



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA



ELOISA FERREIRA NEVES

SISTEMAS ELETROQUÍMICOS PARA TRATAR AMOSTRAS DE ÁGUA
CONTENDO CORANTE TÊXTIL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA
DIVULGAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA

RECIFE

2021

ELOISA FERREIRA NEVES

**SISTEMAS ELETROQUÍMICOS PARA TRATAR AMOSTRAS DE ÁGUA
CONTENDO CORANTE TÊXTIL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA
DIVULGAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA**

Monografia apresentada à coordenação do Curso de Licenciatura
Plena em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco,
como requisito necessário à obtenção do Título de licenciada em
Química.

Professor (a) Orientador (a): Kátia Cristina Silva de Freitas

Colaboradoras:

Prof^a Dr^a Luana Cassandra B.B. Coelho

Prof^a Dr^a Sandra Rodrigues de Souza

RECIFE
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N518s Neves, Eloisa Ferreira
 Sistemas eletroquímicos para tratar amostras de água contendo corante têxtil como ferramenta didática para divulgação da poluição hídrica / Eloisa Ferreira Neves. - 2021.
 47 f. : il.
- Orientadora: Katia Cristina Silva de Freitas.
 Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Recife, 2021.
1. Eletroquímica. 2. Biossensor. 3. Oficina didática. I. Freitas, Katia Cristina Silva de, orient. II. Título

CDD 540

ELOISA FERREIRA NEVES

**SISTEMAS ELETROQUÍMICOS PARA TRATAR AMOSTRAS DE ÁGUA
CONTENDO CORANTE TÊXTIL COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA
DIVULGAÇÃO DA POLUIÇÃO HÍDRICA**

Monografia apresentada à
Universidade Federal Rural de
Pernambuco como parte das
exigências para a obtenção do grau de
licenciada em Química.

Monografia Aprovada em: 07/07/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Katia Cristina Silva de Freitas
(UFRPE)

Prof^a Dr^a Sandra Rodrigues de Souza
(UFRPE)

Prof^a Dr^a Suzana Pereira Vila Nova
(UFRPE)

“Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele
confiarei.”
(Salmos 91:2)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por seu amor e misericórdia que tem concedido a mim e a minha família. Minha gratidão por toda a força, sabedoria e paciência nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha mãe e irmã, Glêdiva e Acacia, por todo apoio e por nunca ter deixado de acreditar no meu potencial. Sem a base sólida que vocês proporcionam eu não teria conseguido nada.

Agradeço a Eliseu por toda ajuda, carinho e colaboração durante o decorrer do curso.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco por oportunizar minha capacitação profissional.

As professoras Dr. Kátia Freitas e Dr. Sandra Souza pela confiança, carinho, ensinamentos, conselhos e parceria durante o desenvolvimento dos programas de iniciação científica e de extensão. Sem vocês não seria possível a construção dessa monografia bem como, descobrir minha afeição pela área de eletroquímica.

Ao CNPQ pelo incentivo ao desenvolvimento da pesquisa.

As professoras Michele França e Prazeres Arruda pelos conselhos, dicas e parceria no desenvolvimento das oficinas didáticas.

Ao Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas – CODAI, por oportunizar a realização das oficinas didáticas.

A professora Dr. Luana Cassandra por viabilizar a pesquisa com a doação da solução salina da lectina cMoL.

As amigas que o trabalho no laboratório me proporcionou, Renata e Mariana, muito prazeroso dividir o espaço, as dúvidas, as angústias e as conquistas com vocês.

Aos amigos que levarei para além dos muros da universidade, Évany, Jobson e Hayane, pela ajuda e toda força durante o curso.

Aos amigos José e Gabriel pela ajuda com os voltamogramas cíclicos da cMoL.

A todos os professores do departamento de química que ao decorrer do curso foram extremamente importantes para meu crescimento profissional.

A todos os colegas de turma que compartilharam bons momentos na universidade e que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse sonho.

RESUMO

As oficinas didáticas para divulgação científica e tecnológica além de contribuir com os aspectos motivacionais para o desenvolvimento da aprendizagem são uma estratégia interativa que pode proporcionar o desenvolvimento da aprendizagem de ciências. Essa pesquisa tem como objetivo utilizar sistemas eletroquímicos para caracterizar as propriedades físico-químicas da lectina coagulante das sementes de *Moringa oleifera* (cMoL) no tratamento de amostras de água contendo corantes têxteis do tipo índigo como ferramentas didáticas para divulgação científica sobre a poluição hídrica em efluentes oriundos da indústria têxtil. O desenvolvimento metodológico dessa pesquisa compreende o desenvolvimento de pilhas de alumínio utilizando latas de alumínio e garrafas PET para o tratamento de solução de corantes tipo índigo; a determinação dos potenciais eletroquímicos e voltamogramas cíclicos gerados pela aglutinação da cMoL imobilizada na MOF com solução aquosa de corante índigo carmim; o desenvolvimento de biossensores potenciométricos para determinação de resíduos de corantes índigos em meio aquoso. Foram observadas diferenças consideráveis dos potenciais eletroquímicos em relação ao eletrodo de platina (Pt), eletrodo de trabalho platina recoberto com MOF (Pt/MOF), eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada (Pt/MOF/cMoL) e ao interagir Pt/MOF/cMoL com diferentes concentrações de galactose. A voltametria cíclica apresentou resultados com diferenças significativas entre a amostra de corante não tratada e as amostras de corante após tratamento. O desenvolvimento de oficinas didáticas em espaços escolares para validação do sistema eletroquímico como instrumento didático aplicado a aprendizagem e divulgação sobre a poluição hídrica causada pelo descarte de corantes índigos em efluentes da indústria têxtil é relevante para a construção dos conceitos relacionados a eletroquímica.

Palavras chaves: Eletroquímica; Biossensor; Oficina didática.

ABSTRACT

Didactic workshops for scientific and technological dissemination, in addition to contributing to motivational aspects for the development of learning, are an interactive strategy that can provide the development of science learning. This research aims to use electrochemical systems to characterize the physicochemical properties of the coagulant lectin from *Moringa oleifera* seeds (cMoL) in the treatment of water samples containing indigo-type textile dyes as teaching tools for scientific dissemination about water pollution in effluents from the textile industry. The methodological development of this research comprises the development of aluminum piles using aluminum cans and PET bottles for the treatment of indigo-type dye solution; the determination of electrochemical potentials and cyclic voltammograms generated by the agglutination of cMoL immobilized on the MOF with an aqueous solution of indigo carmine dye; the development of potentiometric biosensors for the determination of indigo dye residues in aqueous media. Considerable differences were observed in the electrochemical potentials in relation to the platinum electrode (Pt), MOF coated platinum working electrode (Pt/MOF), MOF coated platinum electrode and immobilized cMoL (Pt/MOF/cMoL) and when interacting Pt /MOF/cMoL with different concentrations of galactose. Cyclic voltammetry showed results with significant differences between the untreated dye sample and the dye samples after treatment. The development of didactic workshops in school spaces to validate the electrochemical system as a didactic tool applied to learning and dissemination about water pollution caused by the disposal of indigo dyes in textile industry effluents is relevant for the construction of concepts related to electrochemistry.

Keywords: Electrochemistry; Biosensor; Didactic workshop.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Subdivisões das estruturas globais das proteínas vegetais.....	17
Figura 2: Representação da roda de pás.....	20
Figura 3: Estrutura dos poros de MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]$	20
Figura 4: Estrutura básica de um biossensor	21
Figura 5: Estrutura do corante índigo carmim	24
Figura 6: Eletrodo de trabalho modificado, Pt/MOF/cMoL	28
Figura 7: Célula eletroquímica, contendo o eletrodo de referência Ag/AgCl e o eletrodo de trabalho modificado, Pt/MOF/cMoL, ambos ligados a um medidor potenciométrico	29
Figura 8: Pilha composta por latas de alumínio contendo solução de corante índigo-carmim.....	30
Figura 9: Potencial eletroquímico do eletrodo da platina, Pt; eletrodo de platina revestido com MOF, Pt/MOF; eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada, Pt/MOF/cMo; eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada, Pt/MOF/cMoL e interagindo com diferentes concentrações de galactose: 5mM, 10 mM e 15 mM.....	34
Figura 10: Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ (a), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com cMoL imobilizada(b), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com cMoL imobilizada interagindo com galactose 10 mM(c), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com galactose 10 mM(d).....	36
Figura 11 e 12: Solução de corante exibindo o processo de coagulação do mesmo após o tratamento eletroquímico.....	38
Figura 13: Voltamograma cíclico com amostras antes do tratamento, após o tratamento na pilha de alumínio e também, após o tratamento com eletrodo de ferro.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sistemas de transdução empregados nos biossensores.....	22
Tabela 2: Valores de pH das amostras com corante.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Geral:	15
2.2 Específicos:	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Lectinas	16
3.2. Lectina Coagulante de semente de Moringa Oleifera (cMoL)	17
3.3 Metal-Organic Frameworks (MOFs)	18
3.4 Biossensores	21
3.5 Corantes Têxteis	24
3.6 Experimentação no ensino de eletroquímica	25
4. METODOLOGIA	27
4.1 Confecção do eletrodo de referência	27
4.2 Lavagem e preparação do eletrodo de trabalho	27
4.3 Síntese do Metal-Organic Framework - MOF de $[\text{Cu}_3 (\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$	27
4.4 Imobilização da lectina de sementes de Moringa oleifera (cMoL) na superfície do eletrodo de platina (construção do eletrodo de trabalho modificado = Pt/MOF/cMoL)	27
4.5 Avaliações eletroquímicas das interações específicas de cMoL imobilizada na superfície MOF/eletrodo de platina	28
4.6 Construção da pilha de latas de alumínio e garrafas PET para tratamento de amostras aquosas contendo corante do tipo índigo-carmim simulando um efluente têxtil	29
4.7 Medição do potencial do eletrodo de trabalho modificado (Pt/MOF/cMoL) com amostras contendo corante do tipo índigo-carmim após o tratamento com as pilhas de alumínio por voltametria cíclica	31
4.8 Execução das oficinas didáticas adotando a pilha de latas de alumínio como sistema eletroquímico	31
4.9 Caracterização da interação da cMoL imobilizada na superfície dos cristais de MOF com o ligante específico (galactose 5, 10, 15 e 20 mM) através do Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV)	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

As lectinas pertencem a um grupo de macromoléculas denominadas proteínas, as quais estão localizadas em toda a natureza (Lagarda-Diaz; Guzman-Partida; Vazquez-Moreno, 2017). Essas proteínas possuem características moleculares que as separam em grupos como peso molecular, tamanho, estrutura e organização dos seus sítios de ligação (MOREIRA et al., 1991).

Lectinas são todas as proteínas ou glicoproteínas que possuem, pelo menos, um domínio não catalítico e são capazes de se ligarem, reversivelmente, a monossacarídeos ou oligossacarídeos específicos, sem alterar as propriedades desses (LAM; NG, 2011). A identificação efetiva da seletividade das lectinas aos carboidratos é significativa não apenas para decifrar as glicoproteínas envolvidas nos processos, mas também possibilita o desenvolvimento de testes úteis para o diagnóstico e a terapia das doenças (WANG; HE, 2018).

O reino vegetal destaca-se por ser uma grande fonte de lectinas, sendo, as sementes uma das principais fontes.

Lectinas com propriedades coagulantes (cMoL) similar ao sulfato de alumínio, um reagente comumente usado em tratamento de água, foram purificadas das sementes de *Moringa Oleifera*. A cMoL é uma proteína básica, catiônica e solúvel em meio salino o que facilita a sua utilização na confecção de biossensores eletroquímicos.

A *Moringa Oleifera* é uma planta tropical usada na alimentação, na indústria farmacêutica, na produção de óleo, como fonte de proteínas para animais e na clarificação de águas turvas. Esta espécie destaca-se como um dos mais importantes e promissores coagulantes naturais e pode ser uma opção vantajosa em relação aos coagulantes químicos, principalmente no que se refere à biodegradabilidade, baixa toxicidade, baixa produção de lodo residual e menores riscos à saúde. As sementes dessa planta têm sido usadas para tratamento da água para consumo humano assim como, para desinfecção (SANTOS, 2009).

Para imobilização da cMoL e sua aplicação no biossensor analítico utilizou-se Metal Organic Frameworks (MOF), que são constituídas de um centro metálico, mono ou dinucleares formado geralmente por íons de transição do bloco d ou f e, por ligantes orgânicos polifuncionais (Ly-) de ácidos carboxílicos e/ou compostos nitrogenados de alguns ligantes mais usuais. São estruturas cristalinas, 2D e 3D com poros em potencial sendo assim, um material adsorvente.

Esses dispositivos analíticos constituídos por um material biológico ou biorreceptor (tecidos, microrganismos, enzimas, organelas, proteínas, antígenos, anticorpos, dentre outros) imobilizado em polímeros ou membranas adequadas e conectado a um transdutor que converte o sinal biológico em sinal elétrico discreto ou contínuo proporcional a concentração do analito (ZAPP et al., 2014; KOKKINOS et al., 2016).

Biossensores utilizando lectinas imobilizadas na superfície de polímeros têm obtido um aumento da detecção de sinais eletroquímicos sugerindo a aplicação desses sistemas para avaliar as interações dessas proteínas com os seus ligantes específicos (Avelino et al., 2014). Os biossensores classificados como biossensores eletroquímicos são biodispositivos que combinam a sensibilidade dos métodos eletroanalíticos com a biosseletividade inerente aos componentes biológicos. São formados por uma célula eletroquímica compostas por um eletrodo de referência e um eletrodo de trabalho que decompõem energia química em energia elétrica e vice-versa, por meio de uma reação de oxirredução (AVELINO et al., 2014; SOUZA et al., 2017).

Embora a especificidade de um vasto número de lectinas tenha sido bastante estudada, o mecanismo de ação dessas proteínas não foi totalmente caracterizado e para elucidar esse fenômeno é essencial o conhecimento da respectiva estrutura proteica. Os biossensores eletroquímicos tem a função de caracterizar as propriedades físico-químicas dessas proteínas e, para tal, se faz necessário imobilizar essa proteína em um eletrodo, denominado eletrodo de trabalho, procedimento que pode ser realizado em eletrodos revestidos com polímeros (SOUZA et al., 2017).

Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – ABIT (2017) mostram que o Brasil se posiciona como 5º maior produtor têxtil do mundo impulsionando a economia, principalmente, com geração de empregos. O agreste de

Pernambuco é considerado o segundo em produção têxtil, só perdendo para São Paulo. Neste setor destacam-se as cidades de Toritama, Santa Cruz do Capibaribe e Caruaru (PEREIRA, 2018). Em contrapartida, a contaminação das águas dos rios da localidade aumentou de forma significativa, cerca de 40% dos efluentes líquidos são despejados no esgoto público, 38% nos canais e 18% diretamente no rio da região, o Rio Ipojuca (AMARAL e SILVA et al. 2012).

Os efluentes resultantes do beneficiamento têxtil apresentam alta carga de corantes que não se prendem as fibras durante o processo de beneficiamento e que se lançados de forma incorreta em corpos d'água geram sérios problemas ambientais, como a contaminação de leitos de rios (KUNZ; ZAMORA, 2002). Devido a utilização de grande quantidade de água nessa etapa, são geradas quantidades significativas de efluentes, esse fato, aumenta o potencial poluidor da indústria têxtil onde, o problema mais difícil de solucionar para tratar os efluentes lançados pela mesma é a remoção da cor.

Para divulgar o problema causado pela contaminação de recursos hídricos adotou-se como ferramenta, oficina didática. As oficinas funcionam como uma estratégia para verificar os saberes prévios dos educandos, além de promover o trabalho em equipe na construção do conhecimento coletivo e da troca de saberes entre aluno-aluno e aluno-professor de forma ativa (Lima et al, 2015).

As oficinas valorizam a construção do conhecimento de forma participativa e questionadora e representa um espaço de reflexão e discussão caracterizando-se como uma valiosa estratégia de ensino aprendizagem. Proporciona também uma oportunidade de efetuar uma ação conscientizadora podendo tratar dos conteúdos de forma interdisciplinar.

Este trabalho tem como foco avaliar a utilização do uso da lectina cMoL na construção de sistemas eletroquímicos que possibilitam o tratamento de soluções aquosas contendo corantes têxteis utilizando-os como instrumentos didáticos para divulgar o problema ambiental provocado pelo descarte incorreto de efluentes da indústria têxtil.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral:

Utilizar sistemas eletroquímicos para caracterizar as propriedades físico-químicas da lectina coagulante das sementes de Moringa oleifera cMoL no tratamento de amostras de água contendo corantes têxteis, do tipo índigo, como ferramentas didáticas para divulgação científica sobre a poluição hídrica em efluentes oriundos da indústria têxtil.

2.2 Específicos:

2.2.1 Caracterização potenciométrica do biossensor com cMoL imobilizada na superfície MOF/eletrodo de platina com o ligante específico (galactose 5, 10,15 e 20 mM).

2.2.2 Produção de imagens da interação de cMoL imobilizada na superfície MOF com o ligante específico (galactose 5, 10, 15 e 20 mM) através Microscópico de Varredura Eletrônica (MEV).

2.2.3 Utilizar um sistema eletroquímico composto por latas de alumínio e garrafas PET, formando pilhas de alumínio, para tratamento de amostras aquosas contendo corantes do tipo índigo (índigo - carmim) que simula o efluente têxtil.

2.2.4 Obter voltamogramas cíclicos (CV) utilizando o biossensor composto pela cMoL imobilizada na superfície MOF/eletrodo de platina para determinar a concentração residual de corante têxtil em efluentes após tratamento pelo sistema eletroquímico composto por latas de alumínio e garrafas PET.

2.2.5 Promover oficinas didáticas em espaços formais utilizando pilhas de alumínio para divulgar a poluição hídrica devido a presença de corantes índigos nos efluentes da indústria têxtil.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Lectinas

As lectinas começaram a ser investigadas desde que a primeira destas moléculas foi descoberta por Stillmark em 1888 que, estudando a toxicidade de extratos de mamona (*Ricinus communis*) observou sua capacidade para aglutinar eritrócitos devido à presença de uma proteína extraída, a ricina (Sharon; Lis, 1988).

A palavra lectina tem origem no latim, *lectus*, e significa selecionado, escolhido. São proteínas que reconhecem a estrutura de carboidratos seletivamente e podem aglutinar vários tipos de células, são expressas em uma variedade de organismos de diferentes reinos taxonômicos, animais e vegetais, com importantes aplicações biotecnológicas e na terapia de doenças (Coelho et al., 2017). As interações carboidrato-lectina são específicas e reversíveis. As forças que fornecem a estabilidade dessas ligações reversíveis são as interações hidrofóbicas, forças de Van der Waals e as ligações de hidrogênio, que ocorrem no domínio de reconhecimento de carboidratos da lectina (PAIVA et al., 2010)

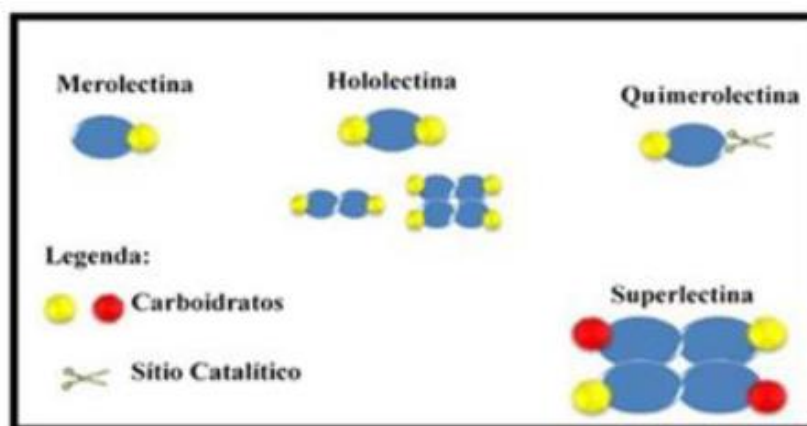
Lectinas são também identificadas como uma classe de proteínas heterogêneas oligoméricas variando em tamanho, estrutura, organização molecular e sítios de ligações a açúcares (BELLANDE et al., 2017).

Devido a especificidade e seletividade para ligar-se a carboidratos, as lectinas atuam como mediadoras nos mecanismos de interação e reconhecimento celular, pois, esses são dependentes dos açúcares da superfície (DUARTE et al., 2016; SILVA; SILVA, 2000).

Essas proteínas podem ser encontradas em animais, plantas e microrganismos sendo, mais abundante em plantas, principalmente em sementes de leguminosas.

São vários aspectos que podem ser usados para classificar essas proteínas. Segundo a sua especificidade aos carboidratos podem ser divididas em cinco grupos: galactose/N-acetilgalactosamina, manose/glicose, fucose, ácido siálico e N-acetilglicosamina (HU; WONG, 2009; HASHIM; JAYAPALAN; LEE, 2017).

As lectinas vegetais se destacam por ser uma fonte expressiva dessas macromoléculas e, podem ser subdivididas segundo sua estrutura global em: merolectinas, hololectinas, quimerolectinas e superlectinas, conforme figura 1.



Fonte: Pneumans & Van Damme (1995), atualizada por Van Damme et al. (1998) e adaptada por Simões (2011).

Figura 1: Subdivisões das estruturas globais das proteínas vegetais.

As merolectinas apresentam apenas um sítio de ligação a carboidratos; as hololectinas apresentam dois ou mais sítios idênticos de ligação a carboidratos; as quimerolectinas apresentam além dos domínios de ligação a carboidrato domínios não lectínicos, geralmente catalíticos e, as superlectinas apresentam pelo menos dois domínios distintos de ligação a carboidratos (VAN DAMME et al., 1998; ITAKURA et al., 2017).

3.2. Lectina Coagulante de semente de *Moringa Oleifera* (cMoL)

Moringa Oleifera Lamark é uma espécie nativa da Índia amplamente distribuída pelos continentes mundiais, sendo observado seu cultivo na Nigéria, Senegal, Tanzânia, Afeganistão, Indonésia, Paquistão, Bangladesh, Ilhas do Pacífico, Caribe, e também no Nordeste Brasileiro (SANTOS et al., 2015).

No semiárido nordestino tem sido bastante utilizada por ser uma espécie de baixo custo de produção, com boa adaptação a climas diversos sendo bastante utilizada no tratamento da água para o consumo da população, removendo impurezas (SANTOS et al., 2015). Essas propriedades específicas encontradas em suas sementes são decorrentes, entre outros constituintes, da presença de proteínas coagulantes, tais como, a lectina coagulante de sementes de *M. oleifera* (cMoL), que remove a turbidez da água tratando e tornando-a útil para o consumo das populações (SANTOS et al., 2009).

A espécie também é utilizada na medicina no tratamento de diversas doenças, por possuir compostos com atividades biológicas com várias propriedades, sendo estas: antimicrobiana, antitripanossoma, hipotensora, anti-úlceras, hipocolesterolêmico, anti-espasmódico, antioxidante, anti-inflamatória e anti-câncer (SREELATHA et al 2011; AWODELE et al., 2012; SATISH et al.; 2013; TILOKE et al., VONGSAK et al., 2013; CHUTURGOON et al., 2013., HANNAN et al., 2014).

A lectina cMoL é uma proteína catiônica que apresenta propriedade coagulante similar ao sulfato de alumínio, um reagente comumente usado em tratamento de água. Extratos de sementes de moringa preparados em meio salino (NaCl) apresentaram um maior percentual de remoção de turbidez em água (98%) do que os preparados em meio aquoso (90,4%). O que é explicado pela presença dos íons da solução salina que auxiliam na desestabilização do coloide na etapa de coagulação e que, consequentemente, aumentam a atividade coagulante (SANTOS et al., 2011).

Nas estações de tratamento de água as etapas de coagulação e floculação do tratamento são primordiais no processo. Segundo Pritchard et al. (2010), as impurezas dispersas na água, responsáveis pela turvação, possuem diferentes diâmetros, e carga elétrica negativa, gerando repulsão entre elas. As partículas acima do diâmetro crítico, sedimentam por gravidade, as menores permanecem em suspensão e em repulsão. A adição de um coagulante com carga elétrica positiva na água promove compressão da camada dupla e, assim, a neutralização do potencial eletrostático da superfície das partículas. Tal reação permite o contato entre as partículas remanescentes, formando os flocos maiores, que se sedimentam por gravidade.

3.3 Metal-Organic Frameworks (MOFs)

Metal-Organic Frameworks (MOFs) também conhecidos como redes de coordenação formam uma extensa classe de materiais cristalinos híbridos (inorgânico-orgânico), apresentando um átomo central (íon metálico) ou aglomerado (cluster metálico) coordenados a moléculas orgânicas (ligantes), em que essa unidade metal-ligante se repete formando uma rede polimérica de complexos metálicos em uma, duas ou três dimensões (DO; HOANG; KALIAGUINE, 2011 apud SILVA, 2015).

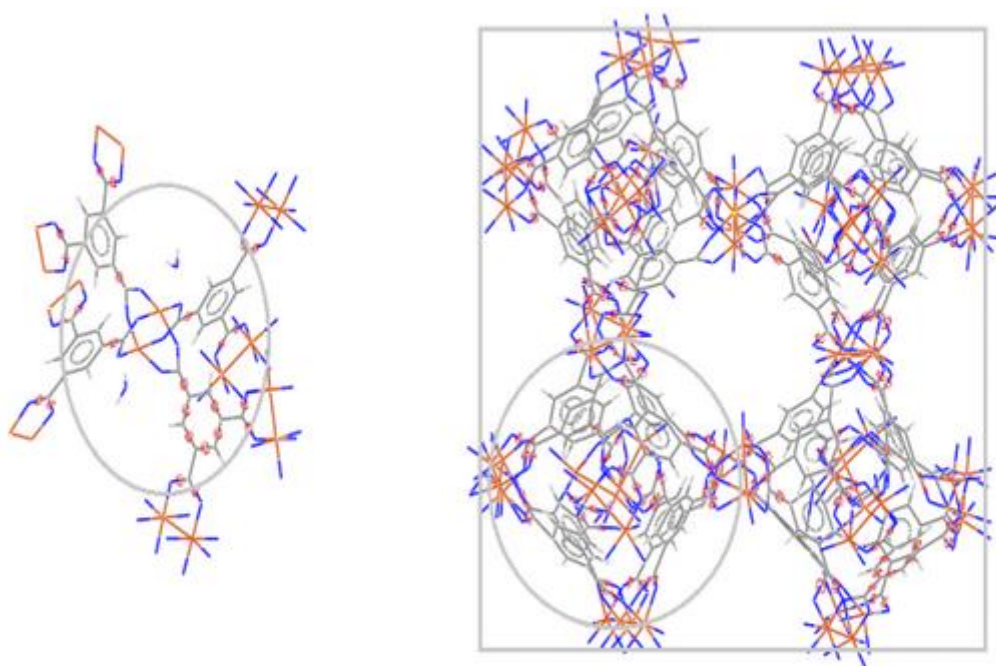
Os métodos de síntese da MOF são divididos em convencionais e não convencionais. Dentre os métodos de síntese conhecidos destacam-se: síntese por

difusão lenta, síntese hidro (solvo) termal, ionotermal, livre de solvente (mecanoquímica), síntese à temperatura ambiente, sonoquímica (ultra-som), síntese assistida por micro-ondas, síntese por refluxo sobre pressão ambiente, síntese eletroquímica e por ablação a Laser (SILVA, 2015).

A MOF empregada nesse trabalho foi desenvolvida através de síntese eletroquímica. A síntese eletroquímica (EQ) baseia-se na transferência de elétrons entre um eletrodo e o eletrólito ou espécies em solução. Não sendo um método muito usado na síntese de MOFs foi desenvolvida para a síntese em grande escala da MOF HKUST-1, uma rede 3D formada por íons Cu^{2+} e por ácido benzeno-1,3,5-tricarboxílico. Sua metodologia consiste na dissolução de um eletrodo (ânodo) que será o centro metálico em uma célula de um compartimento, com dois (trabalho e auxiliar) ou três eletrodos (trabalho, auxiliar e eletrodo de referencia), contendo as soluções aquosas com os ligantes e os solvente desprotonante e um eletrólito. Aplicando um potencial através de um instrumento (potenciostato/galvanostato). (SILVA, 2015 e PAZ & ROCHA).

A estrutura metal-orgânica $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ também chamada de HKUST-1, onde o BTC é o 1,3,5-benzenotricarboxilato, derivado do ácido 1,3,5-benzeno tricarboxílico que é usualmente conhecido como ácido trimésico, é um dos primeiros polímeros de coordenação que tem sido intensamente estudados devido às suas propriedades de especificidade magnética, catálise e adsorção (SILVA, 2015).

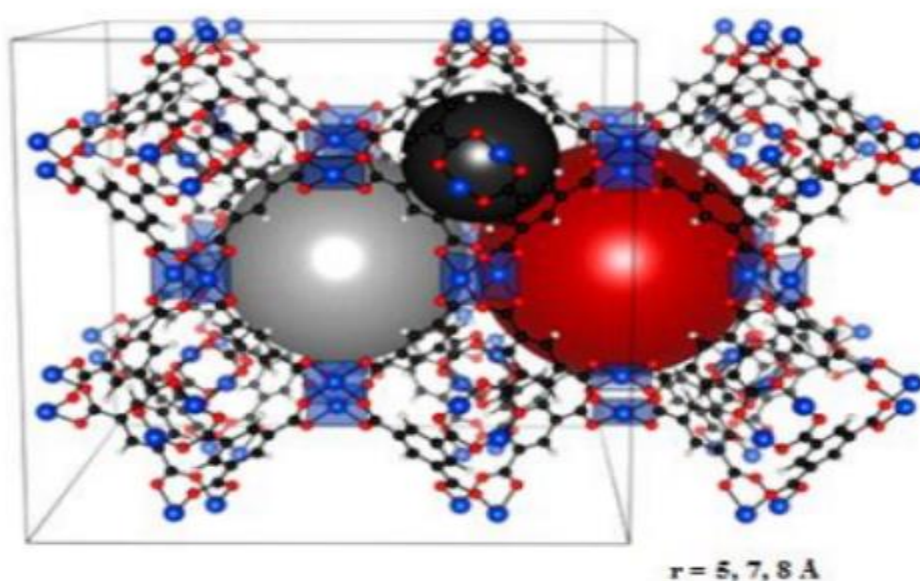
A MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ é constituída por um centro metálico e um ligante, produzindo uma unidade primária de construção (UPC), conhecida como roda de pás, apresentando um dímero (dois íons cobre (II)) e quatro moléculas do ácido trimésico (TMA). Este dímero unindo as UPC pelos seus vértices, por sua vez produzem uma unidade secundária de construção (USC), constituindo uma rede em 3D, cristalina, octaédrica. Na UPC, o dímero de cobre é coordenado por quatro ânions carboxilatos do BTC^{3-} formando as rodas de pás, como pode ser observado na Figura 2 (SILVA, 2015).



Fonte: SILVA, 2015.

Figura 2 : Representação da roda de pás.

A porosidade é uma característica muito relevante na estrutura desse polímero. A estrutura porosa do $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ possui três tamanhos de poros diferentes, enfatizado por esferas preta, cinza e vermelha, com seus respectivos raios (SILVA, 2015).



$r = 5, 7, 8 \text{ \AA}$

Fonte: SILVA, 2015.

Figura 3: Estrutura dos poros de MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]$.

As estruturas metais orgânicas têm uma vasta utilização e aplicação em processos de armazenamento de gás, catálise, carregadores de fármacos, materiais luminescentes e no meio ambiente (SILVA, 2015).

3.4 Biossensores

De acordo com a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC, do inglês “International Union of Pure and Applied Chemistry”) biossensor pode ser definido como dispositivo analítico que utiliza um elemento de reconhecimento biológico, como biorreceptor específico para um analito de interesse, associado a um elemento transdutor, responsável por transformar ou traduzir o sinal resultante da interação do analito em um sinal elétrico quantificável nas mais variadas aplicações (LEE et al. 2011).

Na interação do material biológico com o analito o principal objetivo é produzir um sinal eletrônico proporcional em magnitude e/ou frequência, à concentração de um determinado analito ou grupo de analitos que interagem com o elemento biorreceptor (FURTADO et al., 2008).

A estrutura básica desses dispositivos apresenta: um elemento sensor biológico (tecidos, microrganismos, enzimas, organelas, proteínas, antígenos, anticorpos, dentre outros), um transdutor e um dispositivo de processamento do sinal eletrônico, conforme figura 4.

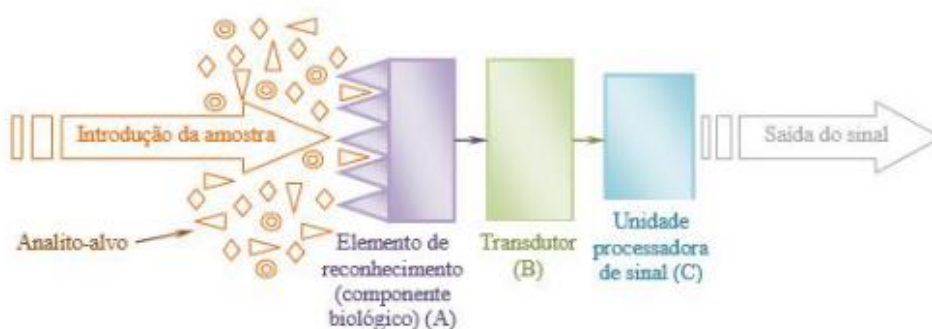


Figura 4: Estrutura básica de um biossensor.

Fonte: (CALIL e SILVA, 2011).

O elemento sensor biológico interage com analito alvo por meio de interações intermoleculares específicas ou reações catalíticas onde, o transdutor converte a resposta obtida dessa interação em um sinal elétrico quantificável e proporcional a

concentração do analito que, por sua vez, é direcionado ao sistema eletrônico para ser processado.

Os biossensores podem ser classificados de acordo com elemento de bioreconhecimento bem como, com sistema de transdução empregado.

De acordo com o elemento de bioreconhecimento podem ser divididos em biocatalíticos ou de bioafinidade. Nos biossensores de bioafinidade, o receptor biológico reconhece o alvo molecular e forma um complexo estável capaz de gerar um sinal de transdução. Estes sistemas de biodetecção envolvem por exemplo o uso de antígenos, anticorpos, lectinas e receptores proteicos. Assim, o equilíbrio é alcançado sem o consumo do analito pela molécula biológica imobilizada. Em oposição, nos biossensores catalíticos, o receptor biológico catalisa uma reação química caracterizada pela biotransformação do analito em subprodutos que serão posteriormente identificados. Neste caso, a interação receptor/analito é acompanhada por mudanças nas concentrações dos substratos ou produtos (THÉVENOT et al., 2001; MONOŠÍK; STREĎANSKÝ; ŠTURDÍK, 2012)

Na tabela 1 tem-se os tipos de biossensores de acordo com os métodos de transdução adotado.

BIOSSENSORES	SISTEMAS DE TRANSDUÇÃO	MEDIÇÃO	APLICAÇÕES TÍPICAS
Eletroquímicos	Amperométrico	Corrente	Substratos enzimáticos e antígenos ou anticorpos
	Potenciométrico	Voltagem	Íons, gases, espécies redox
	Condutimétrico	Condutância	Reações catalisadas por enzimas
	Impedimétrico	Impedância	Imunossensores enzimáticos
Acústicos	Cristais piezoelétricos, equipamentos de superfície acústica	Variação de massa	Gases voláteis, vapores e analitos imunológicos
Ópticos	Optoeletrônicos, fibras ópticas, equipamentos de ondas guiadas	Variação de luminosidade, índice de refração	pH, substratos enzimáticos, analitos imunológicos
Calorimétricos	Termistores, diodos	Calor	Enzima, organela, vitaminas, analitos imunológicos

Fonte: (SILVA, 2011).

Tabela 1: Sistemas de transdução empregados nos biossensores.

Ópticos: baseiam-se nas variações da resposta aos estímulos de luz como consequência da interação do analito de interesse com o elemento biológico. De acordo com o mecanismo de detecção, a quantificação do analito neste tipo de transdução é realizada através de medidas do índice de refração, quantidade de luz absorvida, propriedades fluorescentes e fosforescentes (GUO, 2012);

Piezelétricos: detectam variações das frequências de ondas acústicas geradas por cristais piezelétricos em resposta à interação biomolécula-analito. Neste tipo de transdução, o cristal piezelétrico é submetido a um campo elétrico alternado que modifica o estado vibracional de oscilação harmônica do cristal, gerando uma onda acústica mensurável, comportando-se como uma microbalança para detecção da interação biomolécula-analito (MARRAZZA, 2014);

Calorimétricos: também chamados de termistor, detectam substratos baseados no calor envolvido nas reações bioquímicas do analito com uma substância biológica ativa como uma enzima (MEHROTRA, 2016);

Eletroquímicos: têm se destacado entre os tipos de transdutores mais empregados em biossensores. O princípio deste sistema de transdução baseia-se na mensuração de variações de uma propriedade elétrica resultante da interação analito-bioreceptor, podendo se classificar em: amperométrico, potenciométrico, condutimétrico e impedimétrico (BARSAN et al., 2015).

Em 1962 tem-se o primeiro registro da confecção de um biossensor eletroquímico para determinar glucose em amostras biológicas com a enzima glucose oxidase.

Alguns pontos que podemos destacar nos biossensores eletroquímicos são: facilidade de miniaturização, menor custo, simplicidade, sensibilidade, rapidez de resposta e portabilidade.

a) biossensores amperométricos (medem o fluxo de corrente elétrica gerada pela reação de oxirredução de espécies eletroativas presentes na célula eletroquímica quando se aplica uma variação de potencial) (GRIESHABER et al., 2008; VÁSQUEZ et al., 2017);

b) biossensores potenciométricos (quantificam o potencial gerado no eletrodo de trabalho em relação ao eletrodo de referência quando uma corrente é aplicada entre o eletrodo de trabalho e o eletrodo auxiliar) (DRAGHI; FERNANDES, 2017);

c) biossensores condutimétricos (mensuram a condutância da dupla camada elétrica, correlacionando-a com a concentração do analito detectado) (GRIESHABER et al., 2008; TANG et al., 2011; LEE et al., 2012);

d) biossensores impedimétricos (aferem a impedância gerada no sistema a partir da aplicação de um potencial senoidal no eletrodo de trabalho frente a uma determinada faixa de frequência, obtendo-se assim, uma corrente elétrica alternada que será associada à impedância total da interface eletrodo/solução) (RAMANATHAN et al., 2016; SHEIKHZADEH et al., 2016).

Dentre as várias características que definem um biossensor, destacam-se a funcionalidade, elevada sensibilidade, especificidade, seletividade, baixo limite de detecção, acurácia, precisão, linearidade, rápido tempo de resposta, reprodutibilidade, robustez, portabilidade, simplicidade, estabilidade, reusabilidade e baixo custo (LAZCKA; DEL CAMPO; MUNOZ, 2007; SCHMIDT et al., 2008; JUSTINO; ROCHA-SANTOS; DUARTE, 2010).

3.5 Corantes Têxteis

Os corantes utilizados na indústria têxtil possuem alta estabilidade e resistência à água e ao suor do corpo, sendo assim, menos suscetíveis à biodegradação (THEMIS et al., 2008). Dentre os mais utilizados destaca-se o índigo carmim.

O Índigo Carmim é um sal sódico do ácido 5,5'-índigo dissulfônico ($C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$, $MM=466,36 \text{ g.mol}^{-1}$) (Figura 5) de coloração azul, com caráter aniônico e contém grupos cetônicos que conferem insolubilidade à molécula em meio aquoso (MEKSI; KECHIDA; MHENNI, 2007).

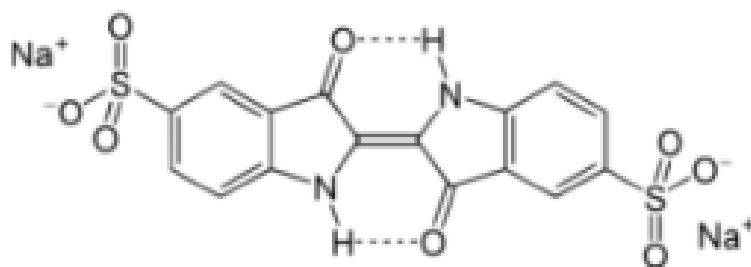


Figura 5: Estrutura do corante índigo carmim

No processo de tingimento cerca de 5 a 20% dos corantes são perdidos na lavagem (PASCHOAL; TREMILIOSE-FILHO, 2005). Isso ocorre devido ao fato desses processos possuírem caráter reversível, ou seja, as moléculas de corantes presentes

no banho são transferidas para a fibra, e desprendidas da fibra voltando para o banho, através de interações químicas. Na maior parte dos casos, o tempo requerido para atingir o equilíbrio no processo de tingimento se torna maior do que o comercialmente desejável, resultando em efluentes com quantidades significativas de corante solúvel residual (REVELLO, 2002).

Devido a isso, o lançamento inadequado de efluentes têxteis com presença de corantes gera graves problemas de contaminação dos recursos hídricos, pois, dificulta a penetração dos raios solares impedindo a fotossíntese e provocando a eutrofização de rios e lagos.

3.6 Experimentação no ensino de eletroquímica

A utilização da experimentação como ferramenta pedagógica possui importância reconhecida na vida escolar dos estudantes, contribuindo para a superação de obstáculos cognitivos (SARTORI; et al., 2013; FINAZZI et al., 2016; MACHADO, 2019).

As aulas expositivas não estimulam os estudantes a problematizar e o mesmo assume um papel passivo do próprio processo de aprendizagem. A experimentação associada aos conteúdos curriculares dentro de um contexto que pode ser real ou fictício pode aproximar os conteúdos científicos da realidade dos alunos, bem como, possibilitar a eles uma ação ativa.

Considerando-se o processo de ensino-aprendizagem, a experimentação na química favorece a articulação entre práticas e teorias, bem como conhecer as concepções prévias dos estudantes, frente aos novos conceitos que serão explorados (SILVA; SILVA, 2019; KLEIN; BRAIBANTE, 2017).

É bastante comum ouvir relatos de professores e estudantes do ensino médio e superior sobre as dificuldades com o processo de ensino-aprendizagem relacionadas com o conteúdo de eletroquímica (SANTOS et al. 2018). Dessa forma, a experimentação no ensino de eletroquímica além de promover a relação com o conteúdo, faz com que a interação dos alunos e os seus conhecimentos cognitivos sejam fortalecidos e o processo de reflexão e de decisão do aluno (KATHYNNNE, 2016).

A prática pode levar o aluno a desenvolver e consolidar os termos conceituais, estreitar o elo entre motivação e aprendizagem e enriquecer o processo de aprender.

Uma estratégia didática para também auxiliar na contextualização e que se relacionam com questões sociais, ambientais e econômicas são as oficinas didáticas. As oficinas se constituem um meio de produzir ações investigativas, levar o estudante ou participante a pensar de forma articulada, aproximando ciência e tecnologia de seu contexto (GARCÊS, 2016).

As mesmas são capazes de promover a interação entre os participantes, representar um espaço de reflexão e problematização assim como, uma forma de divulgação científica.

4 METODOLOGIA

4.1 Confeção do eletrodo de referência

O eletrodo de referência é composto por um fio de prata (Ag) retirado de um eletrodo de pH danificado que não poderia ser mais utilizado em laboratórios. Parte deste fio é recoberto com cloreto de prata (AgCl) e esta, foi inserida numa ponteira plástica contendo solução condutora saturada de KCl 3mol/L.

4.2 Lavagem e preparação do eletrodo de trabalho

O eletrodo constitui-se como uma placa de platina de área 0,5 cm². Antes de ser montado, o mesmo sofreu uma lavagem química com imersão numa solução de ácido nítrico (HNO₃) P.A durante 2 minutos para em seguida, secar a temperatura ambiente.

4.3 Síntese do Metal-Organic Framework - MOF de [Cu₃(BTC)₂.(H₂O)₃]_n

A MOF de [Cu₃(BTC)₂.(H₂O)₃]_n é um polímero poroso e cristalino composto por um centro metálico, dímeros de cobre (dois íons de cobre II) e a unidade de roda de pás formada por quatro ânions carboxilato dos ligantes BTC⁻. Foi sintetizada por via eletroquímica utilizando a amperometria no laboratório de eletroquímica do DQ/UFRPE de acordo com o método desenvolvido por Silva et al. (2018) utilizando uma solução de ácido 1,3,5-benzenotricarboxílico, nitrato de sódio e dimetilformamida em água Mllipore numa razão de 1:1. A síntese durou cerca de 17 min. Essa síntese foi realizada pela graduanda do curso de Licenciatura em Química, membro participante desse projeto, Renata Pereira da Silva sob a supervisão das Profa. Katia e Profa. Sandra Rodrigues de Souza.

4.4 Imobilização da lectina de sementes de Moringa oleifera (cMoL) na superfície do eletrodo de platina (construção do eletrodo de trabalho modificado = Pt/MOF/cMoL)

A solução de lectina cMoL foi doada pelo grupo de pesquisa de Bioquímica de proteínas da UFPE, coordenado pela professora Luana Cassandra Breitenbach Barroso Coelho. A mesma, foi purificada e extraída em solução salina. No processo

de imobilização da lectina na MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2\text{H}_2\text{O}]_n$, foi realizada a pesagem de 0,0060g desse polímero e a adição de 20 μl de cMoL 3mg/L, deixando descansar em uma temperatura de 4°C durante 24h. Para fixar a MOF/cMoL no eletrodo de platina foi utilizado uma pasta composta por 0,0650g de carbono em pó e 6 gotas de óleo mineral, para construção do eletrodo de trabalho modificado, Pt/MOF/cMoL, Figura 6.



Figura 6: Eletrodo de trabalho modificado, Pt/MOF/cMoL.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.5 Avaliações eletroquímicas das interações específicas de cMoL imobilizada na superfície MOF/eletrodo de platina

Foi necessário realizar uma abordagem eletroquímica para estudar a distribuição de cargas na superfície da lectina cMoL quando submetida a um campo elétrico com o propósito de conhecer a interação entre esta e o ligante específico, bem como, caracterizar de forma quantitativa sua especificidade através do potencial eletroquímico e, determinar suas propriedades físico-químicas como padrão do mecanismo de interação dessa lectina no sistema eletroquímico adotado. Assim, torna-se possível determinar posteriormente sua atividade coagulante em amostras de águas contendo corantes têxteis do tipo índigo utilizando um biossensor eletroquímico (NEVES, 2019).

Para obtenção dos potenciais eletroquímicos da interação da cMoL, essa proteína foi imobilizada na MOF/eletrodo platina interagindo com galactose nas concentrações de 5, 10 e 15 mM em solução de NaCl 0,15mol/L. O eletrodo de platina recoberto com cMoL adsorvida na MOF $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2\text{H}_2\text{O}]_n$ (eletrodo de trabalho modificado =

Pt/MOF/cMoL), compõem a célula eletroquímica juntamente com eletrodo de referência prata/cloreto de prata (Ag/AgCl) (Figura 7), ambos ligados ao potenciômetro com cabo adaptado para leituras potencimétricas.



Figura 7: Célula eletroquímica, contendo o eletrodo de referência Ag/AgCl e o eletrodo de trabalho modificado, Pt/MOF/cMoL, ambos ligados a um medidor potenciométrico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.6 Construção da pilha de latas de alumínio e garrafas PET para tratamento de amostras aquosas contendo corante do tipo índigo-carmim simulando um efluente têxtil

Para a construção da pilha foram utilizados os seguintes reagentes e materiais: corante para tecido do índigo-carmim contendo em sua composição sulfato de sódio (Na_2SO_4), cloreto de sódio (NaCl) comercial, 8 latas de alumínio de 350mL já usadas em bebidas, 8 fios de cobre de 1m de comprimento por 2,5mm de espessura, 8 garrafas PET de água mineral de 500mL e 8 folhas de papel toalha. Os fios de cobre foram desencapados do plástico que os protegem e as latas receberam um pré-tratamento mecânico com uma lixa d'água para retirar o revestimento de estanho do seu interior. Antes da montagem de cada pilha, os fios de cobre precisam ser limpos em uma solução de HCl $0,1\text{mol.L}^{-1}$ para retirar a camada de óxido em sua superfície. Em cada fio de cobre fez-se seis dobras de 12 cm de altura, em seguida enrolou-se o restante ao redor do fio já dobrado. A extremidade livre desse fio foi firmemente conectada a um orifício na parte superior da lata. Esse procedimento foi realizado em

apenas sete latas. Sendo assim, restou um fio de cobre e uma lata sem estarem fixados entre si. As latas de alumínio foram inseridas dentro das garrafas cortadas na altura dessas latas. Isso foi necessário para evitar vazamento da solução interna, pois a lata se oxida no decorrer da reação. Essas pilhas foram ligadas em série, ou seja, foi inserido o fio de cobre de cada lata no interior da lata seguinte. Cada fio de cobre foi envolvido com papel de filtro para evitar que tocasse no interior das latas, pois isto causa um curto na passagem de corrente elétrica entre as pilhas. Para fazer essa sequência, foi necessário iniciar com a lata sem fio afixado e terminar com o fio de cobre sem lata afixada. Os eletrodos da pilha foram as latas de alumínio (ânodo) e os fios de cobre (cátodo). O potencial da mesma foi medido ligando o terminal negativo do multímetro na primeira lata, e o terminal positivo no último fio de cobre. O potencial medido pelo multímetro foi equivalente à soma do potencial de cada pilha. Nesta montagem adicionou-se a solução de corante em cada lata até uma altura abaixo da conexão com o fio de cobre (Figura 8). Utilizou-se uma solução que simulou um efluente contendo este corante na concentração de $0,1 \text{ g/L}^{-1}$. Em cada lata dissolveu-se 19 g de cloreto de sódio nesta solução de corante.



Figura 8: Pilha composta por latas de alumínio contendo solução de corante índigo-carmim. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.7 Medição do potencial do eletrodo de trabalho modificado (Pt/MOF/cMoL) com amostras contendo corante do tipo índigo-carmim após o tratamento com as pilhas de alumínio por voltametria cíclica

Foi realizada a caracterização eletroquímica por voltametria cíclica no potenciostato/galvanostato da Autolab Electrochemical Instruments, localizado no Laboratório de Análises Químicas e Sensores – LAQIS/UFRPE. Na medição utilizou-se o eletrodo de referência Ag/AgCl, um fio de platina como contra-eletrodo e o eletrodo de trabalho modificado Pt/MOF/cMoL inseridos em amostras contendo corante do tipo índigo-carmim após o tratamento com as latas de alumínio. O tratamento da solução com corante nas latas de alumínio teve duração de 1h.

4.8 Execução das oficinas didáticas adotando a pilha de latas de alumínio como sistema eletroquímico

As oficinas foram realizadas na Escola Técnica Estadual Alcides do Nascimento Lins e no Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas da UFRPE –CODAI localizadas respectivamente em Camaragibe e São Lourenço da Mata. Ambas oferecem educação profissional e de nível médio. As mesmas foram inseridas em eventos realizados pelas escolas no primeiro semestre de 2019. A primeira, na V Feira de Ciências no dia 31 de maio e, a segunda, na I Semana de Química no dia 01 de julho com duração de 01h30min e 2h respectivamente. No total contou com a participação de 38 alunos do ensino médio, a grande maioria deles, pertencendo aos 1º e 2º anos e, somente dois alunos do 3º ano. As oficinas foram realizadas de forma expositiva e dialogada e, a pilha com latas de alumínio foi empregada como experimento demonstrativo investigativo possibilitando a elucidação dos conceitos de eletroquímica relacionados ao que foi observado. Como avaliação da atividade foi solicitado aos alunos que em grupos elaborassem um pequeno texto para explicar o funcionamento da pilha utilizando os conceitos abordados.

4.9 Caracterização da interação da cMoL imobilizada na superfície dos cristais de MOF com o ligante específico (galactose 5, 10, 15 e 20 mM) através do Microscópio de Varredura Eletrônica (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura utiliza um feixe de elétrons que percorre a superfície do material estudado para gerar imagens tridimensionais.

Foi utilizado o equipamento disponível no CENAPESQ/UFRPE onde, as análises foram realizadas por um profissional do local e acompanhadas pela equipe de pesquisa.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas avaliações potenciométricas foram verificadas diferenças significativas em relação ao tempo de imobilização da cMoL na MOF, entre de 3h e 24h. Obtiveram-se valores de potencial eletroquímico maiores e mais estáveis quando a MOF/cMoL descansa 24h, pois proporciona um tempo relativamente maior para adsorção da lectina.

Testou-se duas maneiras de fixar a MOF/cMoL no eletrodo de platina usando a pasta de carbono. A primeira, depositando a MOF/cMoL no eletrodo já contendo a pasta de carbono e, a segunda, homogeneizando a MOF/cMoL e a pasta de carbono, em seguida, depositando-se essa pasta cobrindo toda a superfície de trabalho do eletrodo. Notou-se que a segunda maneira é a mais eficiente, pois, evita que a MOF/cMoL se desprenda do eletrodo quando o mesmo é imerso na solução de galactose durante a medição.

Para otimização do material utilizado, foram realizados alguns testes no preparo da pasta de carbono: preparou-se o eletrodo de trabalho usando 0,0800g de carbono em pó, 0,0200g e 0,0650g com variações na quantidade de óleo mineral. Foi verificado como suficiente o valor de massa de carbono 0,0650 adicionada de 6 gotas de óleo mineral como suficiente para obter uma pasta fluida que facilmente adere a superfície do eletrodo de platina, capaz de fixar MOF/cMoL e, que cobre toda a superfície de trabalho do mesmo. A pasta é sempre feita no dia da medição. Em relação à MOF, foi fixo o valor de 0,0060g e, para cMoL o volume de 20 μ l como suficiente para umedecer a mesma.

Após esses ensaios para padronização do sistema eletroquímico foram realizadas as medidas potenciométricas utilizando o eletrodo de trabalho e o eletrodo de referência, ambos imersos em solução de NaCl 0,15mol/L e acoplados a um medidor potenciométrico. Verificou-se o potencial eletroquímico em todas as etapas de construção do eletrodo de trabalho: eletrodo de platina (Pt), eletrodo Platina com MOF (Pt/MOF), eletrodo de platina com Pt/MOF/cMoL, com intuito de verificar o comportamento do sistema apenas no meio eletrolítico, solução de NaCl 0,15mol/L e na ausência do carboidrato específico para interação com a cMol (Figura 9).

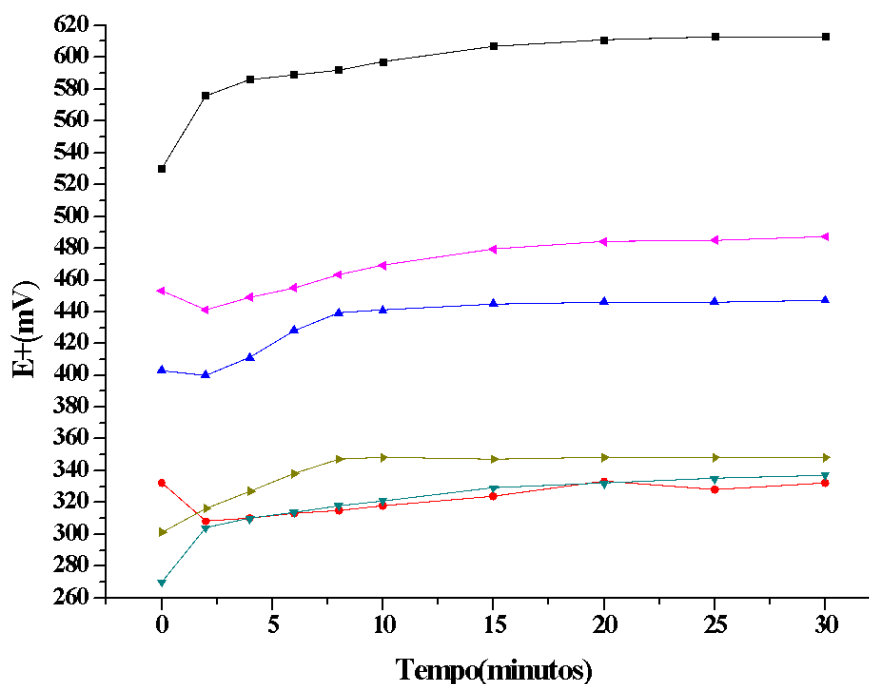


Figura 9: Potencial eletroquímico do eletrodo da platina, Pt, (■), eletrodo de platina revestido com MOF, Pt/MOF (▲), eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada, Pt/MOF/cMoL, (▲); eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada, Pt/MOF/cMoL e interagindo com diferentes concentrações de galactose: 5mM (▼), 10 mM (▼) e 15 mM (▼). Número de repetições perfaz o total de cinco (05).

Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

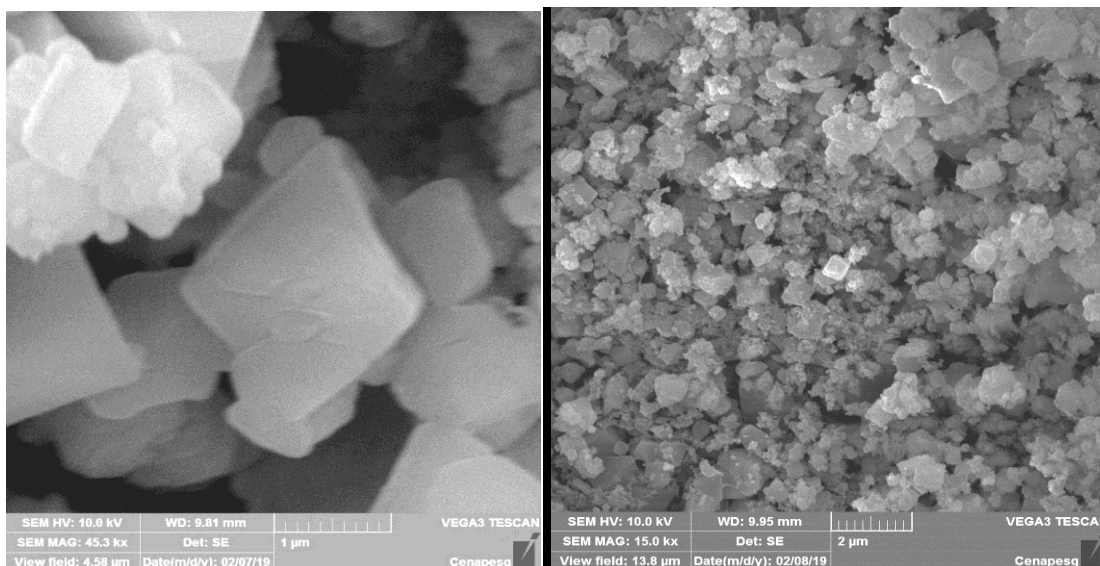
Observou-se diferenças significativas dos potenciais eletroquímicos em relação ao eletrodo de platina (Pt), eletrodo de trabalho platina recoberto com MOF (Pt/MOF), eletrodo de platina revestido com MOF e cMoL imobilizada (Pt/MOF/cMoL) e ao interagir Pt/MOF/cMoL com diferentes concentrações de galactose. A concentração de 10 mM desse carboidrato revela-se como ideal para estudos de mecanismos de interação dessa proteína por apresentar valores de potenciais eletroquímicos maiores em relação a concentração de 5mM e 15mM, facilitando a identificação dos seus sítios de ligações a analitos específicos.

Os Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$, a imobilização da cMoL sobre a superfície dos Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ e a interação da cMoL imobilizada sobre os Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ são apresentadas nas

imagens obtidas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (Figura 10) onde, observou-se a geometria dos cristais desse polímero e o processo de acomodação da proteína no mesmo.

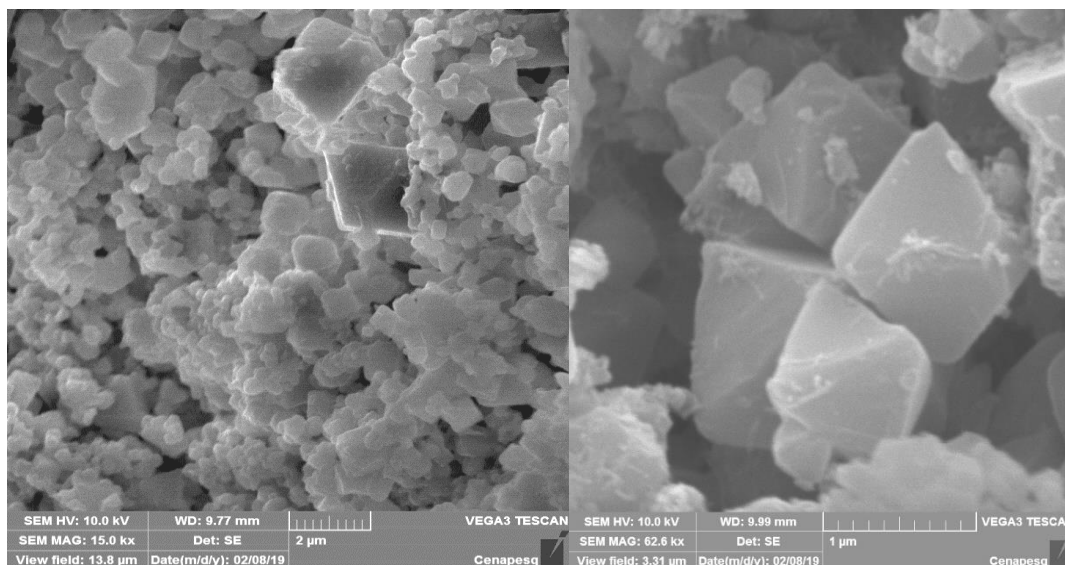
De acordo com Souza et al., (2001) avaliações potenciométricas para atividade de biomoléculas em superfícies quimicamente modificadas são indicadas para monitoramento da interação com os seus ligantes.

Sendo assim, a eficiência da imobilização da cMoL na estrutura metal-orgânica $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$ facilitou a obtenção dos potenciais eletroquímicos, mostrando que a utilização do sistema eletroquímico com eletrodo de trabalho modificado poderá ser aplicado para estudo da interação dessa lectina com o corante do tipo índigo carmim, contaminante de efluentes de indústrias têxteis.



a) MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_3]_n$

b) MOF com cMoL imobilizada



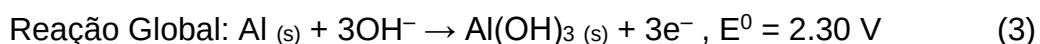
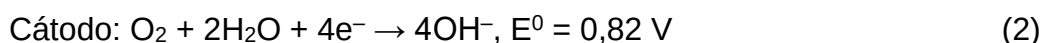
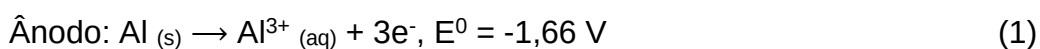
c) MOF/cMoL + galactose 10mM

d) MOF + galactose 10mM

Figura 10: Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ (a), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com cMoL imobilizada(b), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com cMoL imobilizada interagindo com galactose 10 mM(c), Cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ com galactose 10 mM(d).

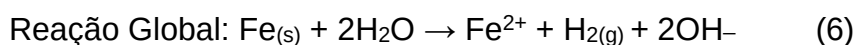
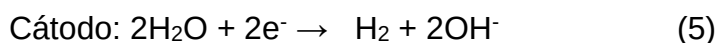
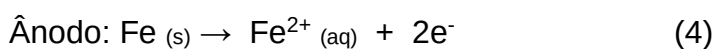
Para o tratamento de amostras contendo corante índigo-carmim foi realizada a montagem das pilhas com latas de alumínio e o preparo da solução desse corante encontra-se descrito no item 4.6. A mesma é sempre utilizada recém-preparada e a temperatura ambiente.

No cátodo da pilha o oxigênio dissolvido na água sofre redução na superfície do cobre formando hidroxila. No ânodo, o alumínio sofre oxidação liberando Al^{3+} os quais, reagem com a hidroxila para formar $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$, um precipitado branco responsável pela coagulação do corante contido na solução. Segue as equações de formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$.



O potencial da pilha de latas de alumínio foi medido com um multímetro e apresentou-se no valor de 3,99V. Aplicando a corrente elétrica gerada pela pilha de

latas de alumínio realizou-se uma eletrólise para tratar uma nova amostra de solução de corante. Para isto, utilizou-se dois eletrodos de ferro (clips de papel) conectados a cada terminal da pilha imersos em solução de corante. No eletrodo conectado ao fio de cobre fixado a lata (cátodo) ocorreu a redução da água formando hidróxido (OH^-) e hidrogênio (H_2), no eletrodo conectado ao alumínio da lata (ânodo) ocorreu a oxidação do ferro formando Fe^{2+} os quais, reagem com o hidróxido para produzir $\text{Fe}(\text{OH})_2$, um precipitado gelatinoso capaz de coagular o corante contido na solução (Figuras 11 e 12).



Foi medido o pH das amostras com corante para verificar a formação de hidróxidos na solução (Tabela 2).

Amostras com corante	pH
Amostra sem tratamento	5,97
Amostra após tratamento com latas de alumínio	6,24
Amostra após tratamento com eletrodo de ferro	7,01

Tabela 2: Valores de pH das amostras com corante.



Figuras 11 e 12: Solução de corante exibindo o processo de coagulação do mesmo após o tratamento eletroquímico.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para identificar a ocorrência de interação entre a cMoL e o corante do tipo índigo-carmim foi realizada a voltametria cíclica (Figura 13).

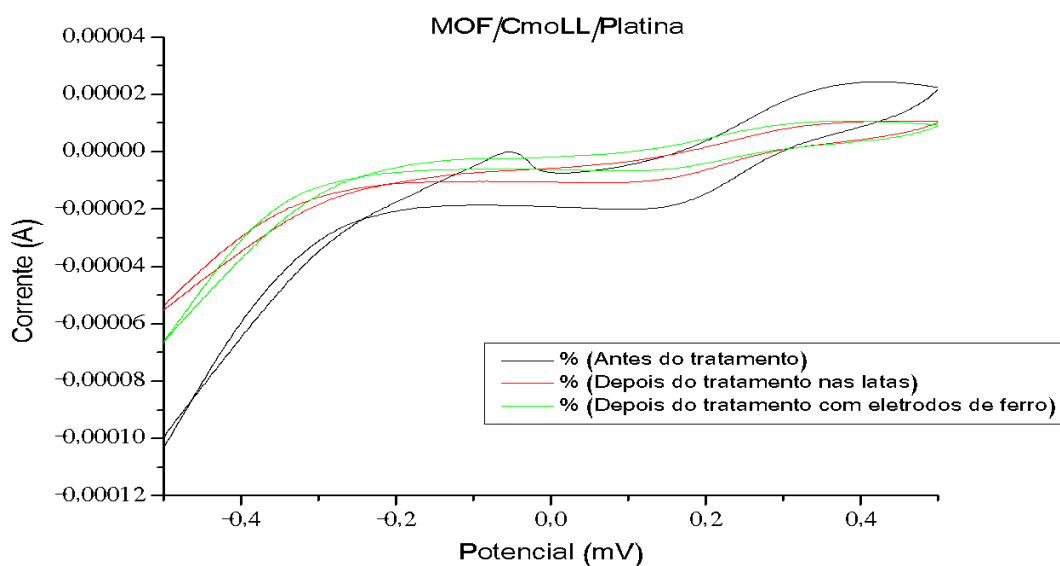


Figura 13: Voltamograma cíclico com amostras antes do tratamento, após o tratamento na pilha de alumínio e também, após o tratamento com eletrodo de ferro.

Elaborado pelo autor (2019).

Através do voltamograma observou-se a eficiência do tratamento devido à diferença nos picos redox entre a amostra de corante não tratada e as amostras de corante após tratamento. Não foi verificada diferença relevante entre as amostras retiradas depois do tratamento nas latas e com os eletrodos de ferro.

De acordo Silva et al. (2019) essa constatação indica a possibilidade de utilizar sistemas contendo reatores revestidos com alumínio e eletrodos de cobre para tratamento de efluentes oriundos de indústrias têxteis.

Nas oficinas didáticas apresentou-se a pilha de latas de alumínio como alternativa para reduzir a coloração da solução que simula um efluente têxtil e discutir o impacto ambiental provocado pelo lançamento desses resíduos não tratados, proporcionando a minimização da desarticulação entre teoria e prática utilizando o experimento de forma demonstrativa investigativa.

No decorrer das oficinas os estudantes mostraram-se bastante entusiasmados e curiosos havendo participação ativa de todos. Ao final de cada uma, foi solicitado que os alunos se dividissem em grupos para elaborar um pequeno texto explicando o funcionamento da pilha a fim de verificar se houve compreensão do experimento e aprendizado dos conceitos relacionados. Vale ressaltar que grande parte dos alunos não havia visto o conteúdo de eletroquímica anteriormente em sala de aula. Segue alguns textos escritos pelos alunos:

Texto 1 – Alunos do 2º ano → A reação que ocorre com as latas é uma oxidação que ocorre com o alumínio da lata e o sal que está misturado na água formando energia para o meio da reação de oxidação formando assim o hidróxido de alumínio. Também falando da parte ambiental onde nas indústrias de têxtil utilizam água de forma exagerada causando impacto ambiental, também a questão dos corantes nos rios, para tratar a água dos corantes faz o tratamento de eletroquímica.

Texto 2 – Alunos do 3º ano → O experimento tem a função de tratamento de corante. Utilizou-se latas de alumínio para fazer uma bateria, gerando corrente elétrica, dentro da lata tinha sal e corante. Dentro do béquer tinha solução de água + corante com eletrodos de ferro onde um sofre oxidação e o outro redução, o que sofre redução forma hidróxido de ferro (Fe^{2+}) e o que sofre oxidação mudou a coloração ficando enferrujado. Dentro da latinha formou hidróxido de alumínio. As ligações da latinha é (são) feita(s) com fio de cobre um se ligando ao outro.

Texto 3 – Alunos do 1ºano → O sistema é uma reação química para o tratamento de água com corante. Ocorreu uma oxidação no clipe de ferro, formando ferrugem. A reação entre o sal e o alumínio da lata forma energia, a energia é transmitida pelos fios de cobre até os clips que liberam hidróxido na água, que dá o clareamento da água.

Nesses textos podemos observar que apesar dos alunos não terem o conteúdo de eletroquímica trabalhado em sala de aula eles conseguem compreender os princípios eletroquímicos vivenciados durante o experimento, ao tentar explicar os fenômenos de oxidação, redução e geração de energia (corrente elétrica).

De acordo Sanjuan et al. (2009) abordagem eletroquímica em sala de aula é considerada um assunto relevante para entendimento do mundo físico podendo estabelecer relações com o cotidiano do aluno e seus conhecimentos prévios.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biossensor empregado na caracterização da lectina coagulante (cMoL 3mg/L) com diferentes concentrações de soluções de galactose dissolvidas em NaCl 0,15mol/L, mostrou-se eficiente para caracterização eletroquímica desta biomolécula, bem como, sua utilização na detecção de resíduos de corante índigo – carmim em solução aquosa.

As imagens no Microscópico Eletrônico de Varredura (MEV) possibilitaram a visualização da interação da cMoL imobilizada em cristais da MOF de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ na ausência ou presença de galactose, contribuindo para validação do uso desse polímero como material adsorvente na construção de biossensores eletroquímicos.

Abordar os conceitos de eletroquímica utilizando com estratégias didáticas a experimentação e as oficinas possibilitaram a constatação da necessidade de introduzir inovações para obtenção de bons resultados no processo de ensino e aprendizagem dos estudantes assim como, maneiras de facilitar a compreensão de assuntos que exigem um maior nível de abstração dos aprendizes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, E. O. de A.; ARAÚJO, A. C. V. **Estudo estatístico para o uso de material nanoestruturado na remoção dos corantes Vermelho Congo e Índigo Carmim em meio aquoso**. Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia. Cabo de Santo Agostinho, v. 6, n 3, p. 60-70, dezembro. 2020. Disponível em: <<http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/3562/482483837>>.

Acesso em: 10 julh 2021.

AVELINO, K.; **Desenvolvimento de biossensores eletroquímicos baseados em nanoestruturas para o diagnóstico ultrasensível do oncogene quimérico bcr/abl**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Bioquímica e Fisiologia) - Universidade Federal de Pernambuco, p.164, 2017.

AVELINO, K. Y. P. S.; ANDRADE, C. A. S.; DE MELO, C. P.; NOGUEIRA, M. L.; CORREIA, M. T. S.; COELHO, L. C. B. B.; OLIVEIRA, M. D. L. **Biosensor based on hybrid nanocomposite and Cramoll lectin for detection of dengue glycoproteins in real samples**. Synthetic Metals, v. 194, p. 102-108, 2014.

BATTEN, S. R.; CHAMPNESS, N. R.; CHEN, X. M.; MARTINEZ, J. G.; KITAGAWA, S.; ÖHRSTRÖM, L.; O'KEEFFE, M.; SUH, M. P.; REEDIJK, J. Pure Appl. Chem., 2013, v. 85, n. 8, pp. 1715–1724.

COELHO, L. C. B. B.; SILVA, P. M. S.; LIMA, V. L. M.; PONTUAL, E. V.; PAIVA, P. M. G.; NAPOLEÃO, T. H. M.; CORREIA, M. T. S. **Lectins, Interconnecting Proteins with Biotechnological/Pharmacological and Therapeutic Applications**. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, p. 1-22, 2017.

FERREIRA, R.S.; NAPOLEÃO, T.H.; SANTOS, A.F.S.; SÁ, R.A.; CARNEIRO-DACUNHA, M.G.; MORAIS, M.M.C.; SILVA-LUCCA, R.A.; OLIVA, M.L.V.; COELHO, L.C.B.B.; PAIVA, P.M.G. **Coagulant and antibacterial activities of the water soluble seed lectin from Moringa oleifera**. Lett. Appl. Microbiol., 53, 186-192, 2001.

HUPP, J. T. Metal – **Organic Framework materials as chemical sensors**. Chemical hybrid nanocomposite and Cramoll lectin for detection of dengue glycoproteins in real International, v.18, p. 1-8, 2017.

KARTHIKEYAN, N; SIVARANJANI, T; DHANAVEL, S; GUPTA, VK; NARAYANAN, V; STEPHEN, A. **Visible light degradation of textile effluent by electrodeposited multiphase CuInSe₂ semiconductor photocatalysts.** *Journal of Molecular Liquids*, v. 227, p. 194-201, 2017.

KRENO, L. R., LEONG, K., FARHA, O.K., ALEENDORF, M., VAN DUYNE, R. P., Reviews, v. 112, p. 1105 – 1125, 2012.

LACERDA, Rodrigo Rodrigues E. **Isolamento, caracterização e atividade biológica da lectina de sementes de variedade brasileira de feijão-lima (*Phaseolus lunatus* var. *cascavel*).** Dissertação de Mestrado em Biologia Celular e Molecular- Centro de Ciências Exatas e da Natureza- Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

LIMA. D.; **Sementes de Moringa oleífera Lamark como agente clarificante em suco de maçã.** Tese (doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, p.209, 2017.

LIMA, M. C. C.; SILVA, M. C.; SANTOS, G. V.; PINTO, I. K. L. S.; SILVEIRA, A. F. **A oficina didática numa Perspectiva Problematicadora: metodologias alternativas para o ensino de física.** In: II CONGRESSO NACIONAL DA EDUCAÇÃO. 2015. Campina Grande- PB. p. 2-3.

LUZ, LUCIANA DE ANDRADE. **Purificação, caracterização e determinação de atividade coagulante da lectina de sementes de *Moringa Oleífera*.** Dissertação de Mestrado em Bioquímica e Fisiologia- Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

LUZ, LUCIANA ANDRADE; ROSSATO, FRANCO APARECIDO; PEREIRA e COSTA, RUTE ALVES; NAPOLEÃO, HENRIQUE THIAGO. **Cytotoxicity of the coagulante *Moringa Oleífera* (cMoL) to B16 – F 10 melanoma cells.** *Toxicology in vitro*, v. 44, 2017.

MOURA. R. B, de; *et al.* **Importância das Lectinas em Virologia – Uma Revisão integrativa.** *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 9, n. 11, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10083>. Acesso em: 14 jun. 2021.

NEVES. E.; **Sistemas eletroquímicos utilizado no tratamento de amostras de água contendo corantes têxteis, do tipo índigo, como ferramenta didática para divulgação científica em efluentes oriundos da indústria têxtil.** Recife: UFRPE, 2019, 22 p.

OLIVEIRA, J. **Lectinas vegetais: de moléculas de defesa de plantas às suas diversas aplicações biotecnológicas.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, p. 62, 2018.

OLIVEIRA. B.; **Desenvolvimento, purificação e caracterização de IgC anti-lectina coagulante de sementes de *Moringa oleifera* (cMoL).** Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, p. 60, 2017.

PIMENTEL, JADILMA COSME. **Avaliação eletroquímica das lectinas de sementes de *Cratylia Mollis* e de folhas de *Bauhinia Monandra* na presença de ligantes específicos,** 2003. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) - Faculdade Frassinetti do Recife, Recife.

PISTARINE, Nara Flaviane.; MILARÉ, Tathiane.; **Ensino de química em oficina temática: “o que vai pelo ralo: rastros ambientais de produtos que consumimos”.** Revista Debate em ensino de Química, Pernambuco, v.5, p. 32-41, 2019. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/issue/view/229>. Acesso em: 09 jun. 2021.

PRATA, E. Biologia: Desafios, Habilidades e Competências no Ensino de Biologia. **Lectinas: purificação, mecanismos de ação inseticida e potencial biotecnológico.** In: BARROS, A.; SILVA, T.; SANTOS, A.; QUEIROZ, S.; GOMES, F. 1º ed. São Paulo: Editora científica digital, 2020. Cap 9, p. 129-136.

ROLIM, LUCIOLA A. D. M.; SISENANDO, HERBERT; MACÊDO, MARCIA F. S.; NAPOLEÃO, HENRIQUE THIAGO. **Genotoxicity evaluation of *Moring oleifera* seed extract and lectin.** Journal of food Science, v. 76, n.1, p. 53 – 8, 2011.

SANTANA, G. **Biossensores eletroquímicos baseados em filmes compósitos de nanomateriais de carbono para diagnóstico molecular e sorológico da hepatite c.** Tese (Doutorado em Ciências Biológicas), Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 162. 2019.

SANTOS, A. F. S., DA SILVA, M. D. C., NAPOLEÃO, T. H., PAIVA, P. M. G., CORREIA, M. T. S. & COELHO, L. C. B. B. **Lectins: function, structure, biological properties and potential applications.** Current Topics in Peptide & Protein Research, v.15, p.41-6, 2014.

SANTOS, V.; ALVES, W. **Desenvolvimento de compósitos a base de nanocelulose impregnada em nanopartículas de prata visando sua aplicação em biossensores eletroquímicos.** TCC (Bacharel em Engenharia Química), Universidade Federal Fluminense. Niterói, p.62. 2016.

SANTOS, G. H. **Avaliação da eficiência do tratamento de efluente têxtil por eletrocoagulação com dois diferentes eletrodos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, p. 37. 2018.

SANJUAN, M. E. C., SANTOS, C. V., MAIA, J. O., SILVA, A. F. A., WARTHA, E. J. **Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica.** Química Nova na Escola, v. 31, n. 3, 2009.

SILVA, R. P., FREITAS, K. C. S., VILA NOVA, S. P., SOUZA, S. R., CARDOSO, C. C. **Adsorção de corantes têxteis utilizando a estrutura metal-orgânica $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2(\text{H}_2\text{O})_2]_n$ obtida por síntese eletroquímica.** Acta Brasiliensis, v.2, n.1, p.11-14, 2018.

SILVA, RENATA PEREIRA DA. **Síntese eletroquímica da estrutura metal-orgânica de $[\text{Cu}_3(\text{BTC})_2.(\text{H}_2\text{O})_3]_n$ e sua aplicação em biossensores e meio ambiente.** 2018. 50 p. Monografia - Licenciatura em Química – Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, MICHELE DALVINA CORREIA. **Aplicação biotecnológica das lectinas ClaveLL (*cladonia verticillaris* LICHEN LECTIN) e BmoLL (*Bauhinia monandra***

LEAF LECTIN). Tese de Doutorado em Ciências Biológicas – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVA, Sheila Alves Bezerra Da. **Avaliação eletroquímica da polianilina como proposta para a confecção de biossensores contendo lectina de sementes de *Cratylia Mollis* e de *Bauhinia Monandra***. 2004. Monografia (Licenciatura em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2004.

SILVA, G. F. et al. **Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe. Editora UFS, 2018.

SILVA, R. P., FREITAS, K. C. S., VILA NOVA, S. P., SOUZA, S. R., CARDOSO, C. C. **Reutilização das latas de alumínio no tratamento de efluentes têxteis por eletrocoagulação espontânea.** In: VII Encontro Pernambucano de Resíduos Sólidos- EPERSOL. 2018. Recife- Pe. p.5-6.

SILVA, P. M. S., LIMA, A. L. R., SILVA, B. V. M., COELHO, L. C. B. B., DUTRAS, R.F., CORREIA, M. T. S. ***Cratylia mollis* lectin nanoelectrode for differential diagnostic of prostate cancer and benign prostatic hyperplasia based on label-free detection.** *Biosensors and Bioelectronics*, v. 85, p. 171-177, 2016.

SOUZA, SANDRA RODRIGUES. **Avaliações eletroquímicas das lectinas de *cratylia mollis* mart. (feijão camaratu) e de *Bauhinia monandra* Kurz (pata-de-vaca)**. Tese de Doutorado em Ciências Biológicas – Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

SOUZA, S. R., DUTRA, R. F., CORREIA, M. T. S., PESSOA, M. M. A., LIMA-FILHO, J. L., COELHO, L. C. B. B. **Electrochemical potential of free and immobilized *Cratylia mollis* seed lectin.** *Bioresource Technology*, v. 88, p. 255-258, 2003.

SOUZA, S. R., SANTANA, E., SOUZA, J., SILVA, P., CORREIA, M. T. S. COELHO, L. C. B. B. **Charge transference detection trough cyclic voltammograms in the interaction of *Cratylia mollis* seed lectin-carbohydrate inhibitor.** *Biotechnology Journal International*, v.18, p. 1-8, 2017.

THOMAS. H. Y. et al. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil com ultrassom e oxidação avançada.** II congresso internacional da diversidade do semiárido, 2016.