

**Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”
Instituto de Química de Araraquara**

Dr. Max Fabrício Falone Varelo

**SENSOR ELETROQUÍMICO DESCARTÁVEL MOLECULARMENTE IMPRESSO
PARA DETECÇÃO DE BACTÉRIA NO PROCESSO DE BIOTRANSFORMAÇÃO DE
RESÍDUOS EM POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de
Química de Araraquara.

Supervisor: Prof. Dr. Nelson Ramos Stradiotto

PROGRAMA DE PÓS-DOCTORADO DA UNESP

Araraquara

2025



RESUMO: A bactéria *Burkholderia glumae* MA13 é uma importante produtora de polihidroxialcanoatos (PHA) a partir de fontes de carbono e subprodutos industriais, oferecendo uma alternativa promissora e sustentável aos plásticos petroquímicos. No entanto, o controle de qualidade é essencial, enfrentando desafios devido à complexidade e baixa sensibilidade das técnicas de monitoramento tradicionais. Estratégias de detecção mais rápidas e específicas são necessárias para otimizar a produção de PHAs. Os sensores eletroquímicos emergem como uma alternativa promissora para a detecção de bactérias, destacando-se por sua portabilidade, automação, capacidade de obtenção de informações *in situ*, sensibilidade, seletividade, baixo custo e pequenos limites de detecção. Compostos por elementos de reconhecimento e transdutores, esses dispositivos permitem a aquisição de informações qualitativas e quantitativas baseadas nas propriedades elétricas das espécies presentes na amostra. A variedade de materiais e técnicas disponíveis para a modificação dos eletrodos possibilita a preparação de sensores adaptáveis para diversas aplicações, com destaque para os eletrodos impressos, que apresentam uma plataforma viável para o desenvolvimento de sensores eletroquímicos devido à sua praticidade e possibilidade de modificações. A utilização de Polímeros Molecularmente Impressos (MIPs) tem contribuído significativamente para a fabricação de sensores com alta seletividade. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver um sensor eletroquímico molecularmente impresso com comunicação wireless para o monitoramento da bactéria *Burkholderia glumae* MA13 no processo de produção de polihidroxialcanoatos. A fabricação do sensor eletroquímico envolveu a eletropolimerização de pirrol ($1,0 \times 10^{-4}$ mol L⁻¹) na presença de *Burkholderia glumae* MA13 ($1,0 \times 10^7$ UFC mL⁻¹) em tampão fosfato (PB, 0,1 mol L⁻¹, pH 7,4). Após a formação do filme molecularmente impresso (MIP), a bactéria foi removida por incubação do sensor em solução etanol:ácido acético (50:50 v/v) durante 10 minutos, formando cavidades seletivas de reconhecimento. As caracterizações eletroquímicas e microscópicas indicaram a modificação bem-sucedida da superfície do eletrodo. As condições experimentais foram otimizadas para maximizar o desempenho analítico do sensor, incluindo: velocidade de varredura (50 mV s⁻¹), concentração de pirrol ($1,0 \times 10^{-4}$ mol L⁻¹), número de ciclos de eletropolimerização (3), pH (7,4), meio de extração (etanol:ácido acético, 50:50 v/v), tempo de extração (10 min) e religação (10 min). Em seguida, curvas analíticas foram obtidas na faixa linear de concentração de $1,0 \times 10^5$ a $1,0 \times 10^9$ UFC, com limite de detecção (LOD) estimado em $4,8 \times 10^6$ UFC mL⁻¹. Como próximas etapas, pretende-se avaliar a seletividade do sensor e sua aplicabilidade em amostras reais.

PALAVRAS-CHAVE: *Burkholderia glumae* MA13; polihidroxialcanoato (PHA); sensor eletroquímico descartável; Polímeros molecularmente impressos.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Produção de polihidroxialcanoatos

A preocupação atual com os problemas ambientais causados pelo descarte inadequado de materiais plásticos tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas para a produção de plásticos biodegradáveis, também conhecidos como bioplásticos [1,2]. Os polihidroxialcanoatos (PHAs) são polímeros promissores para substituir materiais plásticos da indústria petroquímica porque possuem propriedades semelhantes às de vários termoplásticos e são completamente biodegradáveis quando descartados em diferentes condições ambientais [3]. Os PHAs são completamente degradados no ambiente por microrganismos em água e dióxido de carbono em condições aeróbias e em metano em condições anaeróbias. Além disso, os PHAs têm atraído cada vez mais atenção por sua aplicação como bioplásticos devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e capacidade de serem produzidos a partir de diferentes matérias-primas renováveis [3–5]. Os PHAs são poliésteres alifáticos que, durante seu processo de produção, são acumulados intracelularmente por várias bactérias como uma reserva de energia quando o meio de cultura tem excesso de carbono e limitação de alguns nutrientes, como nitrogênio, fósforo, enxofre, oxigênio e/ou magnésio [2,6,7].

A *Burkholderia glumae* MA13 é uma bactéria gram-negativa promissora para a produção de PHAs utilizando subprodutos industriais como fonte de carbono. Neste sentido, o trabalho de Paula *et al.* (2019)[5], a *Burkholderia glumae* MA13 foi isolada de amostras de solo do ecossistema da Mata Atlântica como uma nova cepa bacteriana para produção de polihidroxialcanoato (PHA) a partir de glicerol bruto como única fonte de carbono. A partir desta abordagem o rendimento na obtenção poli(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-hexanoato) atingiu 1,04 g/g após 48 h de cultivo, o que foi 76,7% do rendimento máximo teórico. A *Burkholderia glumae* MA13 mostrou ser uma cepa bacteriana adaptada à síntese de bioplásticos a partir de subprodutos de biocombustíveis e, a partir daqui, revelou-se como um promissor produtor de PHA para um conjunto de produção associado que tem sido considerado como uma alternativa proeminente e ecologicamente correta para plásticos e combustíveis petroquímicos.

Posteriormente, o bioplástico PHA foi sintetizado por *Burkholderia glumae* MA13 a partir de fontes de carbono e subprodutos industriais relacionados às biorrefinarias de cana-de-açúcar [5]: sacarose, xilose, melaço, vinhaça, hidrolisado de bagaço, extrato de levedura, autolisado de levedura e levedura seca inativada, além de diferentes fontes de nitrogênio inorgânico. O melaço de cana-de-açúcar livre de pré-tratamento foi a melhor fonte de carbono, mesmo comparado à sacarose pura, com valores de acúmulo de polímero intracelular de 41,1-46,6% do peso seco celular. A partir disso, foi demonstrado que *Burkholderia glumae* MA13 é adaptado para sintetizar bioplásticos a partir de diferentes matérias-primas de cana-de-açúcar e corrobora para apoiar um conceito de biorrefinaria

com produtos químicos verdes de valor agregado para a cadeia produtiva da cana-de-açúcar com benefícios ecológicos adicionais em um modelo sustentável.

Levando em consideração a importância e eficiência da bactéria *Burkholderia glumae* MA13 para a bioprodução de PHAs, cabe o controle de qualidade do microrganismo sabendo que as técnicas para o seu monitoramento apresentam algumas. Neste sentido, os métodos tradicionais para detecção bacteriana são limitados pela complexidade de operação, tempo de consumo e baixa sensibilidade, além disso são tediosos. O método de contagem de placas é baseado em cultura, reação em cadeia da polimerase quantitativa em tempo real (qPCR) e ensaio imunoenzimáticos (ELISA)[8–10]. Entretanto, apesar de ser uma técnica rápida de detecção, o qPCR requer laboratório especializado e analista devidamente treinado. Além disso, este método inviabiliza a detecção de patógenos intactos devido a necessidade de extração de DNA e a amplificação de ácido nucleico para quantificação precisa. Adicionalmente, os testes ELISA, espectrometria de massa e o método de papel de ouro realizam a detecção seletiva da bactéria. No entanto, apresenta limitações como baixa estabilidade, operação trabalhosa e elevado custo de análise [8,11–13].

Rotineiramente, os métodos espectrofotométricos são empregados na quantificação da *Pseudomonas aeruginosa*. Assim, as medições de densidade óptica (DO) são a abordagem padrão usada em microbiologia para caracterizar concentrações de bactérias em meios de cultura. OD baseia-se na medição da absorvância óptica de uma amostra num único comprimento de onda, e qualquer erro propagar-se-á através de todos os cálculos, levando a problemas de reprodutibilidade [14]. Dessa forma, há uma demanda urgente por estratégias de detecção mais rápidas, fáceis de usar, econômicas e específicas para microrganismos visando otimizar a cadeia produtiva de PHAs. Neste contexto, os sensores eletroquímicos surgem como uma alternativa promissora para a detecção de bactérias devido as características vantajosas apresentadas por esses dispositivos, como portabilidade, possibilidade de automação, obtenção de informações *in situ*, sensibilidade, seletividade, pequenos limites de detecção e quantificação e baixo custo dos equipamentos [15].

1.2 Sensores eletroquímicos

Os sensores eletroquímicos são dispositivos aplicados na aquisição de informações qualitativas e quantitativas baseadas em propriedades elétricas das espécies intrínsecas na amostra de interesse. Seus principais componentes incluem um elemento de reconhecimento cujo papel é reconhecer o analito de interesse na amostra avaliada; um transdutor, que realiza a conversão do sinal oriundo da interação em sinal analítico mensurável [16].

Estes dispositivos podem ser compostos pelos eletrodos não modificados (tais como carbono, ouro e platina) e pelos eletrodos modificados. O termo eletrodo quimicamente modificado (do inglês, *chemically modified electrode - CME*) foi inserido na eletroquímica por Murray et al. [17] para

caracterizar os eletrodos que possuíam algum tipo de espécie eletroativa imobilizada em sua superfície. O principal objetivo dessa modificação é estabelecer um maior controle da natureza físico-química da interface eletrodo/solução, de modo a alterar a reatividade e seletividade deste dispositivo com a espécie de interesse [15], permitindo assim, o desenvolvimento de sensores para diversas aplicações analíticas.

A grande variedade de materiais e técnicas disponíveis para a realização de modificações na superfície eletródica permite a preparação de sensores para atender diversos públicos, principalmente nos setores industriais e ambientais. O maior desafio enfrentado pelos pesquisadores no desenvolvimento de sensores eletroquímicos comerciais é a regeneração da superfície eletródica após a utilização desses dispositivos e a manutenção do sinal analítico por um longo período de tempo. Uma alternativa para contornar essas limitações é a utilização de eletrodos descartáveis. Nesse contexto, os eletrodos impressos (do inglês: *screen printed electrodes – SPE*) surgem como uma plataforma viável para o desenvolvimento de sensores eletroquímicos.

Os eletrodos impressos basicamente são constituídos por um filme condutor (geralmente de carbono, ouro ou platina) depositado sobre um suporte inerte (PVC ou cerâmica de alumina). Esse filme é parcialmente recoberto com um material isolante para delimitar a área de contato elétrico e a área ativa do eletrodo [18]. No ponto de vista comercial, esses dispositivos se tornam extremamente atrativos, pois apresentam um sistema contendo os eletrodos de trabalho, referência e auxiliar em um único suporte de área bastante reduzida [18], o que viabiliza a possibilidade de obtenção de informações *in situ*. Além disso, esses eletrodos, por possuírem uma superfície rugosa, são susceptíveis as mesmas modificações que os eletrodos sólidos convencionais [19], fato que possibilita a utilização destes materiais para diversas aplicações em diferentes áreas [20]. Adicionalmente, nanomateriais podem ser incorporados à superfície destes dispositivos eletroquímicos visando o aprimoramento de suas qualidades analíticas como seletividade. Dessa maneira, os Polímeros Molecularmente Impressos (MIPs) têm ganhado grande destaque na literatura contribuindo para a fabricação de sensores eletroquímico com alto grau de seletividade [21,22].

1.3 Polímeros Molecularmente Impressos

Os polímeros molecularmente impressos (do inglês, *molecularly imprinted polymers – MIPs*) são polímeros sintéticos que apresentam alta seletividade a uma molécula de interesse. A síntese dos MIPs baseia-se em envolver uma molécula molde em torno de uma matriz polimérica (que possui um monômero funcional como percussor) através de um processo de polimerização. A remoção da molécula molde dessa matriz polimérica proporciona a formação de cavidades tridimensionais idênticas a espécie de interesse, conferindo aos MIPs uma alta capacidade seletiva. Dependendo do tamanho da molécula molde, as cavidades formadas podem até apresentar uma capacidade

enantiosseletiva [21,23].

A preparação os MIPs envolvem uma diversidade de métodos como: geração de radical livre, processo sol-gel, fotopolimerização, polimerização em massa, polimerização por precipitação, polimerização por suspensão, polimerização por emulsão e eletropolimerização [24–26]. A eletropolimerização é amplamente utilizada devido ao seu método de baixo custo, simples e rápido, que pode controlar a porosidade, a densidade e a espessura na formação da plataforma de detecção. Além disso, cria uma camada rígida, uniforme e compacta com impressão molecular que adere bem à superfície do transdutor de qualquer formato e tamanho [27].

Na literatura recente, existem muitas publicações que descrevem a impressão molecular bem-sucedida de microrganismos [28]. No estudo desenvolvido por Karasu *et al.* (2024) [12], foram preparados filmes de poli(dopamina) molecularmente impressos na presença de *Pseudomonas Aeruginosa* em superfície de eletrodos de grafite modificados com óxido de grafeno. A remoção da bactéria da estrutura polimérica promoveu a formação de cavidades seletivas para *Pseudomonas Aeruginosa*. O desempenho analítico dos eletrodos foi avaliado via voltametria de pulso diferencial (DPV) em uma faixa de concentração linear de $10^2 - 10^8$ UFC/mL. Este dispositivo exibiu limite de detecção (LOD) e limite de quantificação (LOQ) estimados em 1,85 UFC/mL e 6,50 UFC/mL, respectivamente. O sensor apresentou alta seletividade contra *Pseudomonas Aeruginosa* em comparação com *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus subtilis* sendo avaliados como potenciais concorrentes interferentes.

Outra abordagem eletroquímica de detecção para a *Pseudomonas Aeruginosa* foi desenvolvida por Tajani *et al.* (2022)[29]. Neste trabalho, um polímero de impressão molecular altamente seletivo foi desenvolvido para atenuar a formação de biofilme do patógeno multirresistente *Pseudomonas Aeruginosa* interrompendo o sistema de sinalização intermolecular. Inicialmente, um modelo fictício de MIP foi projetado através de modelagem molecular para capturar 2-heptil-3-hidroxi-4-quinolona (sinal de quinolona de *Pseudomonas*). Os resultados obtidos indicaram uma diferença significativa na inibição do biofilme (~56%) entre o polímero impresso (~67%) e o não impresso (~11%), o que é considerado um excelente nível para o tratamento de diversas superfícies afetadas por *P. aeruginosa*. Estes resultados abrem uma nova janela na aplicação biológica especial dos MIPs como um candidato promissor para reduzir preocupações em questões clínicas ou industriais, prevenindo infecções microbianas.

Xu *et al.* (2023) [30] realizaram a detecção de bactérias patogênicas através de um sensor impedimétrico baseado em um polímero duplo impresso por bactérias para a detecção de *Escherichia coli* O157:H7 e *Staphylococcus aureus*. A fabricação do sensor é realizada em apenas 20 min contando com o processo de eletropolimerização de o-fenilenodiamina na presença de moldes bacterianos duplos, seguido pela remoção do molde *in-situ*. O sensor apresentou alta seletividade capaz

profissional, marcada por organização, responsabilidade, proatividade e maturidade científica. Sua atuação contribuiu significativamente para o avanço do projeto e para o fortalecimento do grupo de pesquisa. Diante do exposto, ressalto o desempenho altamente satisfatório do pesquisador no período avaliado.

8. REFERENCIAS

- [1] S. Godbole, Methods for identification, quantification and characterization of Polyhydroxyalkanoates - A review, *Res. J. Biotechnol.* 9 (2014) 99–105.
- [2] T.V.B. Figueiredo, M.I. Campos, L.S. Sousa, J.R. Da Silva, J.I. Druzian, Produção e caracterização de polihidroxialcanoatos obtidos por fermentação da glicerina bruta residual do biodiesel, *Quim. Nova* 37 (2014) 1111–1117. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140183>.
- [3] G.Y.A. Tan, C.L. Chen, L. Li, L. Ge, L. Wang, I.M.N. Razaad, Y. Li, L. Zhao, Y. Mo, J.Y. Wang, Start a research on biopolymer polyhydroxyalkanoate (PHA): A review, *Polymers (Basel)*. 6 (2014) 706–754. <https://doi.org/10.3390/polym6030706>.
- [4] L.K.M. Quines, J.L. Ienczak, M. Schmidt, K. Zanfonato, M.I. Rodrigues, W. Schmidell, G.M.F. Aragão, Extraction of poly(3-hydroxybutyrate), produced by *Cupriavidus necator*, with propylene carbonate, *Quim. Nova* 38 (2015) 214–220. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140297>.
- [5] C.B.C. de Paula, F.C. de Paula-Elias, M.N. Rodrigues, L.F. Coelho, N.M.L. de Oliveira, A.F. de Almeida, J. Contiero, Polyhydroxyalkanoate Synthesis by *Burkholderia glumae* into a Sustainable Sugarcane Biorefinery Concept, *Front. Bioeng. Biotechnol.* 8 (2021) 1–14. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.631284>.
- [6] F.C. de Paula, S. Kakazu, C.B.C. de Paula, J.G.C. Gomez, J. Contiero, Polyhydroxyalkanoate production from crude glycerol by newly isolated *Pandoraea* sp. Polyhydroxyalkanoate production from crude glycerol, *J. King Saud Univ. - Sci.* 29 (2017) 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.07.002>.
- [7] F. Coutinho de Paula, S. Kakazu, C. Bilia Chimello de Paula, A.F. de Almeida, J.G. Cabrera Gomez, J. Contiero, *Burkholderia glumae* MA13: A newly isolated bacterial strain suitable for polyhydroxyalkanoate production from crude glycerol, *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 20 (2019) 101268. <https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2019.101268>.
- [8] Y. Liu, X.Z. Meng, X. Luo, H.W. Gu, X.L. Yin, W.L. Han, H.C. Yi, Y. Chen, Molecularly imprinted polymer combined with MOF-assisted redox recycling amplification: A powerful

- electrochemical sensing strategy for pathogenic bacteria, *Sensors Actuators B Chem.* 410 (2024) 135682. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.135682>.
- [9] J. Teng, F. Yuan, Y. Ye, L. Zheng, L. Yao, F. Xue, W. Chen, B. Li, Aptamer-based technologies in foodborne pathogen detection, *Front. Microbiol.* 7 (2016) 218806. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.01426/BIBTEX>.
- [10] J.W. Xue, R. Wang, J.Y. Yang, L.X. Wang, Y. Cao, H. Da Li, T. Yang, J.H. Wang, Sensitive plasmonic ELISA assay based on butyrylcholinesterase catalyzed hydrolysis for the detection of *Staphylococcus aureus*, *Sensors Actuators B Chem.* 365 (2022) 131948. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2022.131948>.
- [11] B. Amini, M. Kamali, M. Salouti, P. Yaghmaei, Spectrophotometric, colorimetric and visually detection of *Pseudomonas aeruginosa* ETA gene based gold nanoparticles DNA probe and endonuclease enzyme, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 199 (2018) 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.03.056>.
- [12] T. Karasu, N. İdil, E. Özgür, L. Uzun, *Pseudomonas aeruginosa* imprinted polydopamine@graphene-coated pencil graphite electrode for selective bacterial detection, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 681 (2024) 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.132788>.
- [13] Dong-ju Kim, Relation of microbial biomass to counting units for *Pseudomonas aeruginosa*, *African J. Microbiol. Res.* 6 (2012) 4620–4622. <https://doi.org/10.5897/ajmr10.902>.
- [14] S.E. McBirney, K. Trinh, A. Wong-Beringer, A.M. Armani, Wavelength-normalized spectroscopic analysis of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* growth rates, *Biomed. Opt. Express* 7 (2016) 4034. <https://doi.org/10.1364/boe.7.004034>.
- [15] D. Lowinsohn, M. Bertotti, Sensores eletroquímicos: considerações sobre mecanismos de funcionamento e aplicações no monitoramento de espécies químicas em ambientes microscópicos, *Quim. Nov.* 29 (2006) 1318–1325.
- [16] N.R. Stradiotto, H. Yamanaka, M.V.B. Zanoni, Electrochemical sensors: A powerful tool in analytical chemistry, *J. Braz. Chem. Soc.* 14 (2003) 159–173. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532003000200003>.
- [17] P.R. Moses, L. Wier, R.W. Murray, Chemically modified tin oxide electrode, *Anal. Chem.* 47 (1975) 1882–1886. <https://doi.org/10.1021/ac60362a043>.
- [18] V.B. Nascimento, L. Angnes, Eletrodos fabricados por “silk-screen,” *Quim. Nova* 21 (1998) 614–629. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000500014>.
- [19] Felipe Fantinato Hudari, Eletrodos impressos descartáveis e de carbono vítreo modificados

com grafeno e compósito de nanotubos de carbono-quitosana aplicados na determinação de corantes de cabelo, (2014).

- [20] M.A. Beluomini, J. Luiz, A. Cardoso, D. Sá, E. Buffon, M.A. Beluomini, J.L. da Silva, A.C. de Sá, E. Buffon, T.C. Pereira, N.R. Stradiotto, Electrochemical sensors based on molecularly imprinted polymer on nanostructured carbon materials: A review, *J. Electroanal. Chem.* 840 (2019) 343–366.
- [21] B.G. Olsen, M.F. Falone, E. Buffon, I. Yoshimura, R. da S. Vale, J. Contiero, N.R. Stradiotto, Alternative method for rhamnolipids quantification using an electrochemical platform based on reduced graphene oxide, manganese nanoparticles and molecularly imprinted Poly(L-Ser), *Talanta* 272 (2024) 125778. <https://doi.org/10.1016/J.TALANTA.2024.125778>.
- [22] M.F. Falone, E. Buffon, N.R. Stradiotto, Molecularly imprinted electrochemical sensor for monitoring mercaptan sulfur in aviation biofuel, *Fuel* 307 (2022) 121783. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121783>.
- [23] E. Buffon, No Title, (2018).
- [24] M. Mabrouk, S.F. Hammad, A.A. Abdella, F.R. Mansour, Tips and tricks for successful preparation of molecularly imprinted polymers for analytical applications: A critical review, *Microchem. J.* 193 (2023) 109152. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2023.109152>.
- [25] S. Boonpangrak, Molecularly imprinted polymers of lipid-soluble vitamins: A mini-review, *Microchem. J.* 195 (2023) 109407. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2023.109407>.
- [26] Y.Y.Y. Li, L. Luo, Y. Kong, Y.Y.Y. Li, Q. Wang, M. Wang, Y.Y.Y. Li, A. Davenport, B. Li, Recent advances in molecularly imprinted polymer-based electrochemical sensors, *Biosens. Bioelectron.* 249 (2024) 116018. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2024.116018>.
- [27] G.S. Geleta, Recent advances in electrochemical sensors based on MIPS and nanomaterials for detection of ascorbic dopamine and uric acid – A review, *Sens. Bio-Sensing Res.* 43 (2024) 100610. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2023.100610>.
- [28] N. Idil, B. Mattiasson, Imprinting of microorganisms for biosensor applications, *Sensors (Switzerland)* 17 (2017) 1–15. <https://doi.org/10.3390/s17040708>.
- [29] A.S. Tajani, V. Soheili, F. Moosavi, R. Ghodsi, T. Alizadeh, B.S. Fazly Bazzaz, Ultra selective and high-capacity dummy template molecular imprinted polymer to control quorum sensing and biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Anal. Chim. Acta* 1199 (2022) 339574. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.339574>.
- [30] X. Xu, X. Lin, L. Wang, Y. Ma, T. Sun, X. Bian, A Novel Dual Bacteria-Imprinted Polymer

Sensor for Highly Selective and Rapid Detection of Pathogenic Bacteria, *Biosensors* 13 (2023). <https://doi.org/10.3390/bios13090868>.

- [31] I. Yoshimura, A.M. Salazar-Bryam, A.U. de Faria, L.P. Leite, R.B. Lovaglio, J. Contiero, Guava Seed Oil: Potential Waste for the Rhamnolipids Production, *Fermentation* 8 (2022) 379. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080379>.
- [32] F. Coutinho de Paula, S. Kakazu, C. Bilia Chimello de Paula, A.F. de Almeida, J.G. Cabrera Gomez, J. Contiero, *Burkholderia glumae* MA13: A newly isolated bacterial strain suitable for polyhydroxyalkanoate production from crude glycerol, *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 20 (2019) 101268. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101268>.
- [33] A.M. Committee, Recommendations for the definition, estimation and use of the detection limit, *Analyst* 112 (1987) 199–204. <https://doi.org/10.1039/AN9871200199>.
- [34] E. Buffon, N.R. Stradiotto, Using a disposable platform based on reduced graphene oxide, iron nanoparticles and molecularly imprinted polymer for voltammetric determination of vanillic acid in fruit peels, *Food Chem.* 397 (2022) 133786. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133786>.
- [35] M.M. Gvozdenović, B.Z. Jugović, J.S. Stevanović, B.N. Grgur, Elektrohemijska sinteza elektroprovodnih polimera, *Hem. Ind.* 68 (2014) 673–684. <https://doi.org/10.2298/HEMIND131122008G>.
- [36] M.M. Gvozdenović, B.Z. Jugović, J.S. Stevanović, B.N. Grgur, Electrochemical synthesis of electroconducting polymers, *Hem. Ind.* 68 (2014) 673–684. <https://doi.org/10.2298/HEMIND131122008G>.
- [37] M. Fabrício Falone, · Edervaldo Buffon, N. Ramos Stradiotto, New Electrochemical Approach Based on Modified Electrode with Reduced Graphene Oxide, Iron Nanoparticle, and Molecularly Imprinted Poly(aniline) for Determination of Linoleic Acid in Guava Seed Oil, *Food Anal. Methods* 2025 (2025) 1–12. <https://doi.org/10.1007/S12161-025-02822-X>.
- [38] H. Oğuzhan Kaya, Y. Tekintaş, F. Kurul, A.E. Cetin, S. Nur Topkaya, Targeted microorganism detection with molecularly imprinted polymer biosensors, *J. Electroanal. Chem.* 971 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2024.118575>.
- [39] Y. Fang, L. hui Xu, W. xiao Tian, Y. Huai, S. hong Yu, M. miao Lou, G. lin Xie, Real-time Fluorescence PCR Method for Detection of *Burkholderia glumae* from Rice, *Rice Sci.* 16 (2009) 157–160. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(08\)60073-6](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(08)60073-6).

RESSALVA

**Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo deste
documento será
disponibilizado somente a
partir de 20/08/2027.**