial HY3005D



Fonte: Dados da pesquisa

No recipiente de vidro foram inseridos na posição vertical quatro eletrodos de alumínio conectados paralelamente, com dimensões de 150 mm de altura e 75 mm de largura, separadas por espaçadores de madeira, em 4 cm de espaçamento cada.

4.2 Coleta inicial

Dado a disponibilidade do equipamento, aprovada em testes de laboratório, pôde-se dar início ao procedimento de coleta do efluente a ser analisado. Na tabela 1, pode-se observar os dados relacionados ao fator Demanda Química de Oxigênio – DQO (mg/L^{-1}).

Tabela 1 – Demanda Química de Oxigênio – Efluente bruto

Item amostral	DQO (mg/L^{-1})	Item amostral	DQO (mg/L^{-1})
01	417,7	07	417,5
02	416,5	08	417,5
03	417,8	09	417,8
04	417,8	10	416,9
05	416,9	11	417,9
06	417,7	12	417,8

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se uma pequena variação na detecção do nível de DQO devido ao momento de coleta de dados ser diferente, porém, valores aceitáveis para submissão ao estudo. Outro elemento observado na coleta foi a concentração do elemento Fósforo presente no rejeito fluido. Os dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Nível de Fósforo – Efluente bruto

Item amostral	Fósforo (mg/L^{-1})	Item amostral	Fósforo (mg/L^{-1})
01	18,85	07	18,85
02	18,84	08	18,84
03	18,85	09	18,80
04	18,80	10	18,84
05	18,88	11	18,85
06	18,55	12	18,86

Fonte: Dados da pesquisa

Para efeito de análise, foi-se detectado o nível de turbidez do efluente, demonstrado na Tabela 3, em *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).

Tabela 3 – Nível de Turbidez – Efluente bruto

Item amostral	Turbidez (NTU)	Item amostral	Turbidez (NTU)
01	118	07	118
02	118	08	117
03	118	09	118
04	117	10	119
05	117	11	118
06	118	12	118

Fonte: Dados da pesquisa

O quarto elemento submetido ao procedimento de análise pós coleta, foi a quantidade de Sólidos Totais (ST), conforme mostra Tabela 4.

Tabela 4 – Sólidos Totais – Efluente bruto

Item amostral	ST (mg/L)	Item amostral	ST (mg/L)
01	477,2	07	477,2
02	477,1	08	477,1
03	477,6	09	477,0
04	476,9	10	477,1
05	477,1	11	477,1
06	476,8	12	477,1

Fonte: Dados da pesquisa

A cor do efluente bruto foi convertida em unidade de escala platina-cobalto, também designada por escala Pt/Co, para efeito de comparação após o processo de eletrofloculação. Os dados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Cor – Efluente bruto

Item amostral	Cor (mg/L Pt-Co)	Item amostral	Cor (mg/L Pt-Co)
01	855,1	07	855,1
02	855,2	08	855,1
03	855,1	09	855,1
04	855,0	10	855,0
05	855,2	11	854,9
06	855,1	12	855,1

Fonte: Dados da pesquisa

Após a detecção da concentração dos elementos acima citados, as amostras do efluente bruto foram aplicadas ao reator de eletrofloculação.

4.3 Submissão ao processo

Após a submissão das doze amostras coletadas, o efluente “tratado” foi analisado novamente, quanto aos níveis de concentração de Demanda Química de Oxigênio, Fósforo, Turbidez, Sólidos Totais e Cor. Os valores identificados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados dos níveis de concentração no efluente tratado

Item amostral	DQO (mg/L ⁻¹)	Fósforo (mg/L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	ST (mg/L)	Cor (mg/L Pt-Co)
01	18,5	1,14	1,5	37,0	7,13
02	18,4	1,16	1,7	37,1	7,01
03	17,8	1,15	1,5	37,2	7,05
04	17,7	1,16	1,4	36,8	7,09
05	18,1	1,18	1,4	37,3	7,08
06	17,2	1,11	1,3	36,6	7,08
07	17,5	1,15	1,4	37,4	7,06
08	17,5	1,11	1,4	37,7	7,11
09	17,4	1,16	1,6	37,0	7,06
10	16,4	1,17	1,5	37,1	7,10
11	17,6	1,17	1,5	37,3	7,11
12	17,8	1,17	1,5	37,3	7,08

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A partir da Tabela 6, pode-se notar a significativa evolução em termos de redução da concentração de fatores poluentes. Tal ganho pode ser comparado com o estado inicial, para evidenciar a eficiência do processo adotado.

4.4 Comportamento observado

Tendo em vista os resultados obtidos, a comparação entre o estado inicial (efluente bruto) e o estado final (efluente tratado) pode ser observada. O primeiro item a ser comparado, foi a concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO), de acordo com Tabela 7.

Tabela 7 – Estado inicial *versus* final - DQO

Item amostral	DQO (mg/L ⁻¹)		
	Efluente bruto	Efluente tratado	Redução (%)
01	417,7	18,5	95,57
02	416,5	18,4	95,58
03	417,8	17,8	95,74
04	417,8	17,7	95,76
05	416,9	18,1	95,66
06	417,7	17,2	95,88
07	417,5	17,5	95,81
08	417,5	17,5	95,81
09	417,8	17,4	95,84
10	416,9	16,4	96,07
11	417,9	17,6	95,79
12	417,8	17,8	95,74
Média	417,48	17,66	95,77

Fonte: Dados da pesquisa

Por outro lado, pode-se evidenciar a redução dos níveis de Fósforo no efluente amostrado, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Estado inicial *versus* final - Fósforo

Item amostral	Fósforo (mg/L ⁻¹)		
	Efluente bruto	Efluente tratado	Redução (%)
01	18,85	1,14	93,95
02	18,84	1,16	93,84
03	18,85	1,15	93,90
04	18,80	1,16	93,83
05	18,88	1,18	93,75
06	18,55	1,11	94,02
07	18,85	1,15	93,90
08	18,84	1,11	94,11
09	18,80	1,16	93,83
10	18,84	1,17	93,79
11	18,85	1,17	93,79
12	18,86	1,17	93,80
Média	18,82	1,15	93,88

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação aos níveis de Turbidez no efluente observado, a evolução do rejeito em relação aos níveis observados é listada na Tabela 9.

Tabela 9 – Estado inicial *versus* final - Turbidez

Item amostral	Turbidez (NTU)		
	Efluente bruto	Efluente tratado	Redução (%)
01	118	1,5	98,73
02	118	1,7	98,56
03	118	1,5	98,73
04	117	1,4	98,80
05	117	1,4	98,80
06	118	1,3	98,90
07	118	1,4	98,81
08	117	1,4	98,80
09	118	1,6	98,64
10	119	1,5	98,74
11	118	1,5	98,73
12	118	1,5	98,73
Média	117,83	1,48	98,75

Fonte: Dados da pesquisa (2018)

A partir da Tabela 10, evidencia-se a evolução em termos de remoção da quantidade de Sólidos Totais presentes no efluente analisado.

Tabela 10 – Estado inicial *versus* final – Sólidos Totais

Item amostral	Sólidos Totais (mg/L)		
	Efluente bruto	Efluente tratado	Redução (%)
01	477,2	37,0	92,25
02	477,1	37,1	92,22
03	477,6	37,2	92,21
04	476,9	36,8	92,28
05	477,1	37,3	92,18
06	476,8	36,6	92,32
07	477,2	37,4	92,16
08	477,1	37,7	92,10
09	477,0	37,0	92,24
10	477,1	37,1	92,22
11	477,1	37,3	92,18
12	477,1	37,3	92,18
Média	477,11	37,15	92,21

Fonte: Dados da pesquisa

Por fim, os níveis de cor do efluente são apontados em seus valores iniciais e finais, após a submissão ao procedimento eletroquímico. A Tabela 11 contém tais valores.

Tabela 11 – Estado inicial *versus* final – Cor

Item amostral	Cor (mg/L Pt-Co)		
	Efluente bruto	Efluente tratado	Redução (%)
01	855,1	7,13	99,17
02	855,2	7,01	99,18
03	855,1	7,05	99,18
04	855,0	7,09	99,17
05	855,2	7,08	99,17
06	855,1	7,08	99,17
07	855,1	7,06	99,17
08	855,1	7,11	99,17
09	855,1	7,06	99,17
10	855,0	7,10	99,17
11	854,9	7,11	99,17
12	855,1	7,08	99,17
Média	855,08	7,08	99,17

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se que, por meio do processo adotado, reduziu-se em altos valores o nível de DQO nas amostras de efluentes. Esta análise mostra-se importante devido a ser um importante parâmetro para medir a quantidade de matéria orgânica suscetível de oxidação por meios químicos na amostra líquida. Por outro lado, a redução da coloração e, conseqüentemente, turbidez da água mostram-se como ganhos que indicam, de imediato, a minimização do estado

de decomposição do rejeito. A menor concentração de material orgânico (eventualmente nutrientes como Fósforo), reforça ainda a potencial utilização do procedimento. Associado a isso, a eliminação da maior parte de matéria sólida apresenta-se como importante vantagem desse método, sendo uma necessidade constante em efluentes que possuem alto grau de sólidos totais em suspensão.

Logo, os resultados obtidos, demonstram que o efluente pode ser tratado por meio do método eletroquímico. Indicam ainda que a técnica é eficiente, sendo capaz de alcançar uma média de 98% de remoção de agentes poluidores, permitindo flocular esses elementos contaminantes sem ter que adicionar coagulantes. Cita-se ainda a possibilidade de que esse processo seja combinado com outros já empregados, podendo ser superior e/ou potencializar a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos do fluido contaminado.

5 Considerações finais

O presente trabalho possibilitou atestar a viabilidade técnica de se aplicar uma técnica eletroquímica no tratamento de efluente de uma indústria têxtil. Como principais resultados desse estudo de caso, notou-se uma redução de 95,77 % na Demanda Química de Oxigênio (DQO), 93,88 % na concentração de Fósforo, 98,75 % de redução no nível de turbidez, além de 92,21 % no quantitativo concentrado de sólidos totais e 99,17 % de clarificação do efluente, em média para as doze amostras coletadas.

Em suma, afirma-se que os resultados demonstraram a viabilidade de eletrofloculação como uma técnica confiável para remoção de agentes poluidores diversos. Como principal proposta de estudos futuros, pode-se citar estudo de viabilidade técnico-financeira de implementar (em maior escala) um reator eletroquímico na planta industrial estudada, tendo em vista que os custos poderiam ser muito competitivos com a precipitação química tradicional.

Além disso, sugere-se analisar a influência de outros vários parâmetros no comportamento das reações citadas, como por exemplo: pH, tensão aplicada e tempo de reação, materiais de eletrodo, o desenho de eletrodos, polaridade alternada, densidade atual e outros mais. Deve levar em conta as propriedades do material residual a ser tratado, incluindo concentrações químicas e tamanho de partícula, que também afetam a eficiência do método.

Referências bibliográficas

ABDALLH, M. N.; ABDELHALIM, W. S.; ABDELHALIM, H. S. Industrial Wastewater Treatment of Food Industry Using Best Techniques. **International Journal of Engineering Science Invention**, v. 5, n. 8, p. 15-28, 2016.

BARRERA DÍAZ, C. E.; GONZÁLEZ-RIVAS, N. The Use of Al, Cu, and Fe in an Integrated Electrocoagulation-Ozonation Process, **Journal of Chemistry**, v. 2015, p. 1-6, 2015.

BAZRAFESHAN, E.; OWNAGH, K. A.; MAHVI, A. H. Application of Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminum Electrodes for Fluoride Removal from Aqueous Environment. **E-Journal of Chemistry**, v.9, n. 4, p. 2297-2308, 2012.

BELTRAME, T. F.; LHAMBY, A. R.; BELTRAME, A. Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental: Uma discussão sobre o tema. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 351-362, 2016.

CERQUEIRA, A. A., MARQUES, M. R. C. Avaliação do Processo Eletrolítico em Corrente Alternada no Tratamento de Água de Produção. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 59 - 63, 2011.

CHATURVEDI, S. I. Electrocoagulation: A Novel Waste Water Treatment Method. **International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**, v. 3, n. 1, p. 93-100, 2013.

CISNEROS, R. L.; ESPINOZA, A. G.; LITTER, M. I. photo degradation of an azo dye of the textile industry, **Chemosphere**, v. 48, p. 393, 2002.

CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M. O. O. **Eletroflotação**: princípios e aplicações. São Carlos: Rima, 2004.

FAY, E. F.; SILVA, C. M. M. S. **Índice de uso sustentável da água (ISA – Água) na região do sub - médio São Francisco**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

FAZAL, S.; ZHANG, B.; ZHONG, Z.; GAO, L.; CHEN, X. Industrial Wastewater Treatment by Using MBR (Membrane Bioreactor) Review Study. **Journal of Environmental Protection**, v. 6, p. 584-598, 2015.

GE, J.; QU, J.; LEI, P.; LIU, H., New bipolar electrocoagulation – electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. **Separation and Purification Technology**, n 36, p. 33-39, 2004.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRASSI, M. T. **As águas do planeta Terra**. Química Nova na Escola: Edição Especial, 2001.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71-77, 2000.

KAO, C.M.; CHOU, M.S.; FANG, W.L.; LIU, B.W.; HUANG, B.R. Regulating colored textile wastewater by 3/31 wavelength admittance methods in Taiwan. **Chemosphere**, v. 44, n. 5, p. 1055-1063, 2001.

KARCI, A. Degradation of chlorophenols and alkylphenolethoxylates, two representative textile chemicals, in water by advanced oxidation processes: The state of the art on transformation products and toxicity. **Chemosphere**, v. 99, p. 1-18, 2014.

KILIC, M. G.; HOSTEN, Ç.; DEMIRCI, S. A parametric comparative study of electrocoagulation and coagulation using ultrafine quartz suspensions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, p.247-252, 2009.

KUOKKANEN, V.; KUOKKANEN, T.; RÄMÖ, J.; LASSI, U. Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater—A Review. **Green and Sustainable Chemistry**, v. 3, p. 89-121, 2013.

LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. Biodegradation, decolourization and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes. **Journal of Biotechnology**, v. 89, p. 175-184, 2001.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MING, Y.; DE-SHENG, W. Experimental Study of Antibiotic Wastewater. Journal of MBR Treatment. **Environmental Protection and Recycling Economy**, v. 9, p. 54-55, 2010.

MOLLAH, M.Y.A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L., Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. **Journal of Hazardous Materials**, v. B114, p. 199-210, 2004.

MOSTEFA, N. M.; TIR, M., Coupling flocculation with electroflotation for waste oil/water emulsion treatment. Optimization of the operating conditions. **Desalination**, v. 161, p. 115-121, 2004.

MURUGANANTHAN, M.; RAJU, G. B.; PRABHAKAR, S. Separation of pollutants from tannery effluents by electro flotation. **Separation and Purification Technology**, v. 40, n. 1, p. 69-75, 2004.

NAMPOOTHIRI, M.G.H.; MANILAL, A. M.; SOLOMAN, P.A. Control of Electrocoagulation Batch Reactor for Oil removal from Automobile Garage Wastewater. **Procedia Technology**, v. 24, p. 603 – 610, 2016.

NETO, S. A.; MAGRI, T.C.; SILVA, G. M.; ANDRADE, A. R. Tratamento de resíduos de corante por eletrofloculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química Nova**, v. 34, n. 8, 2011, p. 1468-1471.

PASCHOAL, F. M. M.; TREMILIOSI-FILHO, G. Aplicação da Tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 766-772, 2005.

PHILIPPI JUNIOR, A. R.; ANDRADE, M.; COLLET, B. G. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Malone, 2004.

POON, C. P. C., Electroflotation for groundwater decontamination. **Journal of Hazardous Materials**, v. 550, p. 159-170, 1997.

ROSENWINKEL, K. H.; AUSTERMANN-HAUN, U.; MEYER, H. **Industrial Wastewater Sources and Treatment Strategies, Environmental Biotechnology: Concepts and Applications**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2005.

SALEH, M. Y.; ENANY, G. E.; ELZAHAR, M. H.; ELSHIKHIPY, M. Z. Industrial Wastewater Treatment Using High Rate Activated Sludge and Alum Additive. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 5, n. 6, p. 551-556, 2014.

SANTOS, M. R. G.; GOULART, M. O. F.; TONHOLO, J.; ZANTA, C. L. P. S., The application of electrochemical technology to the remediation of oily wastewater. **Chemosphere**, n. 64, p. 393-399, 2006.

SANTOS, P. V. S.; ARAÚJO, M. A.; CEOLIN, A. C. Identificação de oportunidades em produção mais limpa (p+l) na indústria de couro: um estudo de caso. In: IV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP, 2016, Recife - PE. **Anais do IV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMEP**, 2016. v. 1.

SANTOS, P. V. S.; FERNANDES, C. H. A.; MENDONÇA, J. C. A. S. Projetos socioambientais: um olhar multidimensional sob as perspectivas geradas nos âmbitos escolar e comunitário. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, v. 2, p. 111-125, 2017.

SHEN, F.; CHEN, X.; GAO, P.; CHEN, G. Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater. **Chemical Engineering Science**, v. 58, p. 987-993, 2003.

TIAN, Y.; HE, W.; ZHU, X.P.; YANG, W.; REN, N.-Q.; LOGAN, B. Energy efficient electrocoagulation using an air-breathing cathode to remove nutrients from wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 292, p. 308-314, 2016.

TORRES-SÁNCHEZ, A. L.; LÓPEZ-CERVERA, S. J.; DE LA ROSA, C.; MALDONADO-VEGA, M.; MALDONADO-SANTOYO, M.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Electrocoagulation Process Coupled with Advance Oxidation Techniques to Treatment of Dairy Industry Wastewater. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, p. 6103 – 6112, 2014.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In: VON SPERLING, M (Org.). **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v. 1. 3. ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 456p.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.