

ELEMENTOS DE QUÍMICA

CARMEN LÚCIA VOIGT
(ORGANIZADORA)



Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Elementos de Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E38	Elementos de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-507-5 DOI 10.22533/at.ed.075190208 1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia. CDD 540.7
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O grande desenvolvimento do nosso planeta, em diversas áreas, é devido principalmente ao desenvolvimento e utilização da Química.

A Química possui papel fundamental no desenvolvimento tecnológico, pois a utilização dos conceitos e técnicas dessa ciência permite a obtenção de novas substâncias, além de preocupar-se com a prevenção de danos e exploração sustentável do meio ambiente.

Os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Temas específicos são abordados em técnicas como eletrocatalise e degradação fotocatalítica.

A toxicidade de compostos e análise de contaminantes emergentes é apresentada nos trabalhos com enfoque em tratamento de água e efluentes. Além disso, trabalhos tratam de síntese e sensores eletroquímicos.

Inovações na química criam aplicações e soluções em diversas áreas, e pesquisas como as expostas neste volume contribuem para avanços tecnológicos.

Com base nestes experimentos, convidamos você a ampliar ainda mais seus conhecimentos sobre Química e suas aplicações.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO A ESTRUTURA METAL-ORGÂNICA [Cu ₃ (BTC) ₂ ·(H ₂ O) ₃] _n	
Kátia Cristina Silva de Freitas Renata Pereira da Silva Suzana Pereira Vila Nova Sandra Rodrigues de Souza Claudia Cristina Cardoso	
DOI 10.22533/at.ed.0751902081	
CAPÍTULO 2	10
ATIVIDADE ELETROCATALÍTICA DO GRAFENO DOPADO COM NITROGÊNIO NA REAÇÃO DE REDUÇÃO DO OXIGÊNIO PARA APLICAÇÃO EM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL	
Raquel Alves Corrêa Lima Raimundo Ribeiro Passos Leandro Aparecido Pocrifka Luiz Kleber Carvalho de Souza Alúcio José Cordeiro Pinto Júnior Vera Lúcia da Silva Marinho Consuelo Alves da Frota	
DOI 10.22533/at.ed.0751902082	
CAPÍTULO 3	21
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE <i>IN VIVO</i> DO ALCALOIDE APORFÍNICO GUATTERIOPSISCINA DE <i>Guatteria friesiana</i>	
Valéria Lima Silva Veras Chistiane Mendes Feitosa Ronaldo dos Santos Sousa Junior Emmanoel Vilaça Costa Hercilia Maria Lins Rolim Felipe Cardoso de Brito	
DOI 10.22533/at.ed.0751902083	
CAPÍTULO 4	33
DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DE CICLAMATO EM ÁGUAS SUPERFICIAIS MEDIANTE EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM E POSTERIOR DERIVATIZAÇÃO QUÍMICA	
Camila Santos Dourado Fabiana Casarin Maria Vitória dos Santos Villa Bande Ana Cristi Basile Dias	
DOI 10.22533/at.ed.0751902084	
CAPÍTULO 5	40
ESTUDO DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE UM IGARAPÉ DE MANAUS UTILIZANDO UM REATOR FOTOCATALÍTICO HETEROGÊNEO SOLAR	
Quelren Benacon Lima Marinho Andrey Marcos Pinho da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0751902085	

CAPÍTULO 6	52
SENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO EM POLÍMEROS DE IMPRESSÃO MOLECULAR PARA DETECÇÃO DO ÓXIDO DE CARIOFILENO	
Igor Medeiros de Assis	
Walter Ricardo Brito	
DOI 10.22533/at.ed.0751902086	
SOBRE A ORGANIZADORA	66
ÍNDICE REMISSIVO	67

ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO A ESTRUTURA METAL-ORGÂNICA $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$

Kátia Cristina Silva de Freitas

Departamento de química, Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife-Pernambuco

Renata Pereira da Silva

Departamento de química, Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife-Pernambuco

Suzana Pereira Vila Nova

Departamento de química, Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife-Pernambuco

Sandra Rodrigues de Souza

Departamento de educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife-Pernambuco

Claudia Cristina Cardoso

Departamento de química, Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife-Pernambuco

RESUMO: Metal-Organic Framework (MOF) é uma rede de coordenação com ligantes orgânicos e estrutura porosa. O objetivo dessa pesquisa foi sintetizar por via eletroquímica a MOF de $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$ e aplicá-la como material adsorvente para a remoção de corantes de tecidos nos efluentes. A síntese dessa MOF se deu eletroquimicamente e por via amperométrica, fixando-se o potencial em

12V durante 17 min., resultando em 73% de rendimento de um sólido azul. O produto final foi usado na sua forma bruta e caracterizado por espectroscopia de infravermelho (FTIR) e voltametria cíclica. Essa MOF, quando em contato com uma mistura que simulou um efluente de indústria têxtil, permitiu sua descoloração, acompanhada da decantação de um sólido colorido. Essa despigmentação também foi observada através da análise do sobrenadante por espectroscopia UV-Vis. O espectro de infravermelho (FTIR) do sólido decantado após a mistura da MOF com o corante, evidenciou a adsorção dos pigmentos da solução pela MOF. Esse resíduo sólido de MOF apresentou-se ambientalmente vantajoso, por ter sido facilmente separado do efluente tratado e por ser regenerável. Isso o diferencia do lodo gerado nos processos de coagulação/floculação tradicionais, que não pode ser regenerado.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente Têxtil, MOF, Síntese Eletroquímica, Tratamento de Efluentes.

ADSORPTION OF TEXTILE DYES USING METAL-ORGANIC FRAMEWORK $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$

ABSTRACT: Metal-Organic Framework (MOF) is a coordination network with organic binders

and porous structure. The objective of this research was to synthesize the MOF of $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ by electrochemical route and to apply it as adsorbent material for the removal of dyes from tissues in effluents. The synthesis of this MOF was given electrochemically via amperometric, setting the potential at 12V for 17 min., resulting in 73% yield of a blue solid. The final product was used in its crude form and characterized by infrared spectroscopy (FTIR) and cyclic voltammetry. This MOF, when in contact with a mixture that simulates an effluent of the textile industry, allowed its discoloration, accompanied by the decanting of a colored solid. This depigmentation was also observed by analysis of the supernatant by UV-Vis spectroscopy. The spectrum of infrared (FTIR) of the solid decanted after mixing the MOF with the dye showed the adsorption of the pigments from the solution by the MOF. This solid MOF residue was environmentally advantageous because it was easily separated from the treated effluent and being regenerated. This differentiates it from the sludge generated in traditional coagulation/flocculation processes, which cannot be regenerated.

KEYWORDS: Effluent Treatment, Electrochemical Synthesis, MOF, Textile Sewage.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, de acordo com a Associação Brasileira de Indústria Têxtil e Confecção – ABIT (2017), na economia brasileira existe uma participação forte da indústria **têxtil**, pois o Brasil ocupa a quinta posição no ranking de produção mundial desses insumos. Segundo o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos – DIEESE (2010), o agreste de Pernambuco é considerado o segundo polo em produção têxtil, só perdendo para São Paulo. Neste setor destacam-se as cidades de Toritama, Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru.

A principal fonte dos efluentes gerados da indústria têxtil resulta dos processos de lavagem, acabamento e tingimento. A coloração forte é uma característica desses efluentes que são ricos em corantes de origens e naturezas diferenciadas. Suas presenças causam dificuldades na penetração dos raios solares nos córregos, lagoas e rios, impedindo assim a fotossíntese de algumas espécies, comprometendo a fauna e flora aquática local (GOIS et al., 2016).

A retirada da coloração dos efluentes têxteis é uma das principais dificuldades que as indústrias enfrentam. Existem algumas alternativas para esses tratamentos como a utilização de reações diretas ou indiretas por métodos eletroquímicos, o uso de biomateriais adsorventes (coco e bambu), membranas de nanofiltração e o uso de fungos ou bactérias. Mas a escolha do método para a retirada do corante precisa ser bem criteriosa, pois no caso de via eletroquímica ou por adsorção pode ser gerado um lodo ou resíduo sólido contaminante (BAIRD e CANN, 2011; MÜNCHEN et al., 2015; EYVAZ, 2016; PIZATO et al., 2017).

A União Internacional de Química Pura e Aplicada - IUPAC (2013) apresentou

recomendações para padronizar a nomenclatura da Metal-Organic Framework - MOF, sendo definida como uma rede de coordenação com ligantes orgânicos e estrutura porosa (BATTEN et al., 2013).

A utilização de MOFs como material adsorvente de compostos nocivos ao meio ambiente tem sido explorada. Aquino et al. (2012) observaram que as MOFs- MIL-53 e Cu-BTC apresentaram uma eficiente capacidade de adsorção de pesticidas quando comparadas a fase comercial sílica- C_{18} .

Ke et al. (2011) modificaram a estrutura da MOF de $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$ que foi transformada em Cu-BTC-DTG, (DTG=ditioglicol) para remover íons de mercúrio em água. A elevada capacidade de adsorção de tais MOFs tiol-funcionalizadas foi atribuída aos grupos tiol que tornou esse material promissor na adsorção de íons de metais pesados.

Haque et al. (2011) utilizaram uma MOF de Fe^{3+} para a remoção dos corantes azul de metileno (catiônico) e o alaranjado de metila (aniônico). Ela adsorveu grande quantidade de corantes através de uma interação eletrostática entre a MOF e o corante.

Por ser um material poroso, a MOF pode ser usada como material adsorvente para a remoção de corantes de tecidos em efluentes. O objetivo dessa pesquisa foi sintetizar por via eletroquímica a MOF de $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$ e aplicá-la como material adsorvente para a remoção de corantes de tecidos em água.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Na síntese da $[Cu_3(BTC)_2 \cdot (H_2O)_3]_n$, os reagentes foram usados sem purificação previa: ácido 1,3,5-benzenotricarboxílico (BTC) com pureza de 98%, N,N-dimetilformamida (DMF) 99,8%, o nitrato de sódio 99%, duas placas de cobre 99% e água com alta pureza (MILLIPORE). As placas de cobre foram usadas como eletrodos auxiliar e de trabalho de sacrifício (consumido pela oxidação). Esses eletrodos sofreram pré-tratamento físico (com lixa d'água) e químico, imergindo uma área de 5 cm² em ácido nítrico à 20% em volume, durante 2 min.

O sistema foi composto por uma célula eletroquímica de vidro pirex com um compartimento. A rota eletroquímica foi a amperométrica mantendo-se o potencial em 12 V utilizando-se a fonte DC POWER SUPPLY modelo PS-1502 DD. A solução utilizada foi uma mistura de ácido 1,3,5-benzenotricarboxílico (0,048 mol L⁻¹) com nitrato de sódio (0,24 mol L⁻¹), solubilizados em uma mistura de solventes DMF/H₂O (1/1). Após 17 min. de reação foi obtido um sólido azul de MOF. Este sólido foi filtrado, lavado com a mesma mistura de solventes e levado à secura em uma estufa a uma temperatura de 120 °C por 30 min (SILVA, 2015).

A caracterização eletroquímica foi realizada por voltametria cíclica no potenciostato da Metrohm, modelo PGSTAT 302N e o software GPES 4.9. A voltametria cíclica foi realizada em uma solução de 0,1 mol L⁻¹ de tampão fosfato com pH 7,0 e na temperatura ambiente. Para isso utilizou-se uma taxa de varredura de 50,0 mVs⁻¹ numa janela de

potencial de -0,4 V a +0,4 V. O eletrodo de trabalho foi um fio de platina recoberto com uma mistura de gel de agarose com a MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$, o contra-eletrodo foi um fio de platina em espiral e o de referência foi o de Ag/AgCl (KCl(saturado)).

Essa MOF foi caracterizada por espectroscopia na região do infravermelho utilizando o espectrofotômetro com transformada de Fourier (FTIR) marca VARIAN, modelo 640 IR.

Uma simulação do efluente gerado nas fabricas de tecido jeans foi feita a partir de um corante comercial para tecido com fixador na cor azul jeans. Preparou-se uma solução de $0,004 \text{ g mL}^{-1}$ desse corante em água destilada. Misturou-se $0,023 \text{ g}$ da MOF em 10 mL da solução do corante e manteve-se em repouso. O precipitado formado foi separado por decantação e o filtrado foi analisado no espectrofotômetro UV/visível da BEL-Photonics modelo UV-M51. O resíduo sólido foi seco em estufa a 120°C por uma hora, em seguida ele foi analisado por espectroscopia de infravermelho (FTIR).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ foi obtida por síntese eletroquímica e por via amperométrica em apenas 17 min, apresentando rendimento molar de 73%. Essa síntese foi considerada rápida em relação aos métodos convencionais, como o solvotermal e o de refluxo sob pressão ambiente, obtidos por Schlesinger et al. (2010) e Lee et al. (2013).

O espectro de infravermelho (FTIR) da MOF (Figura 1) evidencia a complexação do ligante BTC^{3-} com o íon de cobre II, via o grupo carboxilato (COO^-), de acordo com a ausência das bandas 1.412 a 1.404 cm^{-1} (estiramento do grupo O-C-C), 1.276 cm^{-1} (deformação do grupo -C-C-O-H fora do plano do dímero do ácido), 917 a 904 cm^{-1} (grupo C-O-H no plano do dímero ácido), 1.695 a 1.720 cm^{-1} (ligação C=O) e da banda intensa com máximo de 2.867 cm^{-1} (estiramento da ligação O-H na carboxila). As bandas em 1375 e 1445 cm^{-1} são características da estrutura $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ e são atribuídas a presença do iso-anisobidentado dicobre(II) carboxilato, um tipo de cluster monométrico. A banda larga em 3.497 cm^{-1} é atribuída ao estiramento O-H da água de hidratação e coordenação indicando que a supramolécula sintetizada apresenta moléculas de água na sua estrutura. Espectros semelhantes foram obtidos por Seo et al. (2009), Serna et al. (2012) e Silva (2015).

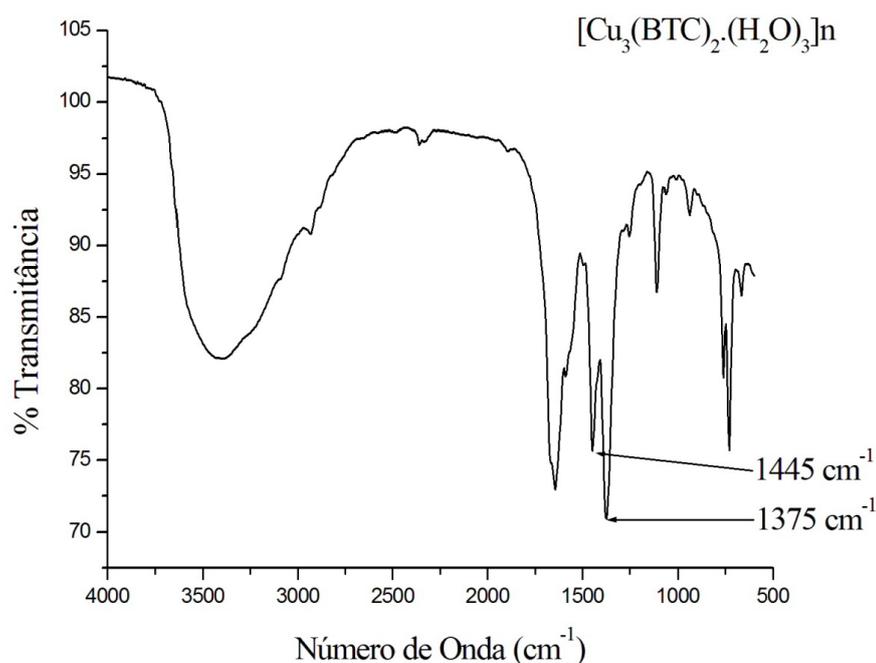


Figura 1. Espectro de infravermelho (FTIR) da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$

No voltamograma cíclico apresentado na Figura 2 observa-se um pico de potencial anódico ($E_{pa} = +0,1 \text{ V}$) que corresponde à oxidação do cobre metálico (Cu^0). Após a inversão da polaridade no sentido de potenciais mais negativos, um novo pico de potencial catódico (E_{pc}) começou a aparecer em aproximadamente $-0,12 \text{ V}$ caracterizando a redução do íon cobre (II). Esse voltamograma também foi obtido por Serna et al. (2012) e Silva (2015).

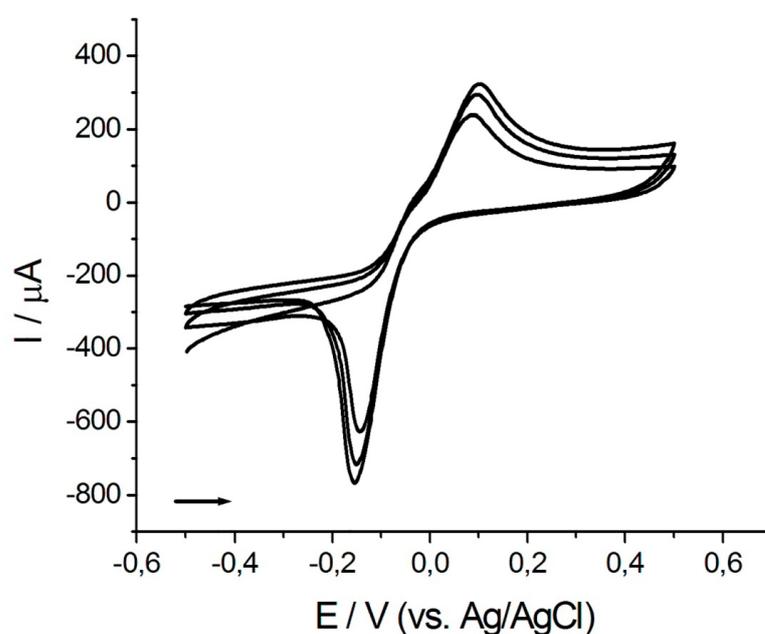


Figura 2. voltamograma cíclico da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$

A MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$, uma vez caracterizada, foi utilizada para simular o tratamento dos efluentes gerados e despejados nos rios pelas fábricas de jeans. Parte desses efluentes são compostos pelos corantes azuis usados para tingir os tecidos jeans, mas sua embalagem comercial não apresenta a fórmula química desse corante. Por isso, simulamos esse efluente na forma de uma solução aquosa de um corante para tecido com fixador na cor azul jeans. Ao misturar a MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com essa solução, observou-se a sedimentação de um precipitado azul no fundo do recipiente em menos de um minuto da mistura mantida em repouso e verificou-se que o sobrenadante não apresentava mais a coloração inicial.

O sobrenadante e o precipitado foram separados e analisados separadamente. O sobrenadante foi analisado por absorção na região do visível que evidenciou o desaparecimento da banda em 560 nm, presente no espectro da solução do corante antes de sua mistura com a MOF (Figura 3). Essa observação evidencia que o corante foi adsorvido pela MOF.

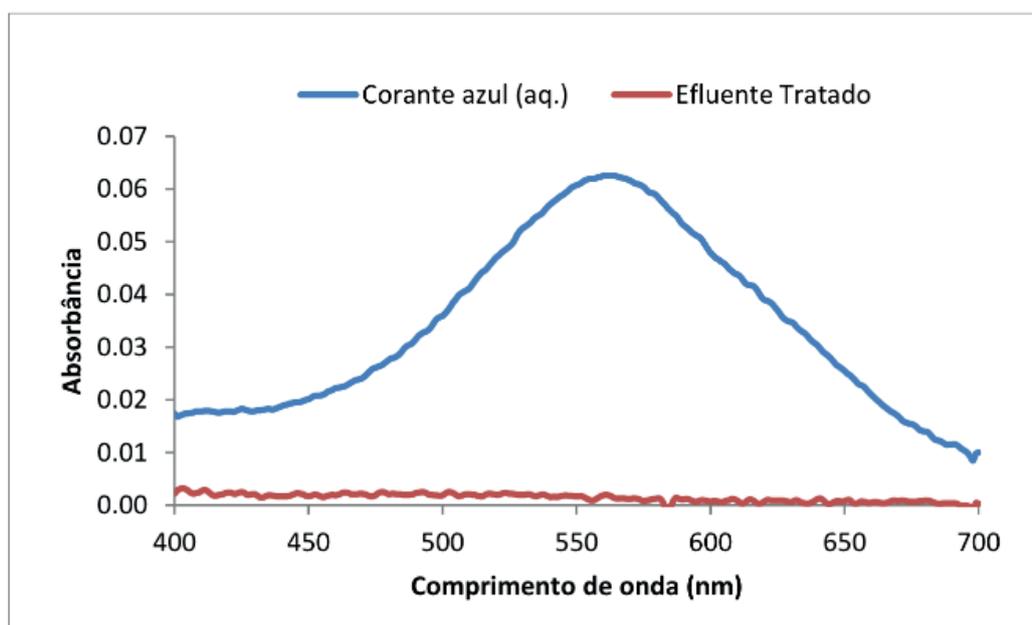


Figura 3. Espectro de absorção na região do visível obtido com a solução do corante azul e com o efluente tratado.

O precipitado, aqui denominado por MOF/corante, foi analisado por espectroscopia de infravermelho (FTIR), e seu espectro foi comparado ao do corante e da MOF antes da mistura. Em relação ao espectro da MOF, o espectro do sólido MOF/corante (Figura 4) apresenta dois novos estiramentos em 1507 cm^{-1} e 1481 cm^{-1} , assim como um deslocamento da banda em 1590 cm^{-1} para 1580 cm^{-1} , atribuídos a ligação C=C dos anéis benzeno do BTC. De acordo com Azhar et al. (2017) o deslocamento dessa banda é atribuído às interações π - π dos anéis benzeno presentes na MOF e no corante.

Apenas o estiramento em 1481 cm^{-1} aparece no espectro do corante, sugerindo

a presença do corante na MOF. Barros et al. (2016), usando a MOF de Fe(BTC) para adsorção do corante índigo carmim, também observou um pico do corante na estrutura da MOF. Entretanto, este pico não apareceu nessa mesma região do espectro, por se tratar de outro corante.

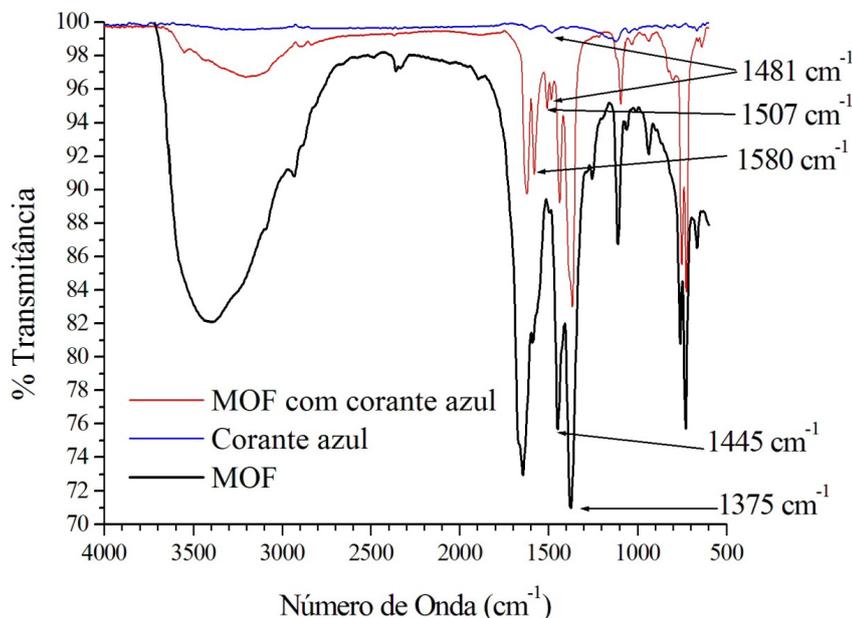


Figura 4. Espectro de infravermelho (FTIR) obtido do corante azul e da MOF antes e após a mistura com o corante.

A combinação do espectro na região do visível evidenciando a ausência do corante no sobrenadante, juntamente com os espectros de infravermelho (FTIR) que mostram os sinais do corante e da MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ no precipitado, sugerem que a MOF adsorveu o corante e ambos sedimentaram. Esse sedimento MOF/corante apresenta-se então como uma proposta ambientalmente vantajoso no tratamento dos efluentes gerados nas fábricas de tecido jeans, uma vez que sua combinação é instantânea e apresenta-se facilmente separado do efluente tratado. Inclusive ele não foi descartado no meio ambiente por ser regenerável. Isso o diferencia do lodo gerado nos processos de coagulação/floculação tradicionais, que não pode ser regenerado.

4 | CONCLUSÕES

A MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ foi obtida por síntese eletroquímica e por via amperométrica em apenas 17 min. Essa síntese foi considerada rápida em relação aos métodos convencionais, como o solvotermal e o de refluxo sob pressão ambiente. As caracterizações por espectroscopia de infravermelho (FTIR) e voltametria cíclica indicaram o sucesso dessa síntese, uma vez que foram semelhantes aos apresentados na literatura.

A MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ preparada apresentou-se muito promissora no tratamento dos efluentes gerados pelas fábricas de jeans. Nossos experimentos mostraram que a MOF permite uma imediata adsorção do corante azul do jeans, em condições brandas ainda mesmo em repouso, e esse produto apresenta-se na forma sedimentar. Essa observação foi constatada mediante análises espectroscópicas nas regiões do visível e do infravermelho que indicaram que o corante é adsorvido na MOF formando um precipitado facilmente removível da fase aquosa. Inclusive ele não foi descartado no meio ambiente por ser regenerável. Isso o diferencia do lodo gerado nos processos de coagulação/floculação tradicionais, que não pode ser regenerado.

REFERÊNCIAS

- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções. **Perfil do setor, 2017**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 11 de abr. 2019.
- AQUINO, A. et al. Investigating the Potential of Metal-Organic Framework Material as an Adsorbent for Matrix Solid-Phase Dispersion Extraction of Pesticides During Analysis of Dehydrated Hyptis pectinata Medicinal Plant by GC/MS. **Journal of AOAC International**, v. 95, n. 5, p. 1338-1342, 2012.
- AZHAR, M. R. A. et al. One-pot synthesis of binary metal organic frameworks (HKUST-1 and UiO-66) for enhanced adsorptive removal of water contaminants. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 490, p. 685–694, 2017.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.
- BARROS, A. L.; MALO, D. L.; ALVES Jr., S. Uso da Rede de Coordenação Fe(BTC) na Sorção do Corante Índigo Carmim. In: Severino Alves Júnior. (Org.). **Metal Organic Frameworks (MOF's): da síntese à aplicações em meio ambiente, saúde e segurança pública**. Curitiba: CRV, 2016. p. 89-108.
- BATTEN, S. R. et al. Terminology of metal–organic frameworks and coordination polymers (IUPAC Recommendations 2013). **Pure and Applied Chemistry**, v. 85, n. 8, p. 1715–1724, jul. 2013.
- DIEESE. **DIAGNÓSTICO DO SETOR TÊXTIL E DE CONFECÇÕES DE CARUARU E REGIÃO. SEJE/DIEESE**. Recife, 2010. Disponível em: <<http://www.dieese.org.br/relatoriotecnico/2010/diagnosticoFinalCaruaru.pdf>>. Acesso em: 11 de abr. 2019.
- EYVAZ, M. Treatment of Brewery Wastewater with Electrocoagulation: Improving the Process Performance by Using Alternating Pulse Current. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 11, p. 4988-5008, maio 2016.
- GOIS, F. A. et al. Análise da qualidade da água quanto ao despejo industrial têxtil no Rio dos Índios. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 5, p. 15-27, 2016. Disponível em: <<https://www.uninter.com/cadernosuninter/index.php/meioAmbiente/article/view/354>>. Acesso em: 11 de abr. 2019.
- HAQUE, E.; JUN, J. W.; JHUNG, S. H. Adsorptive removal of methyl orange and methylene blue from aqueous solution with a metal-organic framework material, iron terephthalate (MOF-235). **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 1, p. 507-11, jan. 2011.
- KE, F. et al. Thiol-functionalization of metal-organic framework by a facile coordination-based postsynthetic strategy and enhanced removal of Hg^{2+} from water. **Journal of Hazardous Materials**, v. 196, p. 36-43, nov. 2011.

LEE, Y. R.; KIM, J.; AHN, W. S. Synthesis of metal-organic frameworks: A mini review. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 9, p. 1667-1680, set. 2013.

MÜNCHEN, S. et al. Jeans: a relação entre aspectos científicos, tecnológicos e sociais para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 3, p. 172-179, agosto 2015.

PIZATO, E. et al. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 1027-1035, oct. 2017.

SCHLESINGER, M. et al. Evaluation of synthetic methods for microporous metal-organic frameworks exemplified by the competitive formation of $[\text{Cu}_2(\text{btc})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$ and $[\text{Cu}_2(\text{btc})(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})]$. **Microporous Mesoporous Materials**, v. 132, p. 121-127, jul. 2010.

SEO, Y. K. et al. Microwave synthesis of hybrid inorganic-organic materials including porous $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ from Cu(II)-trimesate mixture. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 119, p. 331-337, mar. 2009.

SERNA, S. L. et al. Electrochemical behavior of $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2]$ metal-organic framework: The effect of the method of synthesis. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 540, p. 113-120, nov. 2012.

SILVA, G. G. 2015. Métodos de síntese de estruturas metal-orgânicos, derivados de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ e derivados e aplicações para sensores eletroquímicos. Tese de Doutorado, Departamento de Química Fundamental/Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 185p. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15775>>. Acesso em: 11 de abr. 2019.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação lato sensu; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acetilcolinesterase 21

C

Células a combustível 10

E

Eletrocatalisadores 12

Eletrodo de pasta de carbono 59

F

Fotorreatores 40

G

Grafeno dopado com nitrogênio 11

O

Óxido de cariofileno 54

Q

Química 2, 5, 2, 8, 9, 10, 21, 30, 33, 51, 52, 64, 66

T

Tecnologia 10, 40, 66

V

Voltametria 55

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-507-5

