SENSOR ELETROQUÍMICO INOVADOR PARA DETECÇÃO DE DICLOFENACO

Ana Marta Nunes da Silva Sarmento[1], Marina Vitória Marques Machado[1], Larah Giovanna de Oliveira dos Santos[1], Jéssica Higino de Souza[2], Fred Augusto Ribeiro Nogueira[1]

[1]Instituto Federal de Alagoas, Maceió, Brasil (amns1@aluno.ifal.edu.br)
[2]Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

Resumo: O diclofenaco é um anti-inflamatório não esteroidal de amplo uso humano. Por sua difícil deterioração, é considerado um contaminante emergente, gerando riscos ambientais e à saúde humana. Para aprimorar a detecção dessa substância, este trabalho objetivou desenvolver um eletrodo modificado com compostos naturais, presentes no pó da casca de camarão, que por meio de técnica eletroquímica constatou-se uma maior sensibilidade com corrente de pico de 2,62 μA.

Palavras-chave: Fármaco; Pasta de carbono, casca de camarão.

INTRODUÇÃO

O diclofenaco (DFC) é um fármaco amplamente utilizado, cujo nome químico é 2-{2-[(2,6-diclorofenil)amino]fenil}, pertencente à classe dos derivados do ácido fenilacético. Ele foi desenvolvido pela empresa farmacêutica suíça *Ciba-Geigy* (atualmente parte da Novartis) na década de 1960. Na época, os pesquisadores buscavam um novo anti inflamatório não esteroidal (AINE) que combinasse eficácia terapêutica com menor toxicidade gastrointestinal, em comparação com os medicamentos disponíveis, como a aspirina. Lançado comercialmente em 1973, sua estrutura contém dois grupos orgânicos importantes - um anel fenólico e um grupo carboxílico - que caracterizam sua ação como AINE. Esses medicamentos são conhecidos por suas propriedades antipiréticas e analgésicas, atuando na inibição da biossíntese de prostaglandinas, substâncias envolvidas nos processos inflamatórios (Brown, 2007; SUÁREZ *et al.*, 2016).

O diclofenaco possui fórmula molecular $C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$ (figura 1) e apresenta, em sua estrutura, funções orgânicas como amina secundária, ácido carboxílico e haletos orgânicos contendo átomos de cloro (Suárez *et al*., 2016). Este medicamento está entre os contaminantes emergentes (CE) existentes e afeta a vida aquática de forma significante e à saúde humana em exposições agudas devido à sua alta toxicidade entre os anti-inflamatórios mais utilizados (Escher *et al.*, 2019).

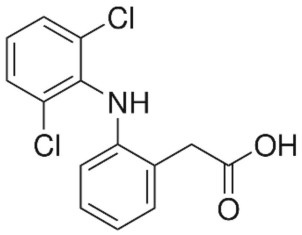


Figura 1 - Estrutura química do diclofenaco

Nesse contexto, os métodos analíticos são comumente utilizados, como a cromatografia líquida e gasosa (Roamano *et a*l., 2018). No entanto, esses métodos possuem um alto custo e um maior tempo de análise. Diante disso, o desenvolvimento de dispositivos chamados de sensores eletroquímicos, que respondam a espécies químicas que podem ser oxidadas ou reduzidas produzindo um sinal elétrico, direta ou inversamente proporcional à concentração de tais espécies está em crescente interesse por possuir diversas vantagens. Dentre as principais vantagens oferecidas por esses dispositivos, Silva, Salles e Paixão (2015) destacaram a portabilidade, baixo custo, elevada sensibilidade e seletividade, ampla faixa linear de concentração, obtenção de dados em tempo real, análises em um curto espaço de tempo analítico, possibilidade de miniaturização e a viabilidade de medições em campo. Além disso, os sensores baseados em pasta de carbono são facilmente reproduzíveis (Jashari; Svancara, 2022).

Com as dificuldades de utilização de equipamentos sofisticados, busca-se adaptar métodos simples para obter maior sensibilidade, reprodutibilidade e

reversibilidade, como é o caso dos sensores eletroquímicos modificados. Nesse contexto, destaca-se a valorização de resíduos de biomassa como substratos sustentáveis como os polímeros naturais, alinhando a necessidade de dispositivos de baixo impacto ambiental com a alta performance analítica (Gokhale; Vusa; Panda, 2024). Entre as alternativas sustentáveis, o uso de resíduos de frutos do mar, como a casca de camarão, tem se mostrado promissor, uma vez que tais descartes geram impactos negativos ao meio ambiente e exigem estratégias de valorização (Achache, 2024). Além de sua disponibilidade, o exoesqueleto do camarão apresenta elevado potencial tecnológico por ser uma fonte rica em quitina, um biopolímero natural de fácil obtenção, biocompatível e biodegradável (Pinheiro *et al*., 2025). Diante dessas propriedades, o presente trabalho teve por finalidade desenvolver um sensor eletroquímico à base de pasta de carbono modificado com pó da casca de camarão para a detecção de diclofenaco potássico, combinando a praticidade analítica com o uso de materiais sustentáveis (Pinheiro *et al*., 2025).

MATERIAL E MÉTODOS

Tipo e local de estudo

Trata-se de um estudo de caráter experimental desenvolvido no Instituto Federal de Alagoas (IFAL), campus Maceió, com o propósito de elaborar e caracterizar um eletrodo de pasta de carbono modificado com o pó da casca de camarão para a detecção eletroquímica do diclofenaco potássico (DFC) em meio aquoso.

Amostra de diclofenaco potássico

Foi utilizada como amostra uma solução de diclofenaco potássico $1x10^{-3}$ mol/L preparada a partir de comprimido comercial (50 mg), previamente triturado. Uma alíquota de 10 mg do material foi solubilizada em 5 mL de tampão fosfato $1x10^{-1}$ mol/L (pH 7), que foi filtrada em papel de filtro para remoção dos excipientes. Os ensaios eletroquímicos foram realizados em célula eletroquímica convencional contendo três eletrodos (contra eletrodo de platina, eletrodo de referência $Ag/AgCl_{KClsat}$ e eletrodo de trabalho EPC), utilizando-se como eletrólito suporte solução de tampão fosfato $1x10^{-1}$ mol/L em pH 7. Todas as amostras foram devidamente preparadas para a análise de eletroquímica por voltametria cíclica com controle das condições de preparo para garantir a reprodutibilidade da análise.

Preparação do eletrodo de pasta de carbono

Para avaliar o comportamento eletroquímico do DCF foram preparadas dois sensores com diferentes formulações da pasta de carbono. O eletrodo de pasta I (CPE) foi preparado utilizando-se 75% de pó de grafite (equivalente a 100 mg) e 25% de óleo mineral, os quais foram homogeneizados até a obtenção de uma pasta uniforme. Para preparo do eletrodo de pasta II, repetiu-se o procedimento adicionando 6% do pó da casca de camarão de granulometria de 53 µm. Ambas as pastas foram submetidas à secagem em estufa a 60 °C por 15 minutos e, posteriormente, resfriada à temperatura ambiente. A pasta obtida foi inserida na cavidade externa do eletrodo com o auxílio de uma microespátula e friccionado em folha A4 limpo para se obter uma superfície lisa e uniforme.

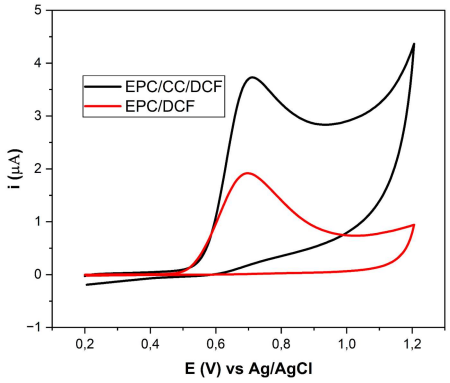
Análises eletroquímicas

As análises eletroquímicas foram realizadas em um potenciostato modelo PGSTAT 30 (AUTOLAB®), acoplado a um microcomputador com o software GPES 4.9. A célula eletroquímica foi composta por três eletrodos: eletrodo de referência de prata/cloreto de prata ($Ag/AgCl_{KClsat}$), contra eletrodo de platina e eletrodo de trabalho de pasta de carbono (EPC e EPC/CC), sobre o qual foi desenvolvida a plataforma eletroquímica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização eletroquímica da plataforma desenvolvida foi realizada pela técnica voltametria cíclica, que se baseia na aplicação de um potencial inicial que percorre até o potencial final, previamente escolhidos, formando-se um voltamograma que são ciclos onde encontra-se picos de correntes máximas em janelas anódicas e catódicas. A caracterização do diclofenaco potássico ocorreu na faixa de potencial de -0,2 a 1,2 V com uma velocidade de varredura de 10 mV/s conforme o voltamograma da figura 2.

Figura 2. Voltamogramas cíclicos do diclofenaco potássico na ausência (EPC) e presença da casca de camarão (EPC/CC).



Fonte: elaboração autoral, 2026

Nota-se, conforme o voltamograma 1, que as duas plataformas detectaram o diclofenaco representado pelo pico de oxidação de caráter irreversível. As respostas voltamétricas obtiveram evidência de um pico de corrente anódica no potencial de 0,69 V no eletrodo de pasta de carbono (EPC) e de 0,71 V no eletrodo de pasta de carbono modificado (EPC/CC).

Após os testes eletroquímicos foram realizados os cálculos do potencial e corrente de pico de oxidação com base nas respostas obtidas nos voltamogramas cíclicos como mostra a tabela 1. Conforme os resultados da tabela 1, observa-se que a plataforma que apresentou melhor corrente de pico, com 2,62 µA, foi a plataforma modificada com as cascas do camarão em comparação com a plataforma sem as cascas de camarão, com 1,63 µA, Esse comportamento evidencia que as propriedades da casca de camarão melhoram a detectabilidade do diclofenaco, o que está diretamente associado ao aumento significativo da área superficial ativa do eletrodo e à redução da resistência à transferência de carga na interface eletródica, conforme observado por Achache *et al*. (2024). Ademais, a estrutura naturalmente porosa deste material e a presença de grupos funcionais favoráveis potencializam a resposta faradaica, sugerindo que essa plataforma pode ser estendida para testes com outras medicações.

Tabela 1: Levantamento eletroquímico do potencial de pico e corrente de pico de oxidação dos eletrodos de com e sem modificação.

Plataforma	Ep (V)	Ip (µA)
EPC/DCF	0,69	1,63
EPC/CC/DCF	0,71	2,62

Fonte: elaboração autoral, 2026.

CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que o eletrodo de pasta de carbono modificado com o pó da casca de camarão (EPC/CC) identificou o diclofenaco potássico com corrente anódica de 2,62 µA o que significa que teve um desempenho maior que o eletrodo de pasta de carbono não modificado (1,63 µA). O método proposto, com simplicidade operacional, de baixo custo, combinando o pó da casca do camarão obteve um bom desempenho em questões de sensibilidade e reprodutibilidade, sendo capaz de identificar o pico de oxidação do diclofenaco em 0,71 V em solução tampão fosfato 0,1 mol/L de pH 7 por técnica analítica voltametria cíclica normal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Leqfor-Laboratório de Eletroquímica e Química Forense, aos colaboradores presentes nos experimentos e ao nosso grande orientador Fred Augusto Ribeiro Nogueira.

REFERÊNCIAS

ACHACHE, Mohamed et al. Innovative use of shrimp shell powder in carbon paste electrode for the electrochemical detection of dopamine and paracetamol: Valorization, characterization and application. **Microchemical Journal**, v. 202, 110754, 2024.

BROWN, K. **Drug discovery and development: technology in transition**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2007.

ESCHER, M. A. S. et al. A problemática ambiental da contaminação dos recursos hídricos por fármacos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 51, p. 141-148, 2019. DOI:

JASHARI, G.; SVANCARA, I. Carbon paste electrodes in electroanalysis of pharmaceuticals: current state and perspectives. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 314–326, 2022.

PINHEIRO, Carlos Daniel dos Santos et al. Casca de camarão como recurso estratégico: inovação, sustentabilidade e bioeconomia na Agenda 2030. **Revista Técnica da Agroindústria**, v. 2, n. 1, art. 010, 13 mar. 2025.

ROMANO, L. E. et al. **Desenvolvimento de metodologia para determinação de diclofenaco em águas superficiais.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

GOKHALE, Nachiket Aashish; VUSA, Chiranjeevi Srinivasa Rao; PANDA, Siddhartha. A natural fibre based sustainable and high-performance platform for electrochemical sensors. **RSC Sustainability**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 1849-1858, 2024. DOI: 10.1039/d4su00059e. Disponível em: https://doi.org/10.1039/d4su00059e.

SILVA, Thalita G.; SALLES, Maiara O.; PAIXÃO, Thiago R. L. C. Investigação do uso de eletrodo de carbono vítreo modificado com hexacianoferrato de rutênio para detecção de procaína. **Química Nova**, v. 38, n. 1, p. 85-90, 2015.

SUÁREZ, W. A. et al. Electroanalytical methods for determination of diclofenac: a review. **Microchemical Journal**, v. 126, p. 161–167, 2016.