



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CAMPUS URUTÁI  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA



LUANA THAUANE DA SILVA RIBEIRO LIBERATO

**ESTUDO DA ELETROPOLIMERIZAÇÃO POR VOLTAMETRIA  
CÍCLICA DO LAPACHOL EM SOLUÇÃO TAMPÃO FOSFATO pH 6,7**



Urutai – GO  
Dezembro/2022

## **LUANA THAUANE DA SILVA RIBEIRO LIBERATO**

Trabalho de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciada em Química.

**Orientador:** Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes

**Co-orientadora:** Profa. Dra. Sílvia Vaz Fernandes de Castro

Urutaí – GO  
Dezembro/2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

L695e Liberato, Luana Thauane da Silva Ribeiro  
Estudo da Eletropolimerização por Voltametria  
Cíclica do Lapachol em Solução Tampão Fosfato pH 6,7 /  
Luana Thauane da Silva Ribeiro Liberato; orientador  
Miquéias Ferreira Gomes; co-orientadora Sílvia Vaz  
Fernandes de Castro. -- Urutai, 2022.  
28 p.

TCC (Graduação em Licenciatura em Química) --  
Instituto Federal Goiano, Campus Urutai, 2022.

1. VOLTAMETRIA CÍCLICA. 2. lapachol. 3. eletrodo  
modificado. 4. eletropolimerização. I. Gomes,  
Miquéias Ferreira, orient. II. Castro, Sílvia Vaz  
Fernandes de, co-orient. III. Título.



# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)            | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)      | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação)  | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Luana Thauane da Silva Ribeiro Liberato

Matrícula:

2019101221510102

Título do trabalho:

Estudo da Eletropolimerização por Voltametria Cíclica do Lapachol em Solução Tampão Fosfato pH 6,7

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ipameri

Local

16 / 01 / 2023

Data

*Luana Liberato*

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

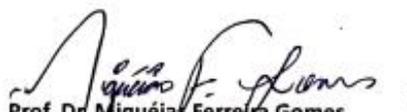
Ciente e de acordo:

*Áquila Ferreira Alves*

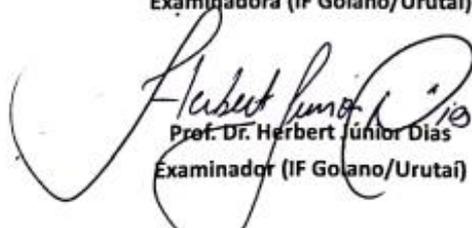
Assinatura do(a) orientador(a)

LICENCIATURA EM QUÍMICA – CAMPUS URUTAI  
COORDENAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO  
ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO

Ata dos Trabalhos da Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso (TC) da estudante **Luana Thauane da Silva Ribeiro Liberato** para obtenção do título de Licenciada em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutai (IF Goiano/Urutai). Integraram a Banca o **Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes (Orientador)**, a **Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes**, e o **Prof. Dr. Herbert Júnior Dias**. Aos 20 (vinte) dias do mês de dezembro de 2022 às 8:00 horas realizou-se a apresentação pública do TC pela estudante na sala 04 (quatro) do edifício Lesilane Silva de Araújo (Prédio da Química) desta instituição. O orientador abriu a sessão agradecendo a participação dos(as) membros(as) da Banca Examinadora. Em seguida convidou a estudante para que fizesse a exposição do trabalho intitulado: **"Estudo da eletropolimerização por voltametria cíclica do lapachol em solução tampão fosfato pH 6,7"**. Finalizada a apresentação, cada membro da Banca Examinadora realizou a arguição sobre o trabalho da estudante. Dando continuidade aos trabalhos, o orientador solicitou a todos(as) que aguardassem enquanto a Banca Examinadora pudesse deliberar sobre o TC da candidata. Terminada a deliberação, o orientador leu a ata dos trabalhos declarando Aprovado (aprovado ou não aprovado) o TC da estudante. Em seguida, deu por encerrada a solenidade, da qual eu, Miquéias Ferreira Gomes, presidente da banca, lavrei a presente ata que vai assinada por mim e pelos demais membros(as) da Banca Examinadora.

  
Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes  
Presidente da Banca

  
Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes  
Examinadora (IF Goiano/Urutai)

  
Prof. Dr. Herbert Júnior Dias  
Examinador (IF Goiano/Urutai)

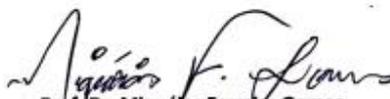
**Estudo da eletropolimerização por voltametria cíclica do lapachol  
em solução tampão fosfato pH 6,7**

Luana Thauane da Silva Ribeiro Liberato

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciada em Química.

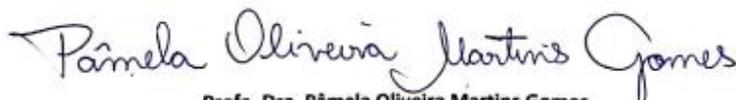
Defendido e aprovado em 20/12/2022.

Banca Examinadora



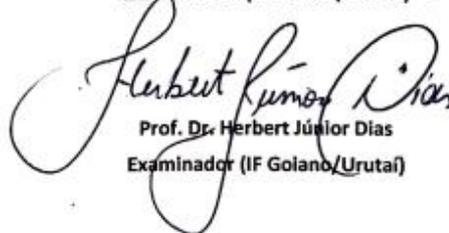
Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes

Presidente da Banca



Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes

Examinadora (IF Goiano/Urutaí)

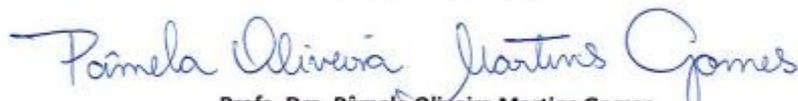


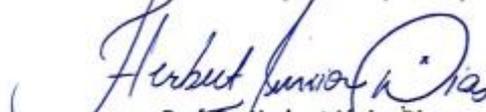
Prof. Dr. Herbert Júnior Dias  
Examinador (IF Goiano/Urutaí)

LICENCIATURA EM QUÍMICA – CAMPUS URUTAÍ  
COORDENAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO  
FICHA FINAL DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CURSO

Estudante	Luana Thauane da Silva Ribeiro Liberato		
Data da defesa	20/12/2022	Nota do projeto	1,8
Título do Trabalho	Estudo da eletropolimerização por voltametria cíclica do lapachol em solução tampão fosfato pH 6,7		
Orientadora	Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes	Nota	8,0
Examinadora 1	Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes	Nota	7,2
Examinador 2	Prof. Dr. Herbert Júnior Dias	Nota	7,6
Conceito Final	Aprovado	Média das notas + nota do projeto	9,4

  
Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes  
Presidente da Banca

  
Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes  
Examinadora (IF Goiano/Urutaí)

  
Prof. Dr. Herbert Júnior Dias  
Examinador (IF Goiano/Urutaí)

# **ESTUDO DA ELETROPOLIMERIZAÇÃO POR VOLTAMETRIA CÍCLICA DO LAPACHOL EM SOLUÇÃO TAMPÃO FOSFATO pH 6,7**

**LUANA THAUANE DA SILVA RIBEIRO LIBERATO**

Trabalho de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado(a) em Química.

Defendido e aprovado(a) em 20/12/2022 .

## **Banca Examinadora**

Prof. Dr. Miquéias Ferreira Gomes

Presidente da Banca

Profa. Dra. Pâmela Oliveira Martins Gomes

Examinadora (IF Goiano/Urutaí)

Prof. Dr. Herbert Júnior Dias

Examinador (IF Goiano/Urutaí)

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é para a Luana de 2019, cheia de sonhos e com ânsia de aprender/fazer de tudo um pouco. Aquela qual que abriu mão de momentos com seus pets, com sua família e amigos.

Que doou um pouco de si para tudo o que fazia, sejam projetos de ensino ou de pesquisa, remunerados ou não. Que esteve presente em sala, e voltando para casa com caronas ou transporte, cansada após um longo dia de aula e trabalho, seja na frente da lousa ou do computador.

Mas também, aquela que viveu viagens divertidas, com cantoria e risadas, comendo em “bandejões” de faculdades, ouvindo e se inspirando em palestras de profissionais aos quais um dia ela queria ser.

Aos cafés da manhã deliciosos, as conversas boas de corredor, ou simplesmente ao café tomado na grama aproveitando o sol que aquecia nos meses frios de Junho e Julho.

Essa Luana de 2019 jamais imaginaria que todos estes momentos seriam vividos, apreciados e que deixariam saudades, sejam eles os mais prazerosos (como era o café da tia Rita às 7h da manhã), e até mesmo os mais amargos...

Agora espero que ela saiba, que tudo isso precisou de tempo, que toda a pressa que ela teve geraram consequências, e que tudo pode ser vivido sem abdicar de si mesma. Sem abdicar da sua vida pessoal.

E como ela já ouvia desde 2019, “a vida não é uma corrida de 100 metros”. Então pare, descanse, recupere o folego e retorne para a caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Instituto Federal em Educação, Ciência e Tecnologia Goiano Campus Urutaí, por me proporcionar todo o espaço, equipamentos e contribuir durante meu processo de formação acadêmica.

Aos meus professores, em especial ao meu orientador, que estiveram presentes na minha formação, e que de alguma forma contribuíram diante deste trabalho.

Ao meu orientador, Miquéias, e a minha coorientadora, Sílvia, pelos ensinamentos, correções e por estarem presentes durante todo o processo de realização do trabalho.

Aos meus amigos, que me deram apoio, tornaram dias em laboratório mais leves, divertidos e me auxiliaram durante os ensaios.

Agradeço a quem esteve comigo, viveu com minha ausência diante da realização deste trabalho, mas que me forneceu apoio e colo para descanso após o mesmo. Obrigada meu noivo!

E trago também meus agradecimentos a colegas de classe, de curso, e de demais áreas do campus, que claramente tiveram suas contribuições na minha formação.

## RESUMO

A atividade biológica do Lapachol alcança uma ampla escala como, atividades antimicrobianas, antifúngicas, antineoplásticas, antitumorais, antimalária, entre outros, e com isso vem sendo realizados estudos com seu composto voltados a formação de filmes poliméricos. Esses filmes poliméricos são formados através da oxidação do monômero na superfície do eletrodo de trabalho através do processo redox ocorrido em sua voltametria, sendo esse conhecido como o estudo de eletropolimerização. Os eletrodos quimicamente modificados por eletropolimerização apresentam potencialidades diferentes de eletrodos comuns, e além disso apresentam vantagens como baixo custo, resposta eletroquímica rápida e precisa. Mas para a formação destes filmes poliméricos é necessário disponibilizar o melhor ambiente para sua obtenção e estabilidade, analisando suas reações e características do monômero em estudo. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar a eletropolimerização do Lapachol em eletrodos de carbono vítreo. Foram analisados parâmetros como a velocidade de varredura, a quantidade de ciclos, e o comportamento de troca iônica. Onde pode ser observado a formação do filme polimérico com o monômero, de tal forma que, no estudo de ciclos apontou-se o aumento da corrente e, um pouco, do potencial do par redox do monômero.

**Palavras-chave:** Lapachol; Eletropolimerização; Eletrodo modificado.

## ABSTRACT

The biological activity of Lapachol reaches a wide range, such as antimicrobial, antifungal, antineoplastic, antitumor, and antimalarial activities, among others, and with this, studies have been conducted with its compound focused on the formation of polymeric films. These polymeric films are formed through the oxidation of the monomer on the surface of the working electrode through the redox process that occurs in its voltammetry, which is known as the electropolymerization study. The chemically modified electrodes by electropolymerization present different potentialities from common electrodes, and furthermore present advantages such as low cost, fast and precise electrochemical response. But for the formation of these polymeric films, it is necessary to provide the best environment for their acquisition and stability, analyzing their reactions and characteristics of the monomer under study. Thus, the present work aimed to study the electropolymerization of Lapachol on glassy carbon electrodes. Parameters such as scanning speed, number of cycles, and ion exchange behavior were analyzed. Where it can be observed the formation of the polymeric film with the monomer, in such a way that, in the study of cycles it was pointed out the increase of the current and, a little, of the potential of the redox pair of the monomer.

**Keywords:** Lapachol; Electropolymerization; Modified electrode.

## FIGURAS

- Figura 1.** Estrutura química do lapachol em suas formas (A) neutra, (B) ácida, e (C) básica. Essas estruturas são determinadas pelo pH do meio, uma vez que o lapachol apresenta pKa de 6,0. .... 12
- Figura 2.** Equipamentos utilizados nos estudos eletroquímicos, sendo (A) eletrodo de referência (1), eletrodo auxiliar ou contra eletrodo (2), e eletrodo de trabalho (3); (B) célula eletroquímica montada; e (C) potenciostato Iviumstat. .... 16
- Figura 3.** Voltamograma cíclico obtido para ECV em solução de 1 mM de  $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$  contendo  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  de  $KNO_3$ . .... 17
- Figura 4.** (A) Apresenta a estrutura do hexacionoferrato(II) de potássio. (B) Apresenta a estrutura do hexacionoferrato(III) de potássio. .... 18
- Figura 5.** Fórmulas estruturais do lapachol em meio básico ( $Na_2CO_3$ ) e em meio ácido (HCl). .... 19
- Figura 6.** (A) Lapachol após a adição de HCl. (B) Filtração a vácuo do Lapachol precipitado. .... 20
- Figura 7.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7 contendo 0,2 mL de lapachol dissolvido em metanol a  $4,0 \text{ nmol L}^{-1}$ . .... 21
- Figura 8.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV (preto) e ECV/polilapachol (vermelho) em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7. .... 22
- Figura 9.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7, contendo 0,2 mL de metanol com lapachol dissolvido a  $4 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ . .... 23
- Figura 10.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV (preto) e para ECV/polilapachol (vermelho) em solução de 1 mM de  $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$  contendo  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  de  $KNO_3$ . Os voltamogramas para ECV/polilapachol foram registrados após 30 minutos de contato do eletrodo com a solução. .... 24

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>12</b>
2.1. Eletropolimerização por voltametria cíclica .....	12
2.2. As naftoquinonas e o lapachol .....	14
<b>3. Materiais e Métodos .....</b>	<b>15</b>
3.1. Extração do Lapachol .....	15
3.2. Estudo eletroquímico .....	16
3.3. Eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7 .....	17
3.4. Estudo das velocidades de Varredura .....	17
3.5. Estudo da troca iônica do ECV/lapachol .....	18
<b>4. Resultados e Discussão .....</b>	<b>18</b>
4.1. Extração do Lapachol .....	18
4.2. Eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7 .....	20
4.3. Estudo influência da velocidade de varredura na eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7 .....	22
4.4. Estudo da troca iônica .....	24
<b>5. Considerações Finais .....</b>	<b>25</b>
<b>6. Referências .....</b>	<b>25</b>

## 1. Introdução

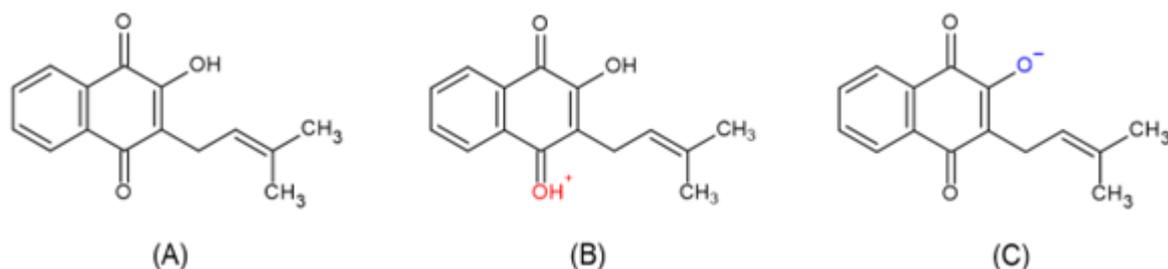
O 2-hidroxi-3-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona, conhecido usualmente como lapachol, é uma naftoquinona encontrado em espécies da família das Bignoniaceae, sendo o principal constituinte do Ipê Roxo (*Tabebuia heptaphylla*) (FLORIEN, 2021). Devido as múltiplas atividades biológicas apresentadas pela família das naftoquinonas, incluindo o lapachol, muitos grupos de pesquisa têm investigado novas aplicações para este composto e seus derivados (MOREIRA e SANTOS, 2017), dentre estas podemos destacar os estudos eletroquímicos.

Uma vertente destes estudos eletroquímicos se dá as naftoquinonas, sendo esta uma classe das quinonas, grupo que apresenta em sua estrutura anel de seis membros e com dois grupos carbonilas. O diferencial dessa classe, se faz pelo potencial de atividade biológica das naftoquinonas, que vai além de uma única doença para diversas (XAVIER, 2021).

O potencial das naftoquinonas trouxe um novo olhar para estudos eletroquímicos quanto a compostos com sua função, e dentre eles está o lapachol. Sua bioatividade comprovada contra doenças trouxe notoriedade para suas propriedades, como também para os seus subprodutos que, assim como o lapachol, possuem atividade biológica, como é o caso da  $\beta$ -lapachona (XAVIER, 2021). Surgiu assim trabalhos voltados a análises de seus espectros no infravermelho (SILVA, 2021), além de uma dissertação que estudou as propriedades farmacológicas de complexos de rutênio (III) conjugados com o lapachol estudando a sua atividade antiparasitária (SOUSA, 2021).

O comportamento eletroquímico de uma substância está intimamente ligado às características estruturais da molécula que podem ser influenciadas pelo pH do meio, e o lapachol pode exemplificar bem essa condição. Sua forma ácida se mostra como um sólido amarelo e insolúvel em água, enquanto sua forma básica possui coloração vermelha com considerável solubilidade em água (Figura 1).

**Figura 1.** Estrutura química do lapachol em suas formas (A) neutra, (B) ácida, e (C) básica. Essas estruturas são determinadas pelo pH do meio, uma vez que o lapachol apresenta pKa de 6,0.



**Fonte:** Adaptado de Ferreira, 1996.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a eletropolimerização por voltametria cíclica do lapachol em superfície de eletrodo carbono vítreo (ECV) usando uma solução tampão fosfato pH 6,7. Os eletrodos modificados obtido (ECV/lapachol) podem apresentar propriedades de interesse para sua aplicação como plataforma para o desenvolvimento de biossensores eletroquímicos<sup>1</sup>.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Eletropolimerização por voltametria cíclica

A voltametria cíclica é uma técnica que vem a ser utilizada em muitos estudos pelo seu baixo custo, fácil manuseio e tempo de resposta razoavelmente rápido, se comparado a demais técnicas.

O voltamograma gerado após a aplicação de um potencial elétrico ao eletrodo de trabalho, variando continuamente com o tempo, na forma triangular, promove uma reação de oxirredução nas espécies eletroativas presentes na solução, que pode ser acompanhada pelos potenciais de pico anódico e catódico com suas respectivas correntes de pico (ARAÚJO *et. al.*, 2021).

A técnica é realizada em célula eletroquímica formada pelos eletrodos de trabalho, de referência, e eletrodo auxiliar (ou contra eletrodo), onde todos ficam imersos em uma solução inerte usualmente contendo um eletrólito de suporte. A aplicação de um potencial elétrico, que

---

<sup>1</sup> Os biossensores são responsáveis pela detecção e/ou quantificação de moléculas de interesse, para isso eles utilizam biomoléculas ou estruturas biológicas como seus receptores (GARROTE, SANTOS & BUENO, 2020).

causa a diferença de potencial entre os eletrodos de trabalho e auxiliar, promove uma transferência de elétrons na interface do eletrodo de trabalho com a solução conhecida como dupla camada elétrica<sup>2</sup>. Por fim, a variação da corrente elétrica na superfície do eletrodo é registrada do potencial elétrico nele aplicado, gerando o voltamograma cíclico (MAGARELLI, PUPE & SILVA, 2021).

A variação de fatores como a velocidade de varredura, a quantidade de varreduras potenciais (ciclos), e as condições da solução como, por exemplo, concentração do analito, natureza do eletrólito de suporte, e o pH, permitem um estudo aprofundado da reação eletroquímica e, conseqüentemente, um possível controle do processo (MAGARELLI, PUPE & SILVA, 2021).

A voltametria cíclica vem sendo uma das técnicas mais utilizadas para obtenção de eletrodos quimicamente modificados<sup>3</sup> por eletropolimerização de um monômero. O processo consiste na formação de um filme polimérico na superfície do eletrodo de trabalho através da oxidação eletroquímica do monômero, dando origem a cátions radicais que iniciam a polimerização (GOMES, 2018). A voltametria cíclica permite controlar a quantidade de material que será depositado na superfície do eletrodo, o que interfere diretamente na resposta eletroquímica do eletrodo modificado obtido (ARAÚJO, 2018).

A modificação ocorre na superfície do eletrodo de trabalho intencionalmente, cobrindo a superfície do mesmo com o objetivo de melhorar a condutividade e o fluxo de elétrons, quando se refere a respostas serem diferentes do eletrodo modificado e não modificado (LEITE, 2016). De acordo com Cruz (2018), estudos com filmes poliméricos vem tendo grande notoriedade por se obter materiais estáveis e reproduzíveis. Além disso, esses eletrodos modificados possibilitam a criação de biossensores eletroquímicos capazes de detectar com alta especificidade<sup>4</sup> e sensibilidade<sup>5</sup> diversos os analitos.

---

<sup>2</sup> A dupla camada elétrica ocorre com o excesso de carga positiva em uma das camadas, e o excesso de carga negativa na outra camada. A presença dos contra-íons nas proximidades da superfície leva a esse excesso de carga, mas em geral ela é eletricamente neutra (SCHONS, 2013).

<sup>3</sup> São eletrodos que em suas superfícies foram instauradas espécies quimicamente ativas com o intuito de ter controle sobre sua seletividade e reatividade através da área compartilhada entre eletrodo/solução (SOUZA, 1997).

<sup>4</sup> Segundo o dicionário Michellis, se trata de ter uma condição de resultado fixo e específico direcionado com uma única causa.

<sup>5</sup> De acordo com o dicionário Michaelis, é a potencialidade de reação imediata a um contato qualquer.

## 2.2. As naftoquinonas e o lapachol

Naftoquinonas são substâncias orgânicas consideradas metabólitos secundários por serem produzidas por algas, fungos e plantas. Os metabólitos secundários são compostos naturais que apresentam atividade biológica produzidos em plantas, por exemplo, com objetivo principal de proteção a estresses abióticos e bióticos<sup>6</sup>, por isso comumente possuem valores nutricionais e farmacológicos importantes (BORGES & AMORIN, 2020). Os detalhes químicos estruturais das naftoquinonas estão diretamente relacionados com a potência de sua atividade biológica (LOGROTA, 1987). SILVA *et. al.* (2012) apresentaram um artigo de revisão bibliográfica relatando todas as atividades propostas e comprovadas para as naftoquinonas até a data de publicação, que trouxe enfoque a espécie de Bignoniaceae, popularmente conhecida como Ipê.

O lapachol é um produto natural extraído a partir do cerne do Ipê, descrito pela primeira vez por Paternò, em 1882, tendo sua estrutura química estabelecida por Hooker em 1896, que então o identificou como uma naftoquinona, a 2-hidroxi-3-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona de peso molecular  $242,26 \text{ g mol}^{-1}$  (ALENCAR, 2002). Esse composto apresenta atividade biológica que vem sendo amplamente utilizada/estudada dentro da área da medicina e farmacologia (COELHO, 2019).

Seus compostos bioativos trouxeram o interesse pelo estudo de detecção dos seus subprodutos, como é o caso da  $\beta$ -lapachona, estudo do seu perfil eletroquímico e criação de eletrodos modificados com demais quinonas que, pudessem detectar outras substâncias de interesse. Esses e outros trabalhos vem sendo estudados e publicados no meio acadêmico pela fácil acessibilidade e usabilidade do eletrodo, bem como a obtenção do lapachol, e seus satisfatórios resultados de atividade biológica.

Os detalhes químico-estruturais das naftoquinonas se relacionam diretamente com a sua potencialidade quanto a sua atividade, seja como antimicrobiano, antineoplásico ou de toxicidade (ARAUJO, ALENCAR & NETO, 2002). De acordo com Oliveira *et. al.* 2012, o comportamento eletroquímico do lapachol apresenta dois processos de oxidação que foram analisados através de voltametria cíclica, onde os autores confirmam a influência direta da velocidade de varredura no processo químico juntamente com o processo eletroquímico.

---

<sup>6</sup> Estresses bióticos e abióticos são relacionados a fatores que geram danos, e recorrentemente, perdas nas plantações. Suas divisões são quanto aos bióticos, que ocorrem por serem vivos, como insetos, fungos, bactérias, entre outros, e também os abióticos, que podem vir da falta de irrigação (EMBRAPA, 2013).

Além disso, o composto apresentou atividade biológica e vem a ser utilizado/estudado dentro da área da medicina e farmacologia por apresentar propriedades antifúngicas, antitumorais, anti-helmíntica<sup>7</sup>, leishmanicida<sup>8</sup> e protetora (COELHO, 2019). Tem sua atividade biológica datada em 1956, onde o ipê-roxo apresentou atividade antimicrobiana, sendo este estudo realizado pelo Instituto de Antibiótico/UFPE (ALENCAR, 2002).

Um estudo do ano de 2021 utilizando complexos metálicos de rutênio-atovaquona e rutênio-lapachol como substância antimalária em camundongos que foram infectados para ensaio biológico, sendo uma proposta para tentar solucionar a aparição das novas cepas da Malária que apresentam uma maior resistência aos fármacos disponíveis (SOUSA, 2021).

O grupo de pesquisa do Laboratório de Orgânica e Eletroanalítica (LOE) do IF Goiano Campus Urutaí possui experiência de trabalhos anteriores envolvendo o lapachol e seus derivados. Além da extração e da síntese destes compostos, o grupo tem pesquisado suas aplicações no combate a fungos e pragas de interesse agrícola e, também, no combate ao carrapato bovino. Assim, o presente projeto iniciou o estudo eletroquímicos dessas substâncias, dado o alto potencial já datado do lapachol e representa o primeiro passo para o desenvolvimento de uma nova linha de pesquisa no grupo LOE.

### **3. Materiais e Métodos**

#### **3.1. Extração do Lapachol**

Para a obtenção do lapachol a ser utilizado na pesquisa, foi realizada sua extração através da serragem do cerne do Ipê Roxo, seguindo as orientações da literatura (FERREIRA,1996). Deste modo, foram adicionados a um erlenmeyer 20,177 g de serragem e 400 mL de solução de carbonato de sódio a 1% (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Essa solução foi mantida em repouso, sendo agitada em alguns momentos, num período de 40 minutos. Após isso, filtrou-se para separar a serragem do extrato. Ao filtrado foi adicionado uma solução de ácido clorídrico (HCl) 6 mol L<sup>-1</sup> gota a gota até ocorrer a formação de um precipitado de cor amarelada que foi recolhido por filtração a vácuo com papel filtro e colocado em um dessecador.

---

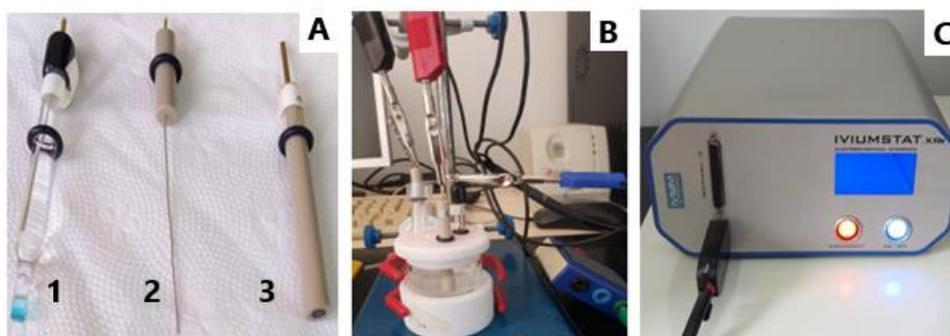
<sup>7</sup> São propriedades ativas contra parasitas, onde muitos compostos com essa ação são utilizados como drogas no controle de proliferação parasitário (FORTES & MOLENTO, 2013).

<sup>8</sup> Propriedades leishmanicidas advém da potencialidade de compostos com ação contra a leishmaniose, onde hoje utiliza-se fármacos como o, antimoniato de N-metilglucamina (glucantime), que possui esta propriedade, para controle da Leishmaniose (SILVA & OLIVEIRA, 2016).

### 3.2. Estudo eletroquímico

Para a realização deste estudo foram utilizados eletrodos carbono vítreo (ECV) como eletrodos de trabalho, eletrodo de Ag/AgCl ( $\text{KCl}_{(\text{sat})}$ ) como referência, e como contra eletrodo um fio de platina (Figura 2 A), sendo todos inertes nas soluções utilizadas. Foi utilizada célula eletroquímica de aproximadamente 5 mL com tampa que dá suporte e acesso aos três eletrodos (Figura 2 B). Antes das medidas eletroquímicas a solução foi desaerada por 5 minutos com Argônio 99% puro. Todos os estudos foram conduzidos em potenciostato IviumStat XRe (Figura 2 C).

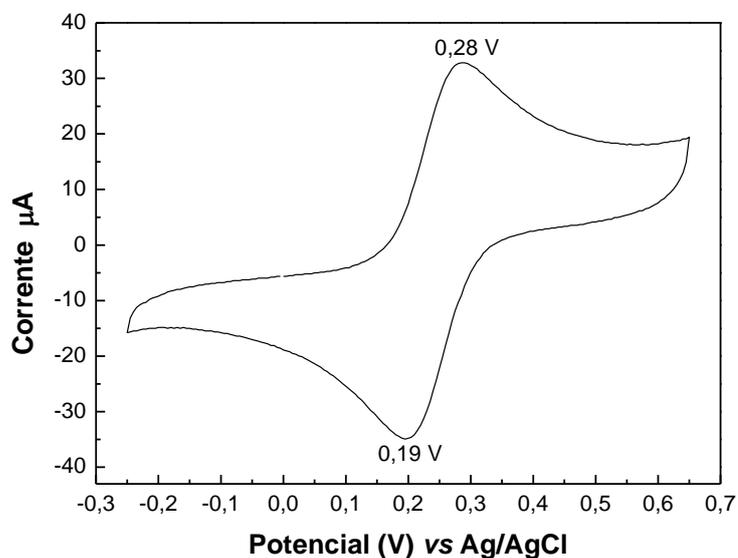
**Figura 2.** Equipamentos utilizados nos estudos eletroquímicos, sendo (A) eletrodo de referência (1), eletrodo auxiliar ou contra eletrodo (2), e eletrodo de trabalho (3); (B) célula eletroquímica montada; e (C) potenciostato Iviumstat.



A superfície do eletrodo de trabalho foi previamente limpa em lixa d'água P1200 e, em seguida, lavada com água destilada em abundância. Os demais eletrodos foram apenas lavados com água destilada em abundância.

Durante todo o estudo buscou-se trabalhar com uma superfície eletroativa semelhante. Para isso, foi definido um perfil padrão do voltamograma do ECV limpo em solução equimolar de hexacianoferrato(II) e hexacianoferrato(III) de potássio ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6/\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) (Figura 3) no qual todos os eletrodos estavam recentemente lixados (superfície renovada) e foram comparados por sobreposição dos voltamogramas. A escolha deste par redox se deve ao fato de o mesmo apresentar um comportamento eletroquímico muito bem conhecido e definido, sendo considerado, portanto, como um padrão eletroquímico (GOODING, 2006).

**Figura 3.** Voltamograma cíclico obtido para ECV em solução de 1 mM de  $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$  contendo  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  de  $KNO_3$ .



Assim, a superfície eletroativa do eletrodo de trabalho foi avaliada em solução equimolar de hexacianoferrato(II) e hexacianoferrato(III) de potássio ( $K_3Fe(CN)_6/K_4Fe(CN)_6$ ) ( $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) contendo nitrato de potássio,  $KNO_3$ , a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  como eletrólito de suporte. As varreduras potenciais foram registradas entre  $-0,1$  e  $+0,6 \text{ V}$ , com 2 ciclos de varredura potencial a  $100 \text{ mV s}^{-1}$ .

### 3.3. Eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7

A eletropolimerização foi realizada em solução tampão fosfato pH 6,7. Como o lapachol é insolúvel em meio aquoso com pH ácido, o mesmo foi previamente solubilizado em metanol. Sendo assim, foi pesada uma massa de aproximadamente  $0,001 \text{ g}$  da amostra para  $1 \text{ mL}$  do metanol, onde  $0,2 \text{ mL}$  dessa solução foram adicionadas na solução tampão, resultando a concentração de  $4,13 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ . Foram realizados ciclos potenciais entre  $-0,7$  e  $+0,8 \text{ V}$  a  $50 \text{ mV s}^{-1}$  para obtenção do filme de lapachol na superfície do ECV. O eletrodo modificado obtido foi chamado de ECV/polilapachol.

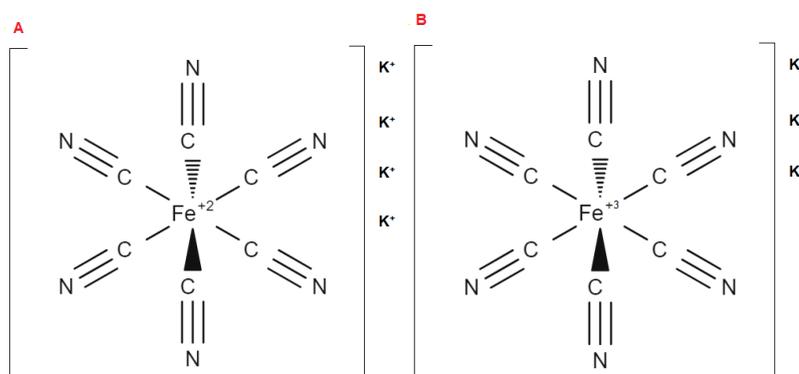
### 3.4. Estudo das velocidades de Varredura

Foram realizadas eletropolimerizações em diferentes velocidades de varredura para verificar a influência da mesma sobre as reações eletroquímicas e químicas que ocorrem no processo. Os testes foram conduzidos a 10, 30, 50, 70, 90 e 100 mV s<sup>-1</sup> em janela de potencial igual de -0,7 a +0,8 V num total de 10 ciclos.

### 3.5. Estudo da troca iônica do ECV/lapachol

Considerando que a mistura equimolar de hexacianoferrato(II) e hexacianoferrato(III) de potássio (K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>/K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) consiste em um sonda redox aniônica (Figura 4), sua interação com o filme eletrogerado de lapachol (ECV/polilapachol) foi investigada. Para isso, seu perfil voltamétrico em ECV foi comparado ao ECV/polilapachol, com varreduras potenciais entre +0,65 a -0,25 V a 100 mV s<sup>-1</sup> obtidas imediatamente após imersão dos eletrodos na solução e, também, após 30 minutos de contato entre eles.

**Figura 4.** (A) Apresenta a estrutura do hexacianoferrato(II) de potássio. (B) Apresenta a estrutura do hexacianoferrato(III) de potássio.



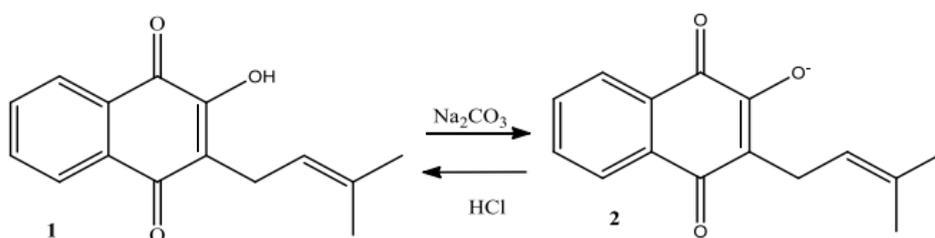
## 4. Resultados e Discussão

### 4.1. Extração do Lapachol

Ao iniciar a separação da serragem a ser utilizada, pode ser observado uma aparência mais clara e o seu cheiro característico mais fraco, podendo ser explicado quanto ao tempo de sua obtenção. Sendo assim esperou-se um rendimento menor, se comparado a uma serragem obtida mais recentemente.

Para extrair o lapachol utilizou-se solução 1% de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), onde o ânion carbonato desprotona a hidroxila do lapachol originando sua espécie iônica que é solúvel em água e possui coloração avermelhada. Ao adicionar a esta solução filtrada uma solução de ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ )  $6 \text{ mol L}^{-1}$  ocorreu a precipitação do lapachol, pois sua hidroxila é protonada com o  $\text{H}^+$  disponível em solução, tornando o menos solúvel e mudando a coloração da solução de vermelho para o amarelo (Figura 5).

**Figura 5.** Fórmulas estruturais do lapachol em meio básico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e em meio ácido ( $\text{HCl}$ ).



**Fonte:** ARAÚJO, 2019.

Nesta etapa encontrou-se uma dificuldade na precipitação do lapachol, pois mesmo ao adicionar à solução de ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ )  $6 \text{ mol L}^{-1}$  ele não precipitou com tanta facilidade (Figura 6 A). Assim, os cuidados na etapa de filtração foram redobrados para evitar perdas do produto no processo (Figura 6 B). E assim, com o precipitado depositado no papel filtro, o lapachol obtido foi armazenado em dessecador.

**Figura 6.** (A) Lapachol após a adição de  $\text{HCl}$ . (B) Filtração a vácuo do Lapachol precipitado.



Durante a sua filtração e secagem, percebeu-se um rendimento abaixo do esperado, e com isso decidiu-se a utilização de um material anteriormente extraído para realizar o estudo, surgindo então uma verificação do motivo deste rendimento abaixo do esperado através de uma outra pesquisa.

#### **4.2. Eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7**

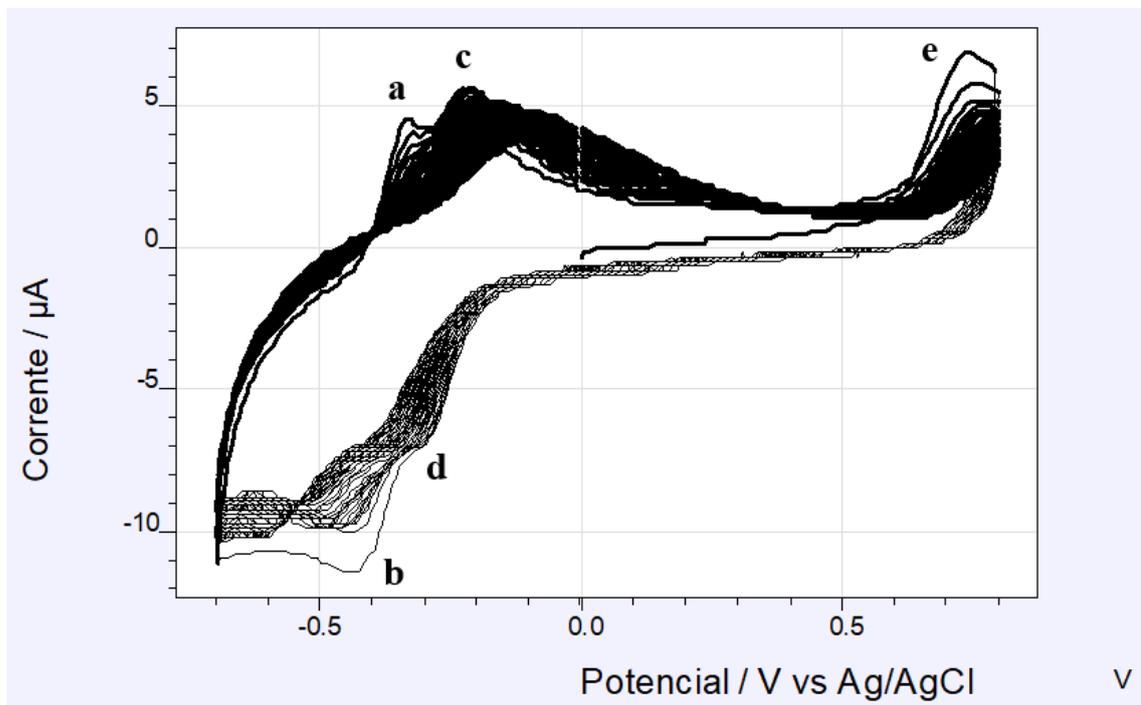
Para que uma substância seja eletropolimerizada na superfície de um eletrodo é necessário que cátions radicais sejam eletrogerados a partir da perda de um elétron (oxidação) do monômero, sendo esta chamada de etapa eletroquímica. Uma vez formados estes cátions radicais reagem com outras moléculas do monômero e de outros cátions radicais para formar uma nova substância na superfície do eletrodo, sendo esta chamada de etapa química. Desta forma, a cada nova varredura potencial novas camadas do filme polimérico vai se depositando na superfície do eletrodo. O eletrodo resultante desse processo é chamado de eletrodo modificado.

A eletropolimerização do lapachol a  $50 \text{ mV s}^{-1}$  entre  $-0,7$  e  $+0,8 \text{ V}$  (Figura 7-A). Dois processos redox reversíveis são observados ao longo da eletropolimerização. O par redox **a – b** ocorre em  $-0,30 \text{ V}$  e  $-0,45 \text{ V}$ , respectivamente, cujas correntes de pico vão diminuindo ao longo das varreduras potenciais. Tal processo foi atribuído ao lapachol e ocorre de forma estável quando a varredura potencial ocorre entre  $-1,0$  e  $0,0 \text{ V}$ , ou seja, não é determinante para a eletropolimerização.

Já o par redox **c – d** que ocorrem em  $-0,1$  e  $-0,2 \text{ V}$ , respectivamente, apresentam correntes de pico que vão aumentando levemente durante a eletropolimerização tendendo a uma estabilidade. Esse par foi atribuído a formação do polilapachol na superfície do eletrodo que ocorre devido a oxidação do lapachol observada no processo **e** em  $+0,75 \text{ V}$ , esta oxidação é irreversível e sua corrente de pico diminui consideravelmente nas primeiras varreduras potenciais e tende a estabilidade, indicando que a espécie é consumida durante a polimerização.

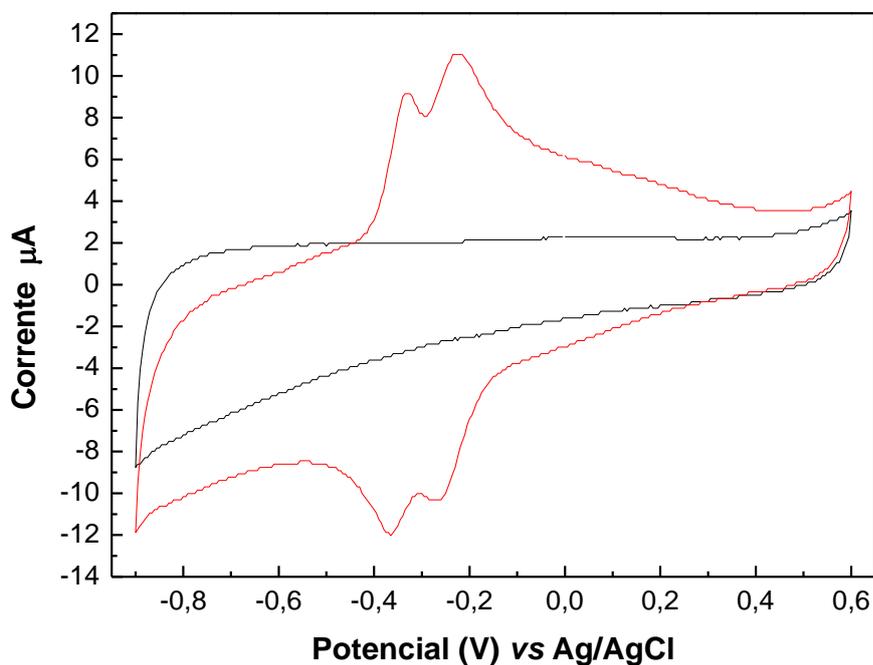
É válido salientar que todos os potenciais de pico sofrem um sutil deslocamento ao longo da eletropolimerização. Isso ocorre devido a deposição do filme de polilapachol na superfície do eletrodo a cada nova varredura potencial, o que dificulta a transferência eletrônica na dupla camada elétrica aumentando a energia necessária para que os processos eletroquímicos ocorram.

**Figura 7.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7 contendo 0,2 mL de lapachol dissolvido em metanol a  $4,0 \text{ mol L}^{-1}$ .



Para verificar se o filme polimérico eletrogerado se mantém na superfície do eletrodo, foram registrados voltamogramas cíclicos antes e após a eletropolimerização (Figura 8). O resultado deixa claro a obtenção do ECV/polilapachol com a presença dos processos redox reversíveis observados entre -0,2 e -0,3 V. Além disso, a corrente capacitiva é maior para este eletrodo indicando maior resistividade devido a modificação da sua superfície.

**Figura 8.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV (preto) e ECV/polilapachol (vermelho) em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7.



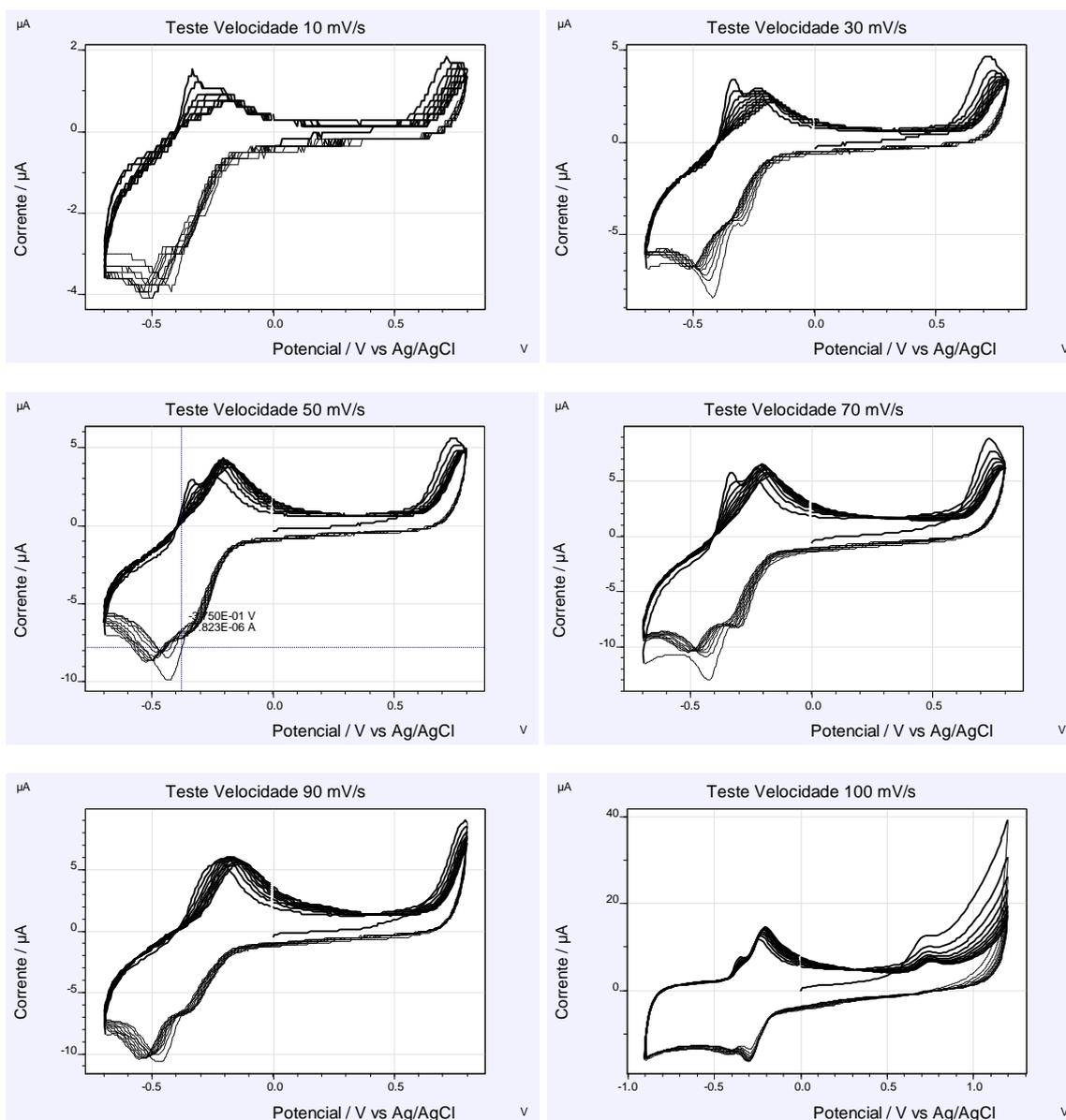
#### 4.3. Estudo influência da velocidade de varredura na eletropolimerização do lapachol em tampão fosfato pH 6,7

A velocidade de varredura potencial é um fator muito importante em uma eletropolimerização, pois, interfere diretamente nas etapas eletroquímica e química da reação de polimerização que ocorre na dupla camada elétrica. De modo geral, baixas velocidades de varredura tendem a favorecer a etapa química, ou seja, a reação entre os cátions radicais eletrogerados pela oxidação do monômero ou com outras moléculas não oxidadas do monômero. Assim, a etapa química tem mais tempo para acontecer e com menor quantidade de espécies reativas. Já em velocidades de varredura maiores a reação química tem menos tempo para acontecer, e a quantidade de cátions radicais eletrogerados é maior, levando a uma formação menos organizada do polímero.

Se por um lado baixas velocidade de varredura tendem a produzir um filme polimérico mais organizado e com processo redox bem nítidos, por outro altas velocidades de varredura tendem a produzir filmes com maiores valores de corrente de pico. Tal comportamento foi observado na Figura 9, onde é possível observar que a  $10 \text{ mV s}^{-1}$  o monômero não foi totalmente

consumido (oxidação em torno de +0,75 V) e as correntes de pico foram tão baixas ao ponto de registrar muitos ruídos devido ao limite do equipamento.

**Figura 9.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV em solução tampão fosfato  $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  pH 6,7, contendo 0,2 mL de metanol com lapachol dissolvido a  $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

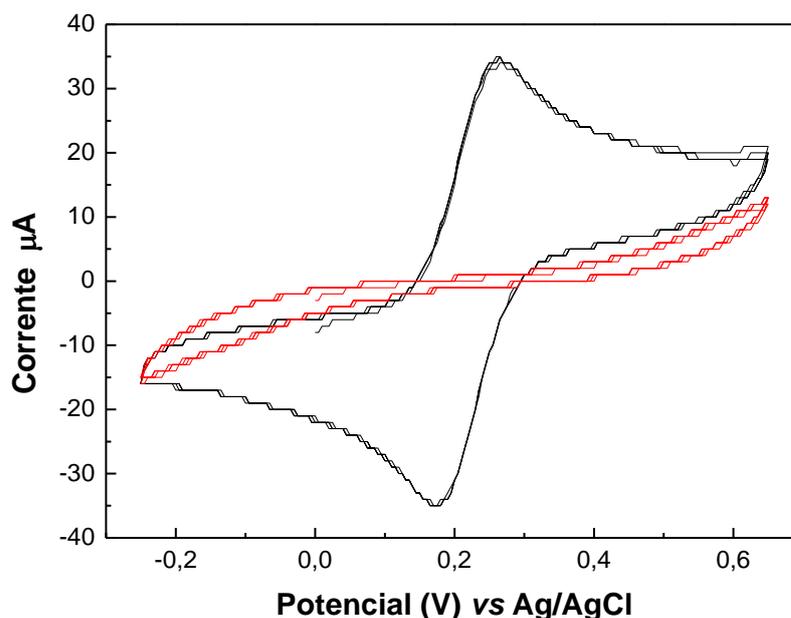


Ao analisar os resultados obtidos, decidiu-se trabalhar com a velocidade de  $50 \text{ mV s}^{-1}$  pois, apresentou uma fluidez maior que os demais, que pode ter sido gerada por interferência, baixa tensão, ou outros empecilhos durante o processo.

#### 4.4. Estudo da troca iônica

O perfil voltamétrico da sonda redox aniônica  $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$  foi obtido para ECV e para ECV/polilapachol (Figura 10). O resultado mostrou uma redução de 100% nas correntes de pico anódicas e catódicas para ECV/polilapachol. Tal resultado sugere que polilapachol apresenta caráter aniônico, pois, as alterações nas correntes e nos potenciais de pico indicam que o mesmo não tem afinidade pela sonda aniônica. Essa informação é valiosa para uma futura aplicação desse eletrodo modificado na construção de um biossensor eletroquímico, pois a imobilização de biomoléculas carregadas negativamente na sua superfície provavelmente não será efetiva.

**Figura 10.** Voltamogramas cíclicos obtidos para ECV (preto) e para ECV/polilapachol (vermelho) em solução de 1 mM de  $K_4[Fe(CN)_6]/K_3[Fe(CN)_6]$  contendo  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  de  $KNO_3$ . Os voltamogramas para ECV/polilapachol foram registrados após 30 minutos de contato do eletrodo com a solução.



Além disso, o resultado é também uma alternativa para provar que a superfície do ECV foi realmente modificada com o filme de polilapachol e que, mesmo após consecutivas lavagens da mesma com água destilada, o eletrodo continua modificado indicando uma forte ligação do filme com a superfície do eletrodo.

## 5. Considerações Finais

O seguinte estudo visava estudar as atividades fungicidas do Lapachol em fungos patógenos presentes na soja, mas com imprevistos devidos à pandemia da Covid-19, como a falta de ônibus para a locomoção da aluna até a universidade, e a falta de acesso ao laboratório de microbiologia do Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, a pesquisa foi reestruturada para uma nova linha de estudo, a eletroquímica.

Os resultados apresentados puderam comprovar a formação do filme polimérico na superfície do eletrodo, sendo este resistente mesmo após lavado com água destilada em sua superfície. Além disso, foi possível comprovar que a velocidade em si não altera a cinética química da reação redox de formação do filme na superfície do eletrodo, o que pode ser comprovado com a observação dos voltamogramas e a presença dos mesmos pares redox.

Como também o estudo da troca iônica nos proporcionou o entendimento da sua interação, sendo ele uma possível sonda aniônica por não ter tido interação de suas correntes de pico catódicas e anódicas com a solução de ferri/ferro.

Através deste trabalho foi possível ter um bom direcionamento de quais parâmetros seguir para a formação do filme polimérico com o nosso polímero, mas também de entender um pouco quanto as suas características, de forma que se tem conhecimento da necessidade de refazer alguns estudos com outras sondas, testes de concentração, análise de ciclos, para uma melhor definição destes parâmetros.

Deste modo, os estudos eletroquímicos realizados estão apenas no início, sendo que eles serão continuados em uma outra pesquisa, visando sua continuidade e revisão quanto aos ensaios já realizados que apresentaram problemas.

## 6. Referências

ALENCAR, João Rui B.; ARAÚJO, Evani L.; NETO, Pedro J. Rolim. **Lapachol: segurança e eficácia na terapêutica**. Revista Brasileira de Farmacognosia, vol. 12. p. 57-59, 2002.

ARAÚJO, E. L.; ALENCAR, J. R. B.; NETO, P. J. R.. Lapachol: segurança e eficácia na terapêutica. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 12, supl., p. 57-59, 2002.

ARAÚJO, Ginandrya Rodrigues. **Lapachol,  $\beta$ -lapachona e Hidroxi-hidrolapachol**: Extração, Síntese, Caracterização e Aplicação como Inibidores do Crescimento de Fungos Patogênicos da Soja. Orientador: Miquéias Ferreira Gomes. 2019. 55 f. TCC (Graduação) – Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal de Ciência, Tecnologia e Educação Goiano, Urutaí, 2019.

ARAÚJO, Juliana da Silva. **Sensor Eletroquímico para a Determinação da  $\beta$  – Lapachona, Derivado do Lapachol**. Monografia (Bacharelado em Química) - Faculdade de Ciências Integradas do Pontal da Universidade Federal de Uberlândia. Uuiutaba, 2018.

ARAÚJO, Gleidson Thiago de Sá. *et. al.* Determinação eletroanalítica de Minoxidil em tônicos capilares utilizando um eletrodo de baixo custo. **Revista Química: ensino, conceitos e fundamentos**. vol.2, p.100-116, 2021.

BARBOSA, T. P.; NETO, H. D. - Preparação de derivados do lapachol em meio ácido e em meio básico: uma proposta de experimentos para a disciplina de Química Orgânica Experimental. **Química Nova**. São Paulo, 2013. vol. 36 n. 2.

BORGES, Larissa Pacheco; AMORIM, Vítor Alves. **Metabólitos secundários de plantas**. Revista Agrotecnologia, Ipameri, v.11, n.1, p.54-67, 2020.

COELHO, Maísa Cavalcanti. **Triagem Virtual e Síntese de Dímeros de Lapachol e Isatina com Potencial Atividade Antitumoral**. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019.

CRUZ, Filipe Soares da. **Desenvolvimento De Biossensores Eletroquímicos Utilizando Eletrodos Impressos De Grafite Modificados Com Poli (Ácido 4-aminobenzóico) Aplicados Ao Diagnóstico De Zika Vírus**. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2018.

EMBRAPA. **Estresse biótico e abiótico em plantas**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1042057/1/estresseGPestressebioticoeabioticoemplantas.pdf>>. Acesso em 13 de dez. de 2022.

FERREIRA, Vitor Francisco. Aprendendo sobre os conceitos de ácido e base. **Química Nova na Escola**, n. 4, 1996.

FLORIEN. **Ipê Roxo**. Disponível em: <[https://florien.com.br/wp-content/uploads/2016/06/IPE-ROXO\\_2021-10.pdf](https://florien.com.br/wp-content/uploads/2016/06/IPE-ROXO_2021-10.pdf)>, 2021. Acesso em 24 de fev. de 2021.

FORTES, Fernanda S.; MOLENTO, Marcelo B. Resistência anti-helmíntica em nematoides gastrointestinais de pequenos ruminantes: avanços e limitações para seu diagnóstico. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, vol. 33, n. 12, p. 1391-1402, 2013.

GARROTE, Beatriz L.; SANTOS, Adriano; BUENO, Paulo R. **Biossensores eletroquímicos para diagnóstico clínico.** Disponível em: < <https://www.iq.unesp.br/#!/noticia/723/biossensores--eletroquimicos-para-diagnostico-clinico/>>. Acesso em 13 de dez. de 2022.

GOMES, Pâmela Oliveira Martins. **Imobilização Galectina-1 e Galectina-1 fusionada com Maltose Binding Protein (MBP-Gal-1) sobre superfície Eletropolimerizada com [N-(3-Pirrol-1-il—propil)-4,4'-bipiridina] (PPB) para a construção de um biossensor de Lactose.** Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2018.

LEITE, D. R. S. **Desenvolvimento de sensor impresso nanoestruturado modificado com ftalocianina de cobalto para aplicação em imunossensores.** 2016. p. 62. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Biomédica) - Universidade Federal de Pernambuco- UNPE. Recife-PE, 2016.

LOGROTA, M.H.C. et al. **Antiviral activity of naphthoquinones. Ilapachol derivatives against enteroviruses.** Revista Latino Americana de Microbiologia. 15-20, 1987.

MAGARELLI, Gabriela; PUPE, Júlia Moreira; SILVA, Luciano Paulino da. Detecção de nanopartículas de prata (AgNPs) e detecção de íons prata (Ag<sup>+</sup>) por técnicas voltamétricas. Embrapa. 1<sup>a</sup> ed. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228202/1/Nanoparticulas-2.pdf>>. Acesso em 07 de dez. de 2022.

MICHAELLIS. **Especificidade.** Disponível em: < <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/especificidade>>. Acesso em 13 de dez. de 2022.

MICHAELLIS. **Sensibilidade.** Disponível em: < <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/sensibilidade/>>. Acesso em 13 de dez. de 2022.

SCHONS, Elenice. **Fenômenos interfaciais.** Disponível em: < [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/fen\\_int\\_1.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/fen_int_1.pdf)>. Acesso em 13 de dez. de 2022.

SILVA, Thiago F.; OLIVEIRA, Alaíde B. de. Plantas leishmanicidas da Amazônia brasileira: uma revisão. **Revista Fitos.** vol. 10, n. 3, p. 339-363, 2016.

SILVA, Ziom Drak Sousa. **Estudo da espectroscopia na região do infravermelho do Lapachol, da  $\beta$ -lapachona e do hidroxí-hidrolapachol.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano Campus Urutaí. Urutaí, 2021.

SOUSA, Caroline Conceição. **Avaliação das propriedades farmacológicas de complexos de rutênio (III) conjugados com as naftoquinonas Lapachol ou Atovaquona como candidatos a fármacos antimaláricos.** Dissertação (Pós Graduação em Biotecnologia em saúde e medicina investigativa) – Instituto Gonçalo Muniz Fundação Oswaldo Cruz. Bahia, 2021.

SOUZA, Maria de Fátima Brito. Eletrodos quimicamente modificados e aplicados à eletroanálise: uma breve abordagem. **Química Nova**, vol. 20, n.2, p. 191-195, 1997.

XAVIER, André Felipe de Almeida. **Análise eletroquímica de quinonas bioativas: o caso das selenoquinonas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Federal de Alagoas. Alagoas, 2021.