Estudo de caso: experimentações com o uso do processo fenton homogêneo

Case study: experiments with the use of the homogeneous fenton process

Marluce Teixeira Andrade Queiroz*, Tayla Luiza Pereira Borges, Claudinei Fernandes de Melo

Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste), campus de Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil.
**marluce.queiroz@yahoo.com.br*

Submetido em 14/04/2021; Versão revisada em 09/08/2021; Aceito em 23/08/2021

Resumo

A indústria têxtil exige o uso de corantes apropriados para atender à necessidade dos consumidores. Tal condição implica em produção de efluentes que se caracterizam pela sua resistência aos tratamentos convencionais e tempo de permanência elevado de compostos recalcitrantes no meio ambiente. Nesse cenário, esse trabalho analisou a aplicabilidade dos processos oxidativos avançados para favorecer a mineralização das águas residuais e em consequência a despoluição. O estudo de caso se referiu ao desenvolvimento de experimentações científicas relacionadas com a degradação do vermelho congo aplicando a técnica do Fenton Homogêneo para graduandos do curso de engenharia química do Unileste sendo apresentados os métodos utilizados e principais achados em relação à redução da cor e demanda química de oxigênio, dentre outros parâmetros físico-químicos. Além disso, retratou a avaliação dos educados em relação às experimentações sendo identificado a sua relevância para a apropriação e desenvolvimento dos conceitos químicos por parte dos educados.

Palavras-chaves: Indústria Têxtil. Fenton Homogêneo. Experimentação Científica.

Abstract

The textile industry requires the use of appropriate dyes to meet the needs of consumers. This condition implies the production of effluents that are characterized by their resistance to conventional treatments and a long residence time of recalcitrant compounds in the environment. In this scenario, this work analyzed the applicability of advanced oxidative processes to favor the mineralization of wastewater and, consequently, depollution. The case study referred to the development of scientific experiments related to the degradation of the Congo red applying the Fenton Homogeneous technique to undergraduate students of the chemical engineering course at Unileste, presenting the methods used and main findings in relation to color reduction and chemical demand of oxygen, among other physicochemical parameters. In addition, it portrayed the evaluation of the educated in relation to the experiments, and its relevance for the appropriation and development of chemical concepts by the educated was identified.

Keywords: Textile Industry. Homogeneous Fenton. Scientific Experimentation.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de cursos de graduação em engenharia química constitui-se em estratégia importante para fortalecer a sustentabilidade e competitividade do País (LACERDA *et al.*, 2002). Sendo assim, faz-se necessário que a formação acadêmica desses discentes possibilite o desenvolvimento de habilidades pertinentes à identificação dos problemas, avaliação das diferentes possibilidades para sua resolução, seleção e aplicação da melhor estratégia (LACERDA e ARAÚJO, 2014). Nesse contexto, é imprescindível que esse graduando adquira conhecimentos em relação à segurança ocupacional e preservação ambiental, sendo temas profundamente interligados. A assertiva é respaldada pela necessidade da aplicação da análise de risco que se constitui em instrumento contributivo para efetiva conservação do ecossistema (SETTI, 2002).

Pensando nisso, o Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste) incluiu em sua grade curricular para a graduação superior a disciplina segurança e meio ambiente consubstanciando o domínio do egresso em relação às estratégias aplicáveis para mitigação dos transtornos relacionados com o desenvolvimento dos processos produtivos.

Nesse cenário, foi destacado o processo da indústria têxtil priorizando-se a etapa relacionada com o uso do corante. O referido composto químico é uma das matérias-primas sendo selecionado em função da natureza físico-química da fibra (substrato). Reforça-se, as condições de operação são fundamentais para se alcançar resultados satisfatórios, entretanto, ocorrem riscos ocupacionais e ambientais que demandam a sua mitigação visando à preservação dos ecossistemas naturais impactados (SOUZA, 20006).

Nessas indústrias, o efluente gerado apresenta alta concentração do corante (TWARDOKUS *et al.,* 2005) tendo características recalcitrantes ou refratárias. De modo geral, essas águas residuais podem afetar alguns organismos, como invertebrados e peixes, em função do efeito acumulativo na camada lipídica, podendo atingir concentrações superiores ao Limite de Tolerância Biológico (LTB) (LEDAKOWICZ *et al.*, 2001). Gomes *et al.* (2018) relata que a nocividade é capaz de atingir os humanos, como resultado da bioconcentração e biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. As consequências podem incorporar os efeitos cancerígenos, mutagênicos e morte (PEREIRA *et al.,* 2014).

Neste contexto, o desenvolvimento de técnicas de tratamento que garantam alta eficiência na degradação de poluentes recalcitrantes, tal como, os corantes com atenção também direcionada aos aspectos econômicos, cresceu nos últimos anos. No atendimento destes quesitos se destacam os Processos Oxidativos Avançados (POA).

Molinari *et al.* (2002) e Paula *et al.* (2018) relatam que os POA são considerados como tecnologias limpas, pois não há formação de lodo e transferência de fase dos poluentes, sendo os produtos finais, gás carbônico, água, íons inorgânicos e subprodutos menos tóxicos. Os pesquisadores relatam que estes processos podem, ainda, ser utilizados para a degradação de compostos orgânicos, tal como os corantes, em fase aquosa ou adsorvidos numa matriz sólida com repercussões positivas para a contenção dos efeitos deletérios ao meio ambiente.

Existe uma grande variedade de tipologias com aplicação dos POA, nessa pesquisa, abordou-se a aplicação de um tipo de POA conhecido como Fenton Homogêneo que pode ser vantajoso para a despoluição de águas residuais contendo corantes, uma vez que sua implementação em Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs) já existentes pode ser considerada relativamente simples por não demandar de grandes alterações sendo fator importante para a redução dos custos de implantação (ANDREOZZI, D`APUZZO E MAROTTA, 2002).

Desse modo, o estudo de caso foi direcionado para a degradação de um tipo de corante, sendo o Vermelho do Congo (VC). A relevância deste trabalho se traduz em apresentar atividades experimentais aplicáveis no ensino das ciências compartilhando

resultados sobre a cinética da decomposição química do VC, remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e cor em contexto acadêmico estreitando a relação com a vivência prática. De modo geral, a inclusão desse método de ensino contribui positivamente para o desenvolvimento do pensamento crítico, domínio técnico e criatividade do educado (CARVALHO, 2014).

Entende-se a relevância desse estudo também por apresentar e reunir informações relativas à ótica dos acadêmicos em relação às estratégias de ensino adotadas colocando-os como protagonistas efetivos no sistema educativo, integrando ao ensino universitário, novos conceitos, desse modo, contribuindo para a melhor qualificação no processo de formação do indivíduo (SORDI *et al*., 2020).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

O processo produtivo têxtil constitui-se basicamente por cinco etapas (Figura 1), sendo a primeira a fiação onde ocorre a obtenção do fio, tendo como matéria-prima fibras naturais e/ou manufaturadas (REIS e REVELLO, 2008). Em seguida, o fio pode ser enviado para o beneficiamento ou diretamente para tecelagens e malharias.

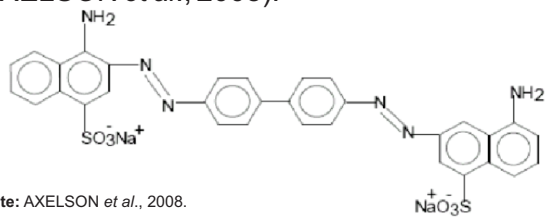
Especificamente a etapa de beneficiamento envolve tingimento, engomagem, retorção e tratamento especiais. A tecelagem e/ou malharia são etapas de elaboração de tecidos que podem ser planos, em malha circular ou retilínea, a partir dos requisitos dos clientes. O enobrecimento é a etapa de preparação e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados. Na etapa de confecções, o setor tem ampla diversificação de tecnologias para os produtos têxteis, acrescida de acessórios incorporados nas peças, tais como botões e adereços variados, conforme a análise de tendências e preferências dos consumidores (NIEBISCH *et al*., 2014).

O grave problema ambiental se relaciona principalmente com o setor de tingimento. Wesenberg *et al.* (2003) afirmam que as fibras têxteis requerem corantes com características próprias e bem definidas, os quais devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência ao desbotamento, e ainda devem apresentar-se economicamente viáveis. Há várias maneiras para classificar os corantes, por exemplo, de acordo com a sua constituição química, sua aplicação, solidez, tipo de excitação eletrônica, quando exposto à luz, entre outras (TOSCAN *et al.,* 2017).

Duran *et al.* (2000) informam que os corantes incorporam dois elementos essenciais, sendo o grupo cromóforo, responsável pela cor que absorve a luz solar e o grupo funcional que permite a fixação das fibras de tecido.

Macleod *et al.*(2007) e Axelson *et al.*(2008) relatam que especificamente o Vermelho Congo (VC) é um composto orgânico classificado como um sal sódico derivado do ácido benzidinodiazo-bis-1naftilamina-4-sulfônico, tendo fórmula molecular contendo átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, sódio, oxigênio e enxofre ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$), massa molar 696,66g.mol^{-1} e fórmula estrutural bastante complexa contendo anéis aromáticos (Figura 1) que conferem características recalcitrantes, ou seja, com difícil degradação, hidrofóbicos e bioacumulativos (MARCELINO *et al*., 2014).

Trata-se de um corante classificado como diazo secundário em função das duplas ligações entre os átomos de nitrogênio (Figura 1). As ligações azo (- N = N -) (Figura 1) encontradas na estrutura molecular estão associadas aos grupos cromóforos sendo responsável pela absorção na região do ultravioleta ou visível, desse modo, a cor observada pelo indivíduo se refere ao comprimento de onda que não é absorvido, ou seja, a cor complementar ao comprimento de onda da energia que é absorvida pelos grupos cromóforos (AXELSON *et al*., 2008).



Fonte: AXELSON *et al*., 2008.

Figura 1 – Estrutura molecular do corante vermelho congo

O VC é reconhecido por ser tóxico, carcinogênico, e mutagênico, entretanto, ainda continua com uso extensivo principalmente na etapa do tingimento da seda (QUEIROZ *et al.,* 2019). Azbar, Yonar e Kestioglu (2004) pontuam que a referida substância pode ser encontrada no efluente e apresenta elevada taxa de persistência no meio ambiente. Desse modo, os pesquisadores reforçam a importância da sua remoção das águas residuais. Assim entende-se a atenção dispensada pelos órgãos fiscalizadores em relação ao atendimento dos padrões ambientais considerando os despejos industriais contendo esse tipo de corante.

Nesse cenário, o volume crescente de efluentes contendo poluentes não biodegradáveis exige a adoção de novas tecnologias relativas ao seu processo de descontaminação. Dentre essas, destaca-se o uso do Processo Oxidativo Avançado (POA).

Pera-Titus *et al.* (2004) relatam que o POA é baseado na geração de radical hidroxila (●OH), um forte agente oxidante, capaz de degradar moléculas orgânicas resistentes à biodegradação. Viola, Lanfredi e Zaghin (2014) informam que o potencial de oxidação do radical OH é igual a 2,80 eV, desse modo, sendo superior ao do cloro (Cl_2) e ao do ozônio (O_3) que correspondem respectivamente à 1,36 eV e 2,07 eV respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1
Potencial de oxidação de algumas espécies químicas

Oxidante	Potencial de Oxidação
Radical hidroxila (•OH)	2,80eV
Ozônio (O_3)	2,07eV
Cloro elementar (Cl_2)	1,36eV

Fonte: PERA-TITUS *et al.,* 2004.

Dias *et al.* (2018) reforçam que o processo Fenton Homogêneo implica em geração do radical hidroxila (●OH) que ocorre através da reação entre o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o ferro II (Fe^{+2}) em meio ácido e pode ser descrita conforme a Equação (1) (TEIXEIRA E JARDIM, 2004):

$$Fe^{+2} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{+3} + \cdot OH + OH^- \quad (1)$$

Teixeira e Jardim (2004) relatam que a taxa de oxidação do poluente é função do radical hidroxila (●OH), sendo assim se encontra intimamente relacionada com a concentração de peróxido de hidrogênio. No entanto, o teor de contaminante orgânico (substrato) atua como limitante no processo. Nesta condição, o radical OH entra em reação com os íons ferrosos formando ferro III (Fe^{+3}) e íons hidroxila ($●OH^-$) (Equação 2):

$$Fe^{+2} + \cdot HO \rightarrow Fe^{+3} + OH^- \quad (2)$$

Bautista *et al.* (2008) relatam que a faixa de pH ótimo para a oxidação Fenton se situa no meio ácido, com predominância de íons H^+ (Equação 3). Entretanto, se o pH está muito ácido também ocorrem efeitos adversos. Pode-se citar a alteração do padrão de atuação do catalisador afetando o seu rendimento, a principal fonte de dificuldades se relaciona a não regeneração do ferro II (Fe^{+2}). Ou seja, a reação do ferro III (Fe^{+3}) com peróxido de hidrogênio (Equação 4) é inibida, implicando em baixas concentrações do catalisador.

$$Fe^{+2} + H_2O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{+3} + 2H_2O \quad (3)$$

$$Fe^{+3} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{2+} + \cdot HO_2 + H^+ \quad (4)$$

Em pH mais alcalino se inicia a precipitação do hidróxido de ferro III ($Fe(OH)_3$), oportunizando a reação de decomposição do peróxido de hidrogênio com formação de água e oxigênio gasoso (Equação 5).

$$H_2O_2 \leftrightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 \quad (5)$$

O excesso de peróxido de hidrogênio também é interferente atuando como receptor de radicais hidroxilas (OH) reduzindo a capacidade oxidante do meio reacional. Marcelino *et al.* (2014) relatam que o Fenton Homogêneo apresenta eficácia comprovada no tratamento de diversos poluentes persistentes. No entanto, os pesquisadores enfatizam a existência

de desvantagem que pode ser atribuída à necessidade de separação dos sais de ferro que por apresentarem coeficientes de solubilidade muito baixos conduzem a precipitação na forma de flocos com diferentes granulometrias.

Em termos gerais, o tratamento utilizando a oxidação Fenton deve atender uma sequência de procedimentos padronizados. A primeira etapa ocorre no tanque de oxidação onde são misturados a água residual bruta, o agente oxidante peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o catalisador sulfato ferroso heptaidratado ($FeSO_4.7H_2O$) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4) agente de ajuste de pH. Em seguida, é realizada a neutralização através da adição do hidróxido de sódio (NaOH) agente alcalinizante, ocorrendo à degradação do peróxido de hidrogênio residual. Finalizando são desenvolvidas as etapas de floculação e decantação se obtendo a água residual tratada (BAUTISTA *et. al*., 2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

Método estatístico

A pesquisa científica configura-se como importante ferramenta para aperfeiçoar o domínio em relação à um dado tema. Especificamente nesse estudo foi utilizado o método quali-quantitativo com avaliação dos dados dos experimentos químicos e também pertinente à percepção humana através de perguntas abertas e fechadas (ANDRADE, 2010). Desse modo, aplicou-se cinco fases fundamentais: a coleta, a crítica, a apuração, a apresentação e a análise dos dados.

Público alvo

Nesse estudo específico, o grupo que participou das aulas práticas era formado por quarenta (40) graduandos do curso de engenharia química do Unileste. Identificou-se a prevalência de pessoas com idade inferior a trinta anos (Figura 2) e do sexo feminino (Figura 3). O panorama detectado era favorável para aplicação de métodos inovadores. Günther e Günther (2018) *apud* Queiroz *et al.* (2020) relatam que o público jovem mostra boa aderência quanto ao uso de métodos que trazem novas concepções.

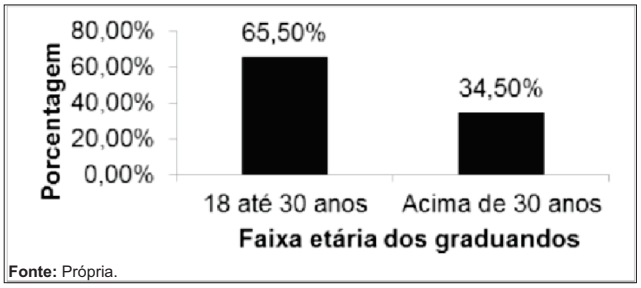


Figura 2 – Faixa percentual relativa à idade dos graduandos

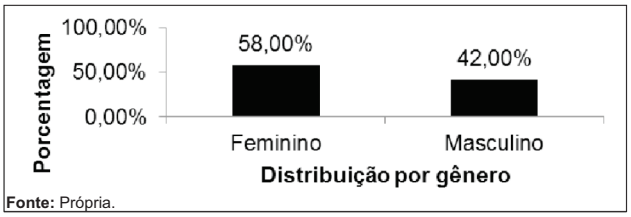


Figura 3 – Faixa percentual relativa ao gênero dos graduandos

Atividades práticas

As experimentações incluíram a aplicação da espectrofotometria de absorção atômica sendo realizada uma análise de varredura da solução do corante VC para determinação do comprimento de onda com maior absorbância (Ao) (APHA, 1998). A Demanda Química de Oxigênio ($DQO_{inicial}$) foi determinada segundo as metodologias da *American Public Health Association* (APHA, 1998).

Adotou-se o desenvolvimento de experimentos em regime de batelada em ambiente aclimatado (20ºC). As amostras de 500 mL com concentração do corante correspondente à 100 mg.L^- foram introduzidas em béqueres revestidos de papel alumínio. As relações entre o [Fe^{+2}] e [H_2O_2] e o pH reacional foram ajustadas respectivamente para 0,50 e 3,0, utilizando-se para o controle da concentração de íons hidrogênio [H^+] a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) correspondente a 2 mol.L^-. Os ensaios de oxidação foram realizados em triplicata e submetidos à agitação constante em 120 rpm. Em todos os experimentos foram retiradas alíquotas em tempos pré-determinados 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos que foram submetidas à análise espectrofotométrica para identificação da absorbância instantânea (Ai).

A concentração instantânea (Ci) do corante foi determinada através da Equação 6:

$$\frac{Ci}{Co} \times 100 = \frac{Ai}{Ao} \times 100 \qquad (6)$$

Sendo:
Ci = concentração instantânea do corante
Co = concentração inicial do corante
Ai = absorbância instantânea do corante
Ao = absorbância inicial do corante

A remoção da cor foi avaliada mediante a aplicação da Equação 7:

$$\eta\ (\%) = 1 - \frac{Ai}{Ao} \times 100 \qquad (7)$$

Sendo:
(%) = eficiência da descoloração
Ai = absorbância instantânea do corante
Ao = absorbância inicial do corante

Foram também sistematizados estudos cinéticos para determinar a ordem das reações e suas velocidades específicas (k), utilizou-se o método das velocidades iniciais: uma série de experimentos foi realizada com diferentes concentrações iniciais de peróxido de hidrogênio (100 $mg.L^{-}$, 80 $mg.L^{-}$, 40 $mg.L^{-}$ e 20 $mg.L^{-}$) e com concentração inicial (Co) do corante igual a 100 $mg.L^{-}$.

As outras variáveis, como dosagem de íons ferrosos (Fe^{+2}), temperatura e pH foram mantidas constantes. Os dados foram ajustados ao modelo de primeira ordem baixo (Equação 8):

$$y = (A_{inicial} - A_{min}) \cdot \exp(-x/t_{meia}) + A_{min} \qquad (8)$$

Sendo:
$A_{inicial}$ = a absorbância inicial (em %)
A_{min} = a absorbância (em %) em um tempo de reação que tende ao infinito
t_{meia} = tempo de meia-vida da reação, ou seja, o tempo necessário para que a absorbância se reduza à metade da inicial.

Após o intervalo de tempo de sessenta (60) minutos fixado como tempo total para o desenvolvimento do experimento, o excesso de peróxido de hidrogênio, em cada uma das amostras, foi eliminado através da adição de hidróxido de sódio 2 $mol.L^{-}$ até atingir-se o pH correspondente a 10. Após ajuste de pH, as amostras foram mantidas em repouso por trinta (30) minutos para precipitação de todo o material suspenso. A fase sobrenadante foi filtrada e realizada nova análise da Demanda Química de Oxigênio final (DQO_{final}) (APHA, 1998). Os resultados obtidos em relação à eficiência de remoção da cor e da DQO foram comparados aos encontrados por Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009).

Análise da percepção dos educados

Com a pretensão de potencializar a capacidade de reflexão foi solicitado aos educados para que expusessem oralmente suas opiniões sobre as atividades realizadas sendo estabelecida a formação de uma roda de conversa. Ribetto e Rattero (2017) ponderam que esse método fortalece o processo de construção do conhecimento pela mediação dialógica entre educadores e educados. Entende-se que essa dinâmica oportuniza reconhecer a percepção do aluno em relação ao processo de ensino-aprendizagem. O espaço de interlocução foi estabelecido através de questionamentos simples e objetivos:

- as atividades práticas contribuíram para ampliar os seus conhecimentos em relação ao desenvolvimento do POA?
- existem dúvidas em relação aos conteúdos explorados?
- a sua participação foi adequada?

Nesse contexto, foi possível alcançar dos educados uma apreciação em relação às atividades

realizadas visando identificar possíveis oportunidades de crescimento acadêmico. Correia e Fernandes (2016) reforçam que o método possibilita uma devolutiva eficaz permitindo à academia oportunidades para corrigir ou aperfeiçoar o processo ensino e aprendizagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividades práticas

A análise da varredura utilizando a solução do corante VC com concentração correspondente a 100 mg.L^{-} apresentou uma banda larga com maior absorção entre 465 e 600 nm e maior absorbância em 510 nm, sendo este último adotado como referência explicitando concordância com os parâmetros preconizados no *Standart methods for the examination of water and wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 1998) e com os achados de Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009).

Os resultados relativos à leitura da absorbância instantânea (Ai) realizados com intervalos regulares fixados em dez (10) minutos evidenciaram o decaimento entre o valor máximo correspondente a 1,422 até um mínimo de 0,027 após sessenta (60) minutos com as concentrações de peróxido de hidrogênio correspondentes a 40 mg.L^{-1} e 80 mg.L^{-1} (Tabela 2). Com teor de 20 mg.L^{-1} a Ai atingiu um mínimo 0,348 (Tabela 2) denotando que a produção de hidroxila não foi satisfatória para garantir a destruição dos grupos cromóforos.

Em contrapartida com a concentração de peróxido de hidrogênio igual a 100 mg.L^{-1} identificou-se que a Ai mínima foi de 0,047 (Tabela 2) explicitando relação com a redução da concentração do oxidante do radical hidroxila (●OH) em comparação com os teores de 40 mg.L^{-}e 80 mg.L^{-}.

A análise dos resultados (Tabela 2) permitiu identificar uma estreita semelhança com os achados de Salgado *et al.* (2009) e Oliveira e Leão (2009) relacionados com a degradação de azocorantes. Desse modo, infere-se que o processo Fenton homogêneo apresenta boa eficiência em relação à remoção da cor com o uso de quantidades relativamente pequenas de peróxido de hidrogênio e ferro II.

Tabela 2
Absorbância instantânea (Ai) em função da concentração de peróxido de hidrogênio x tempo (t)

t (min.)	Ai $[H_2O_2]$ = 20 mg.L^{-}	Ai $[H_2O_2]$ = 40 mg.L^{-}	Ai $[H_2O_2]$ = 80 mg.L^{-}	Ai $[H_2O_2]$ = 100 mg.L^{-}
0	1,422	1,422	1,422	1,422
10	1,114	0,821	0,809	0,822
20	0,878	0,557	0,539	0,555
30	0,656	0,381	0,369	0,393
40	0,580	0,266	0,255	0,271
50	0,417	0,109	0,099	0,185
60	0,348	0,027	0,027	0,047

Fonte: Autor.

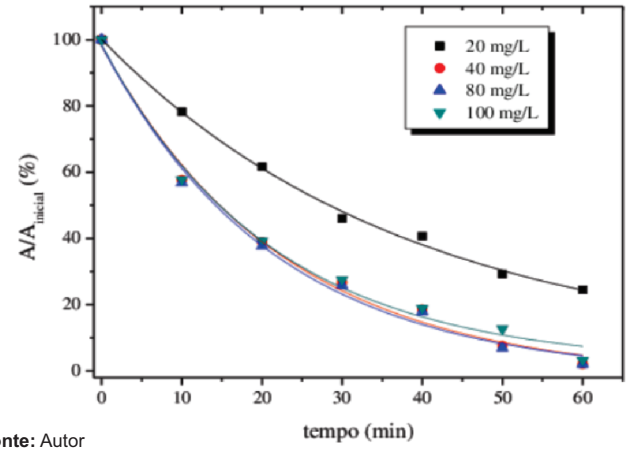
Identificou-se uma redução significativa no tempo de meia vida da reação quando a concentração oscilou entre 20 mg.L^{-} e 40 mg.L^{-} de H_2O_2. No entanto, aumentos na concentração do oxidante acima de 40 mg/L, não reduziram significativamente o tempo de meia-vida (Tabela 3).

Tabela 3
Características cinéticas do processo Fenton Homogêneo no tratamento da solução de VC com diferentes concentrações

Variável	20 mg.L^{-}	40 mg.L^{-}	80 mg.L^{-}	100 mg.L^{-}
R^2	0,99578	0,98856	0,98867	0,98773
$A_{inicial} - A_{min}$	95,72318	100,346	99,79239	96,49362
t_{meia}	38,3539	22,46623	21,52296	21,13375
A_{min}	4,33037	-2,21339	-1,58025	1,79213

Fonte: Autor.

O modelo se ajustou bem aos dados experimentais das quatro concentrações de H_2O_2 testadas (Figura 4) mostrando correlação positiva com o estudo cinético desenvolvido por Salgado e colaboradores (2009) e Oliveira e Leão (2009).



Fonte: Autor

Figura 4 - Cinética reacional do Vermelho Congo (VC) para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Com relação à remoção da DQO constatou-se que o melhor resultado foi obtido para a concentração de 40 $mg.L^{-1}$ de H_2O_2 atingindo um percentual de 96,75% (Tabela 4), sendo um pouco mais elevado que o obtido por Salgado *et al. (*2009) que foi de 94% em concentrações distintas de oxidante e catalisador. Em relação a esse parâmetro físico-químico, ponderou-se que o ajuste do pH é essencial para viabilizar a degradação do VC em nitratos, sulfatos e gás carbônico (Equação 9).

$$C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_{2\,(AQ.)} + 91/2\ O_{2\,(G)} \rightarrow 32CO_{2\,(G)} + 7H_2O_{\,(L)} + 2Na^+_{\,(AQ.)} + 8H^+_{\,(AQ.)} + 6NO_3^-{}_{(AQ.)} + 2SO_4^{-2}{}_{\,(AQ.)} \quad (9)$$

Tabela 4
Remoção da DQO com o uso do processo Fenton Homogêneo para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Concentração de H_2O_2	Remoção da DQO
20mg.L$^-$	80.65%
40mg.L$^-$	96,75%
60mg.L$^-$	95,35%
80mg.L$^-$	89,25%
100mg.L$^-$	90.25%

Fonte: Autor.

Em relação à remoção de cor, verificou-se que a concentração de 40 mg/L também foi a mais adequada (Tabela 5) com remoção com nível de 98,45% denotando que a destruição dos grupos cromóforos estava associada à mineralização do corante.

Tabela 5
Remoção da cor com o uso do processo Fenton Homogêneo para diferentes concentrações de peróxido de hidrogênio

Concentração de H_2O_2	Remoção da cor
20mg.L$^-$	75,58%
40mg.L$^-$	98,45%
60mg.L$^-$	98,03%
80mg.L$^-$	96,80%
100mg.L$^-$	95,48%

Fonte: Autor.

Análise dos discentes em relação ao processo educativo

O reconhecimento quanto à percepção dos educados em relação aos métodos de ensino utilizados é fundamental para que seja possível a detecção das dificuldades dos discentes, bem como se mostram como uma oportunidade de verificar quais as possibilidades que o aluno alcançou quanto à construção de novos conhecimentos (BARBOSA E MARTINS, 2006).

Nessa premissa, a avaliação dos educados em relação ao desenvolvimento das atividades práticas foi bastante positiva. Quando perguntados quanto à contribuição das atividades para ampliar os conhecimentos em relação ao desenvolvimento do POA a maioria, ou seja, 98% dos alunos afirmaram que ampliaram o conhecimento em relação à dinâmica da degradação do azo corante (Tabela 6). Entretanto, 2% desse público (Tabela 6) ponderaram quanto à necessidade de utilizar outros corantes para comprovar a eficiência do POA. Diante desses achados pondera-se quanto à relevância de utilizar diferentes materiais no desenvolvimento dessas práticas laboratoriais, desse modo, contribuindo para o maior envolvimento e permitindo a inserção de novos

ângulos para discussão acadêmica através da experimentação investigativa possibilitando maior domínio ao discente (CUNHA, 2012).

Em relação ao questionamento relacionado quanto às dúvidas em relação aos conteúdos explorados, 15% dos alunos (Tabela 6) pontuaram queainda existiam pontos que demandavam esclarecimentos. Esses resultados podem ser atribuídos à formação de equipes de trabalho com número elevado de discentes. Em função do espaço e disponibilidade de materiais os grupos foram formados com cinco pessoas. Essa condição pode ter dificultado o processo de empoderamento do aluno como construtor e condutor em experimentação científica. Acredita-se que uma possibilidade seja a formação em dupla, tal condição, pode favorecer a aquisição de valores importantes, tal como, a empatia, e ainda garantir as condições propícias para o protagonismo do aluno em relação à sua formação constituindo-se em fator motivacional. Baxto *et. al.* (2019) destacam que a motivação é requisito propulsor da aprendizagem. Os autores destacam que o indivíduo motivado reconhece a importância de aprender, identificando a sua finalidade. Nessa condição, o aluno torna-se co-autor nesse processo alcançando nível de consciência quanto à utilização desse conhecimento no atendimento das necessidades atuais e futuras.

Considerando o questionamento quanto à participação individual do aluno houve também um total de 15% que classificou como não satisfatória (Tabela 6) sendo novamente atribuído ao dimensionamento inadequado das equipes de trabalho. Essas ponderações explicitaram que para o bom andamento das aulas práticas é necessário que a equipe tenha um número de pessoas que permita uma divisão adequada de tarefas com atendimento aos procedimentos técnicos seguros, necessários à elaboração de um ensaio (DESTRO, 2002), ou seja, a eficácia da prática está condicionada a essa atribuição, desse modo, favorecendo do desenvolvimento educacional dos alunos em relação aos conhecimentos adquiridos (SANTOS *et al.,* 2018).

Tabela 6
Resultados pertinentes à perspectiva dos educados

Quesito	Sim	Não
As atividades práticas contribuíram para ampliar o conhecimento em relação ao POA?	98,0%	2,0%
Existem dúvidas quanto aos conhecimentos científicos explorados?	85,0%	15,0%
A sua participação foi adequada?	85,0%	15,0%

Fonte: Autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos problemas envolvem as estações de tratamento de efluentes têxteis, especialmente o baixo nível de eficiência de remoção da cor. Os resultados obtidos neste estudo explicitaram a aplicabilidade do Fenton Homogêneo na degradação de um corante azo

Identificou-se que esse tipo de POA apresentou nível de descontaminação para a solução de VC em torno de noventa e oito por cento (98%) na remoção da cor para a concentração de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) correspondente a 40 mg. L^{-1}. Além disso, a remoção de DQO também foi bastante satisfatória correspondendo a noventa e seis e setenta e cinco por cento (96,75%).

A análise dos graduandos em relação às experimentações também se mostrou positiva. Nesse contexto, destaca-se que noventa e oito por cento (98,0%) dos educados afirmaram que as atividades práticas contribuíram para ampliar os conhecimentos em relação ao POA. Infere-se aí, que essa modalidade didática é essencial para despertar e manter o interesse dos alunos, sendo auxílio significativo para favorecer a compreensão de conceitos científicos, desenvolvendo a capacidade para resolução de problemas e contribuindo efetivamente para o desempenho do egresso em sua vida profissional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário Católica do Leste de Minas Gerais (Unileste) e Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) o apoio às atividades de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M.M. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos da graduação. São Paulo, SP: Atlas, 2010.

ANDREOZZI, R.; D'APUZZO, A.; MAROTTA, R. Oxidation of aromatic substrates in water/goethite slurry by means of hydrogen peroxide. Water Research, v. 36, n. 19, p. 4691-4698, 2002.

APHA (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a.ed. Washington: American Public Health Association.

ARIM, A. L.; CECÍLIO, D.F.; QUINA, M.M.J.; FERREIRA, L.M.G.A..Removal of Cr (III) from aqueous solutions by modified lignocellulosic waste. 1ed. London, UK: CRC Press., Taylor & Francis Group, 2016, v. II, pp. 215-220.

AXELSON, G.K; GIORGADZE, T; YOUGBERG, G.A. Evaluation of the useof Congo red staining in the differential diagnosis of Candida vs.various other yeast-form fungal organisms. Journal of CutaneousPathology.V.35, p.27-30, 2008.

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent. Chemosphere, v. 55, n. 1, p. 35-43, 2004.

BARBOSA, Maria R. L. da S.; MARTINS, Angélica P. R. Avaliação: Uma prática constante no processo de ensino e aprendizagem. 2016. Disponível em Acesso em 10 maio 2020.

BAUTISTA, P. MOHEDANO, A.F. CASAS, J. A. ZAZO, J. A. RODRIGUES, J.J. *Review – Na overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment.* Journal of Chemical Technology and Biotechnology.Sociery of Chemical Industry. 2008.

BAXTO, W.; AMARO, R.; MATTAR, J..Distance education and the open university of Brazil. International review of research in open and distributed learning, v.20, p. 100-115, 2019.

CARVALHO, A.T. Apagar e Corrigir. Cadernos Limpos, Cabeça Confusa: contribuições à teoria das situações didáticas e criatividade nas aulas de matemática. Perspectivas da Educação Matemática, v. 7, p. 38-50, 2014.

CUNHA, E. C.. Estratégias de Polidez na Interação em Aulas Chat. 1ª. ed. , 2012.

DESTRO, M.R.P.. Os desafios dos educadores que vivem nas sociedades industrial/pósindustrial. ActaCientífica.CiênciasHumanas, São Paulo, v. 1, n.2, p. 6-13, 2002.

DURÁN N; MORAIS S.G; FREIRE R.S. Degradation and toxicityreduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonationprocesses. Chemosphere.V.40, p.369-373, 2000.

GOMES, L..P.; SCHOENELL, E. K. . Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ONLINE), v. 23, p. 113-124, 2018.

LACERDA, J.M.; ARAUJO JR, C. F.. Estudo do currículo de um curso de pós-graduação *lato sensu*, com foco em habilidades e competências. Revista de produção discente em educação matemática, v. 3, p. 1-79, 2014.

LEDAKOWICZ, S., SOLECKA, M., ZYLLA, R., 2001, Biodegradation, decolourisation and detoxification of textile wastewater enhanced by advanced oxidation processes, J. Biotechnol.v. 89 pp.175-184.

LEVIN, L.; PAPINUTTI, L.,FORCHIASSIN., F. Evaluation of Argentine an white rot fungi for their abilityto produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. BioresourceTechnology, Argentina, v. 94, n. 2, p. 169-176, 2004.

MACLEOD, T. C. O. ; BARROS, V. P. ; FARIA, A. L. ; SCHIAVON, M. A. ; YOSHIDA, I. V. P. ; QUEIROZ, M. E. C. ; ASSIS, M. D. Jacobsen catalyst as a P450 biomimetic model for the oxidation of an antiepileptic drug. Journal of Chemical Catalysis. A, Chemical, v. 273, p. 259-264, 2007.

MARCELINO, R. B. P. ; QUEIROZ, M. T. A. ; AMORIM, C. C. ; LEÃO, M. M. D. ; BRITES-NÓBREGA, F. F. . Solar energy for wastewater treatment: review of

international technologies and their applicability in Brazil. Environmental Science and Pollution Research International, v. 1, p. 1-2014, 2014.

MOLINARI, R., PALMISANO, L., DRIOLLI, E., Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification. Journal of Membrane Science v. 206 n. 1-2 pp. 399-415, 2002.

NOGUEIRA, R.F.P; Oliveira, M.C.; PATERLINI, W.C., Simple and fast spectrophotometrtic determination of H_2O_2 in photo-Fenton reactions using metavanadate, Talanta, 66 (2005), pp. 86-91.

PAULA, M. S.; RIBEIRO, R. P. M. ; CERQUEIRA, A. A. ; MERÇON, F.; BILA, D. M..Z.; FELIX, L.; MARQUES, M.CA R.C. . Use of reverse osmosis as a polish for the cationic surfactant after electro-oxidative treatment: Acute and chronic toxicity assessment. ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY, v. 163, p. 521-527, 2018.

PERA-TITUS, M.; GARCIA-MOLINA, V.; BAÑOS, M. A.; GIMÉNEZ, J.; ESPLUGAS,S. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: ageneral review, applied catalysis B. Environmental, v. 47, p. 219 – 256, 2004.

PEREIRA, A. R.; DA COSTA, R. S. ; YOKOYAMA, L. ; ALHADEFF, E. M. ; TEIXEIRA, L. A. C. . *Evaluation of Textile Dye Degradation Due to the Combined Action of Enzyme Horseradish Peroxidase and Hydrogen Peroxide. Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 174, p. 2741-2747, 2014.

QUEIROZ, M. T. A.; SABARA, M. G. ; QUEIROZ, C. A. ; LEÃO, M. M. D. ; AMORIM, C. C. . Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. GESTÃO & PRODUÇÃO, v. 26, p. 1/1149, 2019-14, 2019.

SALGADO, B. C. B.; NOGUEIRA, M. I. C.; ROGRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M.S.; BUARQUE, H. L. B.; ARAÚJO, R. S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e fotoassistidos(UV e UV/H_2O_2).Engenharia sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 14,n. 1, jan/mar, 2009.

SANTOS JR., J. B.; SOUZA, F. L.; MARCONDES, M. E. R.. Estágios da colaboração: um instrumento para investigar a evolução das interações de professores de Química inseridos em um grupo colaborativo. REEC. REVISTA ELECTRÓNICA DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, v. 17, p. 358-379, 2018.

SETTI, M. E. C.. Aging and technology: new trends in Brazil. Gerontechnology (Valkenswaard), Holanda, v. 2, n.1, p. 48-49, 2002.

SMAHA, N.; GOBBI, M.F., 2003. Implementação de um modelo para similar a eutrofização do Reservatório do Passaúna - Curitiba - PR. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 8(3): 59-69.

SORDI, M. R. L. DE; SANTOS, M. A. ; MENDES, G. S. C. V. . Os vinte anos da Educação na Interface: trajetória, tendências e desafios. Interface (Botucatu. Online), v. 24, p. 1-18-18, 2020.

SOUZA, C. R. L. Degradação de corantes reativos e remediações de efluentes têxteis por processos avançados envolvendo ferro metálico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2006.

SOUZA, L. C. Tratabilidade de efluentes provenientes de duas sequências ECF de branqueamento de celulose kraft de eucalipto. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 2001.

TEIXEIRA, C.P. E JARDIM, W.F. Caderno Temático volume 03 – Processos oxidativos avançados – Conceitos teóricos. Universidade Estadual de Campinas; Unicamp, Instituto de Química; Laboratório de Química Ambiental, 2004.

VIOLA, D. H., LANFREDI, F., ZAGHINI, A.. Application of the Prigogine-Flory-Patterson model to excess molar enthalpy of binary liquid mixtures of 1-nonanol or 1-decanol with acetonitrile at atmospheric pressure and 298.15, 303.15 and 308.15K. Journal of Molecular Liquids (Print), v. 190, p. 196-199, 2014.

OLIVEIRA, D. M.; LEÃO, M. M. D.. Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com Reagente de Fenton. Química Nova, v. 32, p. 2282, 2009.