

DESENVOLVIMENTO DE SENSOR COLORIMÉTRICO PARA DETECÇÃO DE ETILENODIAMINA

MARIANA GONÇALVES BENEVENTANA¹; JULIO PINTO OLIVEIRA²; ISADORA ATRIB GARCIA³; WILIAM BOSCHETTI⁴; ALINE JOANA ROLINA WOHLMUTH ALVES DOS SANTOS⁵.

¹Universidade Federal de Pelotas – CCQFA - marianagbgta@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – CCQFA - oliveira.p.julio@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas - PPGQ - atribisadora@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – CCQFA – williamcaxias@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas - CCQFA - alinejoana@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A etilenodiamina ($C_2H_4(NH_2)_2$) é um composto orgânico amplamente utilizado nas indústrias química e farmacêutica. Entretanto, seu descarte inadequado gera efluentes tóxicos e corrosivos, representando riscos à saúde humana e ao meio ambiente (ÁLVARO, 2024; PUBCHEM, 2026; RIBEIRO *et al.*, 2021). Embora a literatura já relate outros tipos de sensores colorimétricos para a detecção de etilenodiamina (YUDU, 2011), nosso diferencial é um sensor rápido de detecção e quantificação, que seja simples e de baixo custo, sendo uma característica do método colorimétrico (GONZÁLEZ; ACUÑA; QUIROZ, 2021).

Para isso, a presente inovação propõe o desenvolvimento de um filme híbrido que contém óxido de cobre(II) (CuO) em base polimérica sustentável/biodegradável de quitosana (AMITAYE *et al.*, 2024), cujo foco é sua aplicação como sensor colorimétrico na detecção e quantificação de etilenodiamina. O filme de coloração preta deve responder rapidamente à presença do analito por meio de mudança de cor e a quantificação do analito/etilenodiamina, em solução aquosa, deve ser feita por meio de espectroscopia na região do ultravioleta-visível, pela determinação indireta do complexo acetato de [bis(etilenodiamino)cobre(II)] ($[Cu(en)_2](CH_3COO)_2$) de coloração roxa.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O protótipo de sensor está sendo avaliado analiticamente quanto à exatidão e precisão na quantificação do analito. Após será necessária sua avaliação em amostras reais contendo uma mistura de contaminantes. Após a padronização do método, o sensor poderá beneficiar a análise de efluentes em indústrias químicas, farmacêuticas, de resinas, tintas, polímeros e adesivos, nas quais a etilenodiamina é empregada como matéria-prima ou intermediário químico (PUBCHEM, 2026). Além disso, há perspectiva de que o sensor também possa ser utilizado por instituições de perícia criminal, na investigação da presença deste analito como contaminante em embalagens para alimentos e/ou medicamentos.

Atualmente, a etilenodiamina é determinada em laboratórios de alta complexidade por técnicas analíticas instrumentais, como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia gasosa (GC) e espectrometria de massas (MS) (KOUSRALI; KOWTHARAPU; MONDAL, 2024), que apresentam alta

precisão e sensibilidade, porém há necessidade de equipamento de alto custo e o custo operacional também é alto.

O TAM (*Total Addressable Market*) corresponde ao mercado total de sensores CBRNe (Químicos, Biológicos, Radiológicos, Nucleares e Explosivos) (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2026; MARKETSANDMARKETS, 2026) no qual a tecnologia está inserida. De acordo com estimativas de mercado, o segmento global de sensores foi avaliado em US\$ 253,10 milhões em 2025 e deverá atingir US\$ 415,90 milhões até 2034, apresentando uma taxa de crescimento anual de 5,70% (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2026). O SAM (*Serviceable Available Market*) é voltado ao mercado de sensores químicos aplicáveis ao monitoramento ambiental e industrial, neste nicho, a GRAND VIEW RESEARCH (2026) estima que o mercado brasileiro de testes ambientais movimentou US\$ 543,9 milhões em 2025, com projeção de chegar a US\$ 1,0033 bilhão em 2033, CAGR de 8%. Para o SOM (*Serviceable Obtainable Market*), propõe-se uma estimativa inicial baseada na comercialização direta do sensor para laboratórios nas indústrias, em empresas públicas ou privadas de análises e em empresas de tratamento de efluentes, cujo valor unitário ainda não foi definido, pois ainda estamos estimando os custos para a produção. Esse cenário evidencia o potencial crescimento de tecnologias inovadoras. Portanto, o desenvolvimento do filme híbrido proposto, acompanha as tendências de inovação e expansão desse mercado.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Atualmente, a inovação não possui um modelo de negócios consolidado, apenas foi observada uma lacuna relacionada à disponibilidade de métodos rápidos e de baixo custo para a detecção e quantificação de etilenodiamina. Neste momento estamos trabalhando na validação experimental, que é importante passo para a otimização e comprovação técnica do protótipo. A metodologia da síntese dos filmes de quitosana/CuO foi adaptada de ETSINDO *et al.* (2021), sendo que a parte experimental vem sendo realizada pelo nosso grupo - Biomateriais Tecnológicos (BioMatTec), localizado no Laboratório de Sólidos Inorgânicos (LASIR), Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos da UFPEL e não há intenção de registro de propriedade intelectual. A síntese do óxido de cobre(II) é uma etapa prévia realizada por metodologia verde com extrato de erva-mate (NOOREN *et al.*, 2024). O filme híbrido é preparado a partir da evaporação lenta de uma solução de quitosana em ácido acético 5%, com adição do plastificante Tween 80 e de CuO. O filme/sensor foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de dispersão eletrônica (EDS) e espectroscopia na região do infravermelho (IV) em comparação com os precursores.

As próximas etapas incluem otimização da quantificação de etilenodiamina pelo filme híbrido, estudos de seletividade e estabilidade, validação utilizando amostras reais e aperfeiçoamento do protótipo para futuras aplicações em ambientes laboratoriais e industriais. A tecnologia encontra-se no TRL 4 (Nível de Prontidão Tecnológica - Technology Readiness Level), correspondente a validação dos componentes e arranjos experimentais em laboratório (NASA, 2026). Nessa etapa, o desempenho do filme foi avaliado em condições controladas, por meio de experimentos utilizando diferentes concentrações de etilenodiamina, com os limites mínimo e máximo de detecção e construção da curva de calibração do complexo acetato de bis(etilenodiamino)cobre(II) a ser

quantificado indiretamente. Além disso, foram realizados testes preliminares em águas contaminadas reais, com o objetivo de avaliar o método em matrizes complexas. O protótipo, por fim, foi desenvolvido em formato próximo ao que seria empregado na aplicação final, evidenciando avanços em direção ao TRL 5, no qual a tecnologia é validada em ambiente relevante. O principal desafio está sendo a validação do método e, futuramente, será sua produção em larga escala, sendo necessário desenvolver estratégias para garantir a viabilidade técnica e econômica da inovação.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

É esperado que a inovação possa auxiliar no monitoramento de efluentes industriais contendo etilenodiamina, favorecendo a identificação e quantificação de contaminações, contribuindo para o controle e preservação ambiental. A demanda por sensores tem crescido ao longo dos anos e existem projeções de mercado que indicam o crescimento contínuo desse setor. De acordo com a GRAND VIEW RESEARCH (2024), o mercado global de sensores químicos prevê um crescimento significativo nos próximos 7 anos, impulsionado pela crescente demanda por tecnologias de detecção rápidas, precisas e confiáveis em diversos setores. Quanto à evolução da inovação, a expectativa é que, no período de aproximadamente um ano, o sensor esteja padronizado para etilenodiamina e outros analitos possam ser avaliados.

5. CONCLUSÕES

A presente inovação acompanha a demanda crescente por sensores químicos, de modo que o desenvolvimento do filme híbrido de quitosana/CuO como sensor colorimétrico, para detecção e quantificação de etilenodiamina, representa uma alternativa inovadora para aplicações nas áreas ambiental e industrial. A tecnologia proposta destaca-se por utilizar materiais de baixo custo, apresentar fácil preparação do sensor e sua fácil aplicação no teste, além de fornecer a resposta rápida e visual através da formação do complexo colorido, que permite a quantificação indireta do analito por espectroscopia UV-visível. Diante desse cenário, busca-se estabelecer parcerias com universidades, centros de pesquisa, empresas e instituições públicas e privadas interessadas no aperfeiçoamento e na validação da tecnologia. Como ação para a chamada de investidores ou potenciais parceiros, sugerimos a participação em feiras/eventos com foco na promoção, não somente do produto, mas também, dos processos para este fim.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARO, J. **Etilenodiamina em Química.com.br**, 25 jan. 2024. Acessado em 03 ago. 2026. Online. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/etilenodiamina/>

AMITAYE, A. N.; ELEMIKE, E. E.; AKPEJI, H. B.; AMITAYE, E.; HOSSAIN, I.; MBONU, J. I.; AZIZA, A. E. Chitosan: a sustainable biobased material for diverse applications. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 12, n. 4, p.1-16, 2024.

ETSHINDO, L. A.; TAMIASSO-MARTINHON, P.; SOUSA, C.; ARAUJO, L. R. R.; ROCHA, A. S. Influence of substrate on the activity of composite film of TiO₂ and

chitosan for photodecolorization of a reactive dye solution. **Reaction Kinetics, Mechanisms And Catalysis**, [S.L.], v.132, n.1, p.547-562, 2021.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **CBRNe Sensors Market Size, Share & Industry Analysis**. Pune, 2025. Acessado em 03 ago. 2026. Online. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/cbrne-sensors-market-111111>.

GONZÁLEZ, E. E.; ACUÑA, Y. A.; QUIROZ, A. M. Nanopartículas de oro funcionalizadas con L-cisteína para detección de arsénico en agua. **Revista ingeniería, Investigación y Desarrollo**, Colômbia, v.21, n.2, p.66 - 72, 2021.

GRAND VIEW RESEARCH. **Chemical Sensors Market Size, Share & Trends Analysis Report**. San Francisco, 2024. Acessado em 29 jul. 2026. Online. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chemical-sensors-market>.

GRAND VIEW RESEARCH. **Brazil environmental testing market size & outlook, 2033**. San Francisco, 2026. Acessado em 11 ago. 2026. Online. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/environmental-testing-market/brazil>.

KOUSRALI, S.; KOWTHARAPU, L. P.; MONDAL, T. Analytical determination of ethylenediamine impurity in tripelennamine hydrochloride by gas chromatography–mass spectrometry using phthalaldehyde as the derivatizing agent. **Biomedical Chromatography**, v.38, n.6, p.50-58, 2024.

MARKETSANDMARKETS. **Chemical Sensors Market – Global Forecast to 2029**. Pune, 2026. Acessado em 29 jul. 2026. Online. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/chemical-sensor-market-212903829.html>.

NASA. National Aeronautics and Apace Administration. **Technology Readiness Level (TRL) Definitions**. Washington, DC, 1995. Acessado em 03. ago. 2026. Online. Disponível em: https://esto.nasa.gov/files/trl_definitions.pdf.

PUBCHEM. National Center for Biotechnology Information. **Ethylenediamine**. 2026. Acessado em 06 ago. 2026. Online. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethylenediamine>

NOOREN, S.; BIBI, I.; KAUSAR, A.; SULTAN, M.; BHATTI, H. N.; SAFA, Y.; SADAF, S.; ALWADAI, N.; IQBAL, M. Green synthesis of CuO nanoparticles using *Jasmin sambac* extract: conditions optimization and photocatalytic degradation of Methylene Blue dye. **Journal of King Saud University – Science**, v.36, p.1-9, 2024.

RIBEIRO, N. U. F.; BEGA, J. M. M.; ZAMBRANO, K. T.; PINHEIRO, J. H. P. A.; CARVALHO, S. L. Qualidade da água do rio Paraná em região de balneabilidade: discussão sobre os impactos potenciais do lançamento de efluentes provenientes de tratamento secundário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.26, n.1, p.135–145, 2021.

YUDO, A.; KEMMEI, T.; KODAMA, S.; INOUE, Y.; KAGAYA, S. Solid-phase extraction of ethyleneamines in river water prior to their determination by high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection. **Analytical Sciences**, v.41, n. 12, p.1883-1892, 2011.