

APRENDIZAGEM INTERDISCIPLINAR: ELETROFLOCULAÇÃO A PARTIR DE ENERGIA SOLAR

Marcos E. Nepomuceno – marcos.nepomuceno@unifeb.edu.br
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
Avenida Professor Roberto Frade Monte, n° 389
CEP: 14.783-266 – Barretos – São Paulo

Norberto Luiz Amsei Junior – norberto.amsei@unifeb.edu.br
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
Avenida Professor Roberto Frade Monte, n° 389
CEP: 14.783-266 – Barretos – São Paulo

Caren E. Studer – carencaetano@gmail.com
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
Avenida Professor Roberto Frade Monte, n° 389
CEP: 14.783-266 – Barretos – São Paulo

Mylla Christie dos Santos Oliveira - myllachristie.soliveira95@gmail.com
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
Avenida Professor Roberto Frade Monte, n° 389
CEP: 14.783-266 – Barretos – São Paulo

Isadora da Silva Pereira - isadorapereira36@gmail.com
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB
Avenida Professor Roberto Frade Monte, n° 389
CEP: 14.783-266 – Barretos – São Paulo

Resumo: A poluição dos recursos hídricos se deve à deposição inadequada de rejeitos na água. Em busca da sustentabilidade ambiental, é crescente o uso de tecnologias que visam à degradação ou imobilização de poluentes. O relato deste artigo se refere a uma experiência interdisciplinar dos Cursos de Engenharia Química e Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – SP- UNIFEB. Trata-se da construção de um protótipo que demonstra processo de eletrofloculação a partir de energia solar. Utilizou-se uma placa fotovoltaica comercial e um efluente, simulando um tingimento, como ocorre em uma indústria têxtil real. Após o teste em laboratório, observou-se que o reator do experimento se mostrou eficiente para o tratamento de água.

Palavras-chave: Eletrofloculação. Efluente têxtil. Energia solar. Tratamento de efluentes.

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, são produzidas mais de 700.000 toneladas de corantes e pigmentos em todo o mundo e o setor têxtil apresenta destaque, com geração e lançamento de grande volume de efluentes de composição bastante variada no ambiente (REZENDE, 2012). Aproximadamente 30% destes corantes aplicados, não aderem às fibras dos tecidos, produzindo, assim, resíduos que tornam os efluentes coloridos, tóxicos e resistentes aos tratamentos químicos, físicos e biológicos convencionais, o que pode levar a mudanças no ecossistema, alterando os ciclos biogeoquímicos, principalmente, a fotossíntese e a solubilidade de gases (REZENDE, 2012).

Além desses fatores, a vasta liberação de azo-corantes no meio ambiente, os quais apresentam efeito carcinogênico e mutagênico, constitui um grande problema ambiental e perfaz em torno de 60% da quantidade de tintura consumida em todo mundo. A despigmentação dos efluentes é tão importante quanto a redução de sua toxicidade, já que a concentração menor que 1 mgL^{-1} altera as condições da biota aquática (CLAUSEN e TAKASHIMA, 2007).

O Instituto Blacksmith (2012), em parceria com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), realizou uma pesquisa sobre os piores problemas relacionados à poluição, em cuja listagem aparecem a fabricação de produtos químicos e as indústrias têxteis com a produção de resíduos de efluentes. Ambos podem apresentar um grande risco à população em relação à saúde pública, devido à contaminação tóxica, quando exposta ao meio ambiente.

Na indústria têxtil, há tempos, são utilizados diversos tipos de corantes, mas o que vem preocupando são as quantidades aplicadas destas substâncias. Estas substâncias podem ser tóxicas para o ambiente tais como cromo, cobre e outros elementos metálicos, comumente, encontrados nos corantes. E, ao longo do processo de fabricação, muitos outros aditivos são utilizados, como solventes e compostos químicos.

Na intenção de se buscarem novos métodos de tratamento, procurou-se desenvolver um sistema eletroquímico para tratar águas com resíduo sintético, contendo corante que simula água de indústria têxtil. O Curso de Engenharia Química do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), construiu um reator eletroquímico, alimentado por um painel fotovoltaico, capaz de tratar as amostras de corantes e gerar produto para análise, tais como pH, cor e turbidez, em tempo real. Por sua natureza, este projeto utilizou uma fonte de energia abundante e renovável, com o intuito de minimizar os gastos no processo de tratamento da água. A corrente elétrica é aplicada a um conjunto de eletrodos, os quais provocam o movimento dos elétrons, fazendo com que os íons positivos do metal coagulem os colóides do efluente, aumentando os flocos e facilitando a retirada dos poluentes. Tal equipamento, ainda não existente no mercado brasileiro, poderá ser relevante para a área de pesquisa de tratamento de água proveniente da indústria têxtil.

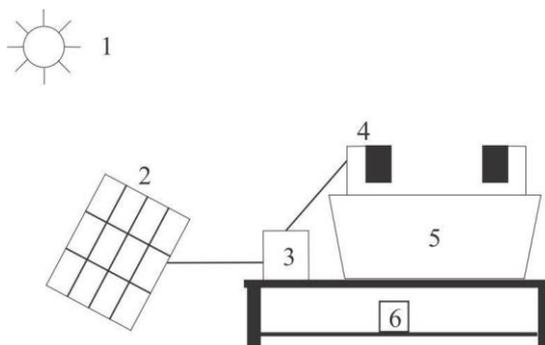
2. OBJETIVO

Produzir um protótipo capaz de tratar e filtrar sujidades do efluente por meio de uma corrente elétrica fornecida por uma placa painel fotovoltaica, interligando duas áreas acadêmicas próximas como as de Engenharia Química e Elétrica, resultando em uma aprendizagem interdisciplinar para os discentes envolvidos.

3. METODOLOGIA

Para a execução deste projeto, foi desenvolvido um reator para o processo eletroquímico montado pelo laboratório do Centro de Inovação Tecnológico (CIT) do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – UNIFEB, no estado de São Paulo. O reator foi confeccionado conforme a Figura 1 abaixo. Determinaram-se alguns parâmetros físico-químicos, tais como turbidez, cor, pH e tempo de realização das amostras de corante.

Figura 1. Esquema do protótipo: 1- energia solar; 2 – placa fotovoltaica; 3 - caixa de montagem; 4 - hastes com eletrodos fixados; 5 - caixa de armazenamento do resíduo; 6 - bomba para filtrar o resíduo.



Fonte: Própria.

A placa fotovoltaica fornece corrente elétrica de forma controlada para os eletrodos de aço carbono, os quais, em contato com o efluente, fazem com que a reação eletroquímica aconteça, facilitando a separação da sujeira do efluente. Para esse controle, ao longo da reação, foram retiradas amostras de água do experimento (Figura 2) com intervalo de 1 hora de reação para verificação dos parâmetros pré-estabelecidos. Para a leitura do parâmetro turbidez, utilizou-se o equipamento HACH 2100P Turbidimeter e os resultados foram expressos em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez); para o parâmetro cor, o equipamento utilizado foi o HACH DR 2700, promovendo a leitura direta em UC (Unidades de Cor) e para a medição do pH, o WTW pH 315i foi calibrado de acordo com as normas do equipamento.

Figura 2. Cinco amostras de água retiradas do experimento para análises.



Fonte: Própria.

3.1 Desenvolvimento

Na primeira etapa do projeto, foi realizada a descrição dos elementos eletroeletrônicos aplicados no protótipo desenvolvido para, então, na sequência, descrever o processo químico envolvido neste trabalho.

Sistemas fotovoltaicos reagem à luz do sol transformando parte dela em eletricidade. A luz do sol é composta de diferentes cores combinadas e cada uma das radiações visíveis e invisíveis do espectro do sol tem uma energia diferente. Dentro da parte visível do espectro (vermelho a violeta), o vermelho está na extremidade de baixa energia e o violeta está no meio energético de alta energia, tendo novamente mais energia como luz vermelha.

A radiação de luz pode ser caracterizada por parâmetros associados às ondas. Todas as ondas têm certa distância entre os picos, chamado de comprimento de onda. Este comprimento de onda também pode ser expresso como uma frequência ou número de picos

em uma distância especificada ou durante um tempo específico de propagação. Para ondas de luz, a energia associada com a onda aumenta conforme o aumento da frequência (diminuindo o comprimento de onda). Luz vermelha apresenta um comprimento de onda de aproximadamente 0,66 micrometros ou 3×10^{-12} ergs [3×10^{-24} kW-h por "partícula" de luz (fóton)]. Já a luz violeta apresenta aproximadamente 0,44 micrômetros ou $4,5 \times 10^{-12}$ ergs [$4,5 \times 10^{-24}$ kW-h] por fóton.

O Sol pode ser uma fonte constante de energia, mas, na superfície da Terra, a distribuição de sua energia e a constância de sua radiação dificilmente são as ideais. Um sistema fotovoltaico não pode ser projetado sem prever as variações associadas ao espectro de energia e suas disponibilidades. Assim, a energia solar para conversão fotovoltaica em eletricidade, é abundante, inesgotável e limpa.

A transformação da energia solar para energia elétrica se dá por meio do efeito fotovoltaico, ou seja, geração de uma corrente elétrica correspondente num material específico, após a sua exposição à luz. Na Figura 3, pode ser visto um painel fotovoltaico e seus componentes básicos.

Figura 3. Painel fotovoltaico.



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br>. Acesso em: 12 set. 2018.

A energia gerada pelas fontes renováveis como, por exemplo, as placas fotovoltaicas, ainda é um desafio que exige que os estágios de conversão sejam robustos e confiáveis para garantirem uma alta qualidade de energia nos suprimentos e cargas. Encontram-se, no mercado, alguns dispositivos que são específicos para esta finalidade como, por exemplo, o Conversor DC-DC Step Down - Modelo SDC-12, fabricado pela empresa canadense Samlexamerica, conforme Figura 4:

Figura 4. Data Sheet SDC-12



MODEL NO.	SDC-12	
CAUTION! THERE IS NO ISOLATION BETWEEN THE INPUT AND THE OUTPUT INPUT AND OUTPUT HAVE A COMMON NEGATIVE		
VOLTAGE	INPUT TO OUTPUT ISOLATION	Not isolated: Input and output connections have a common negative
	INPUT VOLTAGE	20 to 32 VDC
	OUTPUT VOLTAGE	13.8 VDC \pm 0.1 V
OUTPUT CURRENT	OUTPUT VOLTAGE REGULATION	3%
	INPUT CURRENT AT NO LOAD	< 5 mA
	CONTINUOUS CURRENT LIMIT	12 A
ENVIRONMENT	OUTPUT RIPPLE AND NOISE	less than 50 mV RMS
	EFFICIENCY	~ 92%
	OPERATING AMBIENT TEMPERATURE	-20° to +30° C (derate linearly to zero at 70° C)
PROTECTIONS	HUMIDITY	Max. 95%, non condensing
	OVERLOAD	By current limiting
	OVER HEATING	Drop in output voltage
SAFETY AND EMC STANDARDS	REVERSE POLARITY	Fuse protection, 5 A
	OVER VOLTAGE	Varistor (also protects against load dump)
	INPUT SIDE FUSE	12 A (inside the unit)
GENERAL	EMISSION	EN50081-1
	IMMUNITY	EN50082-1
	AUTOMOTIVE DIRECTIVE	95 / 45 / EC
GENERAL	INPUT / OUTPUT CONNECTIONS	Terminal Block - 6.3 mm male flat tab, quick connect
	DIMENSIONS, MM (L x W x H)	48 x 89 x 99
	DIMENSIONS, INCHES (L x W x H)	1.9 x 3.5 x 3.9
	WEIGHT, KG	0.27
	WEIGHT, LB	0.6

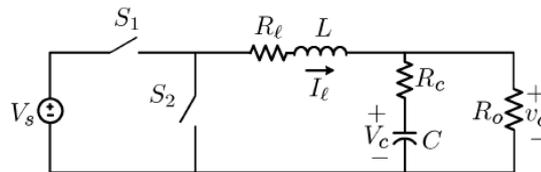
Fonte: <https://www.samlexamerica.com>. Acesso em: 12 set. 2018.

Os conversores DC-DC, de modo comutado, são circuitos eletrônicos que convertem um nível de tensão elétrica em outro nível e são usados para reduzir ondulações e/ou modificar o nível de tensão (*step-up* ou *step-down*).

As dificuldades em controlar conversores DC-CC surgem de sua natureza híbrida. Em geral, esses conversores apresentam três modos de operação, nos quais cada modo tem uma dinâmica linear de tempo contínuo. Em particular, a variável manipulada (o ciclo de trabalho) é limitada entre o intervalo zero e um e, na operação de corrente descontínua, um estado é restrito a ser não negativo (MIDDLEBROOK, 1976).

O problema de controle é ainda mais complicado pelas mudanças bruscas do ponto de operação que ocorrem devido à tensão de entrada e à saída de variações na carga. A abordagem dominante para o design de modelagem do controlador de conversores DC-DC de modo de comutação é o método de espaço de estado médio (ERICKSON, 1982) através de uma malha de controle com um controlador proporcional integral (PI) com modulação por largura de pulso (PWM), conforme topologia apresentada na Figura 5:

Figura 5. Topologia do conversor síncrono de redução.



Fonte: GEYER (2005)

A topologia do circuito do conversor, mostrada na Figura 5 (GEYER, 2005), utiliza grandezas normalizadas, onde: R_o denota a carga de saída, que assumimos ser ôhmico, R_c é a resistência de série equivalente (ESR) do capacitor, R_l é a resistência interna do indutor, L e C representam a indutância e a capacitância do passa-baixa de filtragem e por final V_s denota a tensão de entrada.

Os comutadores de semicondutores S_1 e S_2 são operados por uma sequência de pulsos com frequência de chaveamento f_s com período T_s constante. O ciclo de trabalho d é definido por $d = t_{on} / T_s$, onde t_{on} representa o intervalo dentro do período de comutação durante o qual o interruptor primário está em condução. Para cada período de mudança k , o ciclo de trabalho $d(k) \in [0, 1]$ é escolhido pelo controlador.

Define-se $X(t) = [I_L(t) \ V_C(t)]^T$ como o vetor de estado, onde $I_L(t)$ é a corrente do indutor e $V_C(t)$ é a tensão do capacitor. Dado o ciclo de trabalho $d(k)$, durante o período k_n , o sistema é descrito pelo seguinte conjunto de tempo contínuo na representação das equações do estado-espaço (CHATTOPADHYAY, 2006). Enquanto S_1 está conduzindo, eles recebem por:

$$\frac{dX(t)}{dt} = FX(t) + fV_s \quad kT_s \leq t < (k + d(k))T_s \quad (1)$$

e quando S_1 está desligado, o sistema evolui de forma autônoma para:

$$\frac{dX(t)}{dt} = FX(t) \quad (k + d(k))T_s \leq t < (k + 1)T_s \quad (2)$$

onde as matrizes F e f são dadas por:

$$F = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(R_l + \frac{R_o R_c}{R_o + R_c} \right) & \frac{1}{L} \frac{R_o}{R_o + R_c} \\ \frac{1}{C} \frac{R_o}{R_o + R_c} & -\frac{1}{C} \frac{1}{R_o + R_c} \end{bmatrix} \quad (3)$$

e

$$f = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Respectivamente, a tensão de saída $V_o(t)$ através da carga R_o é expressa como uma função dos estados por meio de:

$$V_o(t) = g^T X(t) \quad (5)$$

com

$$g = \begin{bmatrix} \frac{R_o R_c}{R_o + R_c} & \frac{R_o}{R_o + R_c} \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

Do ponto de vista do controle, a saída de tensão de erro é dada por:

$$V_{o, \text{err}}(k) = \frac{1}{T_s} \int_{kT_s}^{(k+1)T_s} (V_o(t) - V_{o, \text{ref}}) dt \quad (7)$$

integrado ao longo do período de comutação, onde $V_{o, \text{err}}$ denota a tensão de saída. O modelo do conversor inclui restrições. Por definição, o ciclo de trabalho $d(k)$ é restrito entre zero e um. Além disso, uma restrição de limitação atual deve ser contabilizada, tal que $-I_{L, \text{max}} < I_L(t) < I_{L, \text{max}}$.

Para aplicação, neste projeto, optou-se pela utilização de um conversor de mercado de baixo custo, mas com grande estabilidade de controle. Considerando que a máxima corrente elétrica solicitada pelo sistema não ultrapassa a casa dos 1000 mA, foi aplicado o conversor DC/DC Step-Down TSR 1-2450 de três terminais, com encapsulamento TO-220 fabricado pela Traco Power, empresa suíça com sede em Baar, Suíça, conforme Figura 6:

Figura 6. Data Sheet TSR 1-2450

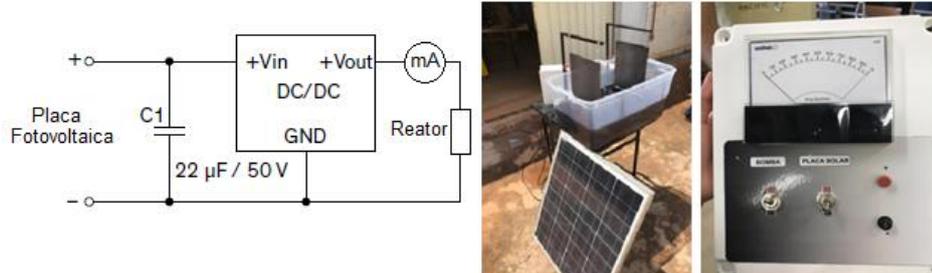


Models					
Order code	Input voltage range	Output voltage	Output current max.	Efficiency typ.	
				@ Vin min.	@ Vin max.
TSR 1-2412	4.6 - 36 VDC*	1.2 VDC	1.0 A	74 %	62 %
TSR 1-2415	4.6 - 36 VDC*	1.5 VDC		78 %	65 %
TSR 1-2418	4.6 - 36 VDC*	1.8 VDC		82 %	69 %
TSR 1-2425	4.6 - 36 VDC*	2.5 VDC		87 %	75 %
TSR 1-2433	4.75 - 36 VDC*	3.3 VDC		91 %	78 %
TSR 1-2450	6.5 - 36 VDC*	5.0 VDC		94 %	84 %
TSR 1-2465	9.0 - 36 VDC*	6.5 VDC		93 %	87 %
TSR 1-2490	12 - 36 VDC*	9.0 VDC		95 %	90 %
TSR 1-24120	15 - 36 VDC*	12 VDC		95 %	92 %
TSR 1-24150	18 - 36 VDC*	15 VDC		96 %	94 %

Fonte: <https://www.tracopower.com>. Acesso em: 12 set. 2018.

O diagrama elétrico do circuito utilizado e as fotos da montagem do protótipo constam da Figura 7:

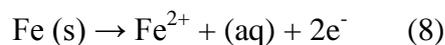
Figura 7. Protótipo do Reator



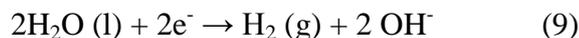
Fonte: Própria.

Quanto à parte química da proposta, considera-se que a floculação e a coagulação são processos interligados, que têm por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez). A eletrofloculação também utiliza os íons dos metais Ferro (Fe^{3+} ou Fe^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}) como coagulantes, porém, nesse caso, os íons são gerados *in situ* pela oxidação de eletrodos constituídos de um desses metais, causada pela aplicação de corrente a esses eletrodos. O processo acontece num tanque reator que funciona como uma célula eletrolítica, no qual dois eletrodos interligados do mesmo metal são colocados em paralelo e em contato com o efluente. Quando uma corrente elétrica é aplicada a eles, geram-se reações de oxirredução entre ambos. O eletrodo que sofre oxidação é chamado de anodo e é o responsável pela liberação dos íons positivos, que coagulam os coloides do efluente. Além disso, em certas faixas de pH, os íons formam hidróxidos metálicos poucos solúveis em água; esses compostos detêm cargas residuais positivas e interagem com partículas negativas existentes na água para formar flocos, aumentando a eficiência da retirada de poluentes do efluente. O outro eletrodo que sofre redução (diminui seu número de oxidação) é chamado de catodo; nele, ocorre a geração de bolhas de gás hidrogênio ($\text{H}_2(\text{g})$) que auxiliam na floculação e flotação de partículas, pois capturam ou envolvem os flocos formados, arrastando partículas e impurezas em suspensão no meio até a superfície, clarificando o efluente (eletroflotação) (CERQUEIRA, 2006).

A reação de oxidação do ferro pode ser representada pela Equação (8):



A reação de redução pode ser representada pela Equação (9):



A geração de coagulantes *in situ* e de hidróxidos metálicos (Equação (10)), no anodo e nas bolhas de gás hidrogênio no catodo, pode ser observada na Figura 8 abaixo.

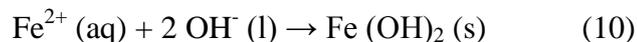
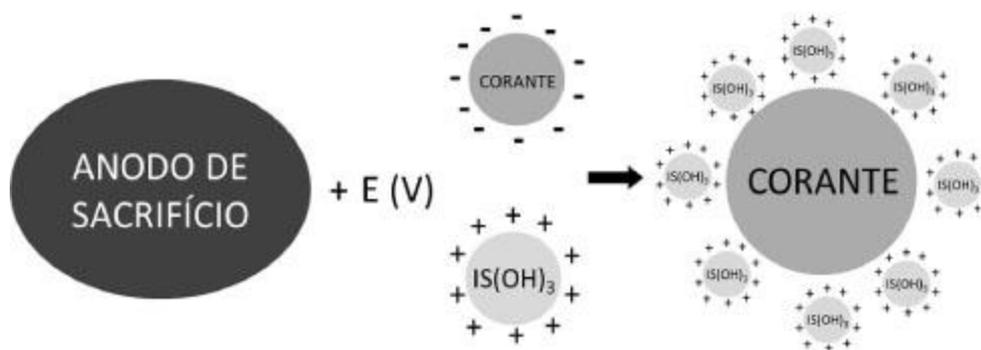


Figura 8. Ilustração do processo de adsorção das partículas coloidais que geram os flocos com as moléculas de corantes. IS= íon de sacrifício: Al (OH)_3 ou Fe (OH)_3 .



Fonte: AQUINO NETO et al. (2011)

Algumas vantagens deste método consistem em desenvolver um equipamento simples e de baixo custo e não utilizar substâncias químicas agressivas para tratamento de efluente da indústria têxtil.

Para a realização da eletrofloculação, utilizou-se um resíduo obtido a partir de tingimento de jeans para simular o resíduo têxtil. As amostras de água do experimento foram preparadas conforme instruções do rótulo do produto (índigo blue). Foram utilizados 10 L de resíduo de tingimento na caixa de armazenamento (reator) e dissolvidos 5 g de NaCl, com a função aumentar a força iônica do meio de eletrólito. A mínima corrente gerada pela placa foi de 150 mA e a máxima de 500 mA.

A fim de calcular a eficiência do processo, utilizou-se a Equação (11) abaixo:

$$E(\%) = \frac{C_1 - C_f}{C_1} \times 100 \quad (11)$$

Onde C_1 é a cor da solução bruta e C_f a cor da última análise retirada.

Na tabela 1 abaixo, podem-se verificar os resultados das amostras retiradas durante o processo eletroquímico:

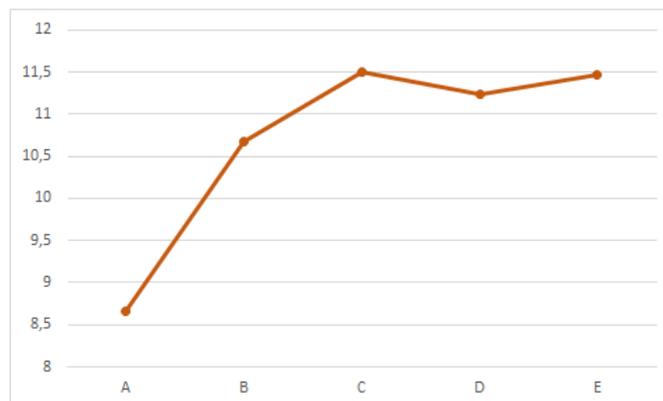
Tabela 1. Análise de cinco amostras de efluentes líquidos quanto ao pH, cor e turbidez.

Amostras	pH	Cor (UC)	Turbidez (NTU)
A	8,66	59.000	2.260
B	10,67	26.400	1.042
C	11,50	4.080	44,60
D	11,23	3.700	29,00
E	11,46	2.700	24,40

Fonte: Própria.

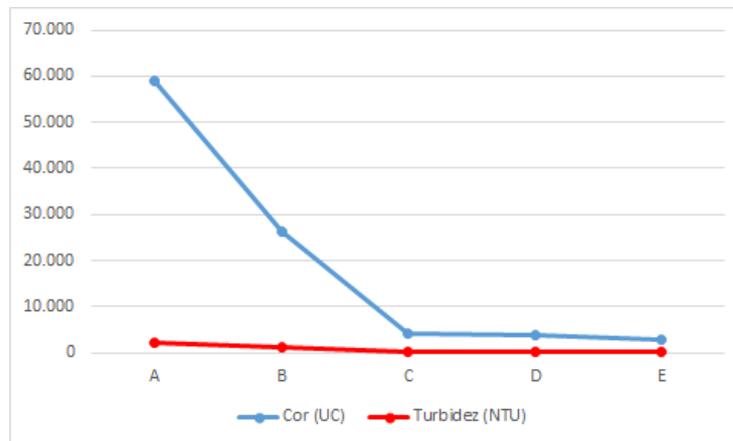
O aumento do pH das amostras ocorre porque a água sofre um processo de redução, liberando gás hidrogênio e saturando o meio com íons OH^- ; o eletrodo de ferro é utilizado para fornecer íons metálicos à solução formando hidróxido de ferro (II ou III), os quais são pouco solúveis fazendo com que o corante presente na solução seja absorvido (Gráfico 1).

Gráfico 1. Variação de pH das amostras de efluentes líquidos.



Fonte: Própria.

Gráfico 2. Degradação da cor e da turbidez em função do tempo de reação.



Fonte: Própria.

No gráfico 2, observa-se que, entre a primeira e a última amostra retirada para análise, notou-se uma queda significativa no parâmetro cor, mostrando que o tratamento foi eficiente para a retirada dos resíduos floculados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto contribuiu para a aprendizagem interdisciplinar entre duas áreas distintas como as da Engenharia Química e as da Engenharia Elétrica; a vivência, as competências e as habilidades, além das atitudes desenvolvidas no decorrer de todas as fases do projeto, correspondem ao preconizado como aprendizagem significativa, conforme Masetto (2007) e Scallon (2015).

Por fim, a aprendizagem do rigor científico - desde os primeiros passos de planejamento e do levantamento bibliográfico inicial - até a escrita e a submissão deste presente artigo, correspondem ao preconizado por Marconi e Lakatos (2012).

A aprendizagem interdisciplinar demonstrou mais satisfatória do que o inicialmente esperado, motivando para novas iniciativas conjuntas. Como o protótipo que demonstra o processo de eletrofloculação a partir de energia solar se mostrou eficiente e ainda não existe no mercado brasileiro poderá ser relevante para o tratamento de água proveniente da indústria têxtil.

REFERÊNCIAS

AQUINO NETO, S. MAGRI, T. C. SILVA, G. M. Tratamento de resíduos de corante por eletro floculação: um experimento para cursos de graduação em química. **Química Nova**, v.34, n.8. São Paulo, 2011.

BLACKSMITH INSTITUTE. The World's Worst Pollution Problems: Assessing Health Risks at Hazardous Waste Sites. Nova York, 2012. Disponível em: <http://www.worstpolluted.org/files/FileUpload/files/2012%20WorstPolluted.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2018.



CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletro floculação no tratamento de efluentes têxteis.** Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

CHATTOPADHYAY, S., DAS, S. "A digital current-mode control technique for dc-dc converters," **IEEE Trans. Power Electron.**, vol. 21, no. 6, pp. 1718–1726, Nov. 2006.

CLAUSEN, D. N.; TAKASHIMA, K. Efeitos dos parâmetros operacionais na fotodegradação do azo corante directred 23 na interface dióxido de titânio/água. **Química Nova**, v. 30, n. 8, São Paulo, 2007.

ERICKSON, R. W., S. C. UK, and MIDDLEBROOK, R. D. "Large signal modeling and analysis of switching regulators," in **Proc. IEEE Power Electron. Specialists Conf.**, 1982, pp. 240–250.

GEYER, T., "Low Complexity model predictive control in power electronics and power systems," Dr. sc. tech. thesis, Automatic Control Laboratory, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, 2005.

MASETTO, M. T. (org.) **Ensino de Engenharia: técnicas para otimização das aulas.** São Paulo: AVERCAMP. 2007.

MARCONI, M. de A. , LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica.** São Paulo: Atlas, 2012.

MIDDLEBROOK, R. D. S. C. UK, "A general unified approach to modeling switching power converter stages," in **Proc. IEEE Power Electron. Specialists Conf.**, 1976, pp. 18–34.

REZENDE, Carlos Cândido de. Síntese e caracterização de compósitos de nióbio e ferro: testes como catalisadores na decomposição de azul de metileno. 2012. 64 páginas. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2012.

SCALLON, G. **Avaliação da aprendizagem numa abordagem por competências.** Curitiba, Brasil: PUCPress, 2015.

INTERDISCIPLINARY LEARNING: FLOCCULATION ELECTROCARBONS FROM SOLAR ENERGY

Abstract: Pollution of water resources is due to inadequate disposal of tailings in water. In search of environmental sustainability is increasing the use of technologies that aim at the degradation or immobilization of pollutants. The report of this article refers to an interdisciplinary experience of the Chemical Engineering and Electrical Engineering Courses of the University Center of the Educational Foundation of Barretos - SP - UNIFEB. It is the construction of a prototype that demonstrate electro-flocculation process from solar energy. A commercial photovoltaic plate and an effluent were used, simulating a dyeing, as occurs in a real textile industry. After the test in the laboratory, it was observed that the reator of the experiment proved to be efficient for the treatment of water.

Key words: Electro flocculation. Textile effluent. Solar energy. Effluent treatment.