

## Uso de polímeros condutores em sensores. Parte 3: Biossensores

J. E.Oliveira<sup>1</sup>, N. Consolin-Filho<sup>2</sup>, L. G.Paterno<sup>3</sup>, L. H. C. Mattoso<sup>4</sup>, E.S.Medeiros<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Centro de Tecnologia (CT), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT)  
Cidade Universitária, 58.051-900, João Pessoa- PB

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Campo Mourão  
BR 369, km 0,5, Caixa Postal 271, CEP 87301-006, Campo Mourão - PR

<sup>3</sup>Instituto de Química, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro  
CP 04478, CEP 70910-000, Asa Norte, Brasília - DF.

<sup>4</sup>Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio (LNNA), Embrapa Instrumentação (CNP/DIA)  
Rua XV de Novembro, 1452 – Centro, 13.560 – 970 São Carlos– SP

(Recebido em 02/02/2013; aceito em 04/02/2013)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

### Resumo:

A diversidade e as vantagens dos polímeros condutores têm feito desses materiais bons candidatos também em biossensores por servirem como intermediários nos processos de interação e transdução. Nesta terceira e última parte, será dada uma introdução ao uso dos polímeros em biossensores, tipos de biossensores e as técnicas usadas na imobilização de biomoléculas.

**Palavras-chave:** Biossensores; polímeros condutores; nanotecnologia; imobilização; aplicações.

---

### Abstract:

The diversity and advantages of conducting polymers have made these materials good candidates for biosensors for they can act as intermediates in interaction and transduction processes. In this third and final part, we will give an introduction to the use of conducting polymers in biosensors, as well as the types of biosensors and techniques used to immobilize biomolecules will be covered in this review.

**Keywords:** Biosensors; conjugated polymers; nanotechnology; immobilization; applications.

---

## 1. Polímeros Condutores e Biossensores

### 1.1. Introdução

Segundo a definição recomendada pela literatura [1,2], biossensores são dispositivos que convertem uma informação química, como, por exemplo, a concentração de um analito, em um sinal de utilidade analítica. Nos biossensores o sistema de reconhecimento se dá através de um mecanismo bioquímico entre o receptor biológico imobilizado na superfície de um transdutor e o analito de interesse. A Figura 1 ilustra os principais componentes de um biossensor.

O receptor é o componente biologicamente ativo, o qual interage de forma específica com o analito, gerando uma alteração em um ou mais parâmetros físico-químicos. O receptor biológico pode ser uma enzima, anticorpo, fragmento de DNA, organela, uma célula ou até mesmo um microrganismo [3]. Esta interação específica pode produzir íons, elétrons, luz ou calor. Desta forma, o receptor é

responsável pelo reconhecimento do analito e também pela especificidade e sensibilidade do biossensor. Já o transdutor é o elemento que percebe as alterações causadas pela interação entre o receptor biológico e seu analito e as converte num sinal analiticamente mensurável, ou seja, que pode ser eletronicamente visualizado, amplificado e armazenado [4-6]. Com isso percebe-se que o receptor biológico e o transdutor são os principais componentes no processo de biossensoriamento.

De acordo com as recomendações da IUPAC para definição, classificação e nomenclatura de biossensores [2], estes podem ser classificados de acordo com o elemento biológico, pelo modo de transdução do sinal, ou por uma combinação dos dois. No caso do sistema de classificação baseado no elemento biológico o biossensor pode ser biocatalítico [7,8] (enzimas, células ou tecidos) ou por bioafinidade [9-11] (antígenos, anticorpos ou fragmentos de DNA). A classificação dos biossensores eletroquímicos quanto ao tipo de mecanismo de transdução pode ser dividida

\*Email: [eliton@ct.ufpb.br](mailto:eliton@ct.ufpb.br) (E. S. Medeiros)

em amperométricos, potenciométricos, condutimétricos e mais recentemente em impedimétricos [12].

Os polímeros conjugados têm atraído muito interesse como matrizes para imobilização de biomoléculas [13-20], pois podem servir como intermediários nos processos de interação entre o receptor e o analito e na transdução do sinal com o objetivo de melhorar o tempo de resposta, a sensibilidade e o limite de detecção de biossensores para diversas aplicações que vão desde o diagnóstico de doenças até determinação de contaminantes em água [21-23].

Neste contexto diversas revisões já foram publicadas sobre o uso de polímeros condutores na construção de biossensores [13,14,17,20]. As técnicas de incorporação de enzimas em filmes constituídos por polímeros condutores depositados eletroquimicamente permitem a manutenção da atividade biológica das enzimas em eletrodos de diversas geometrias e tamanhos. Polímeros condutores elétricos

também apresentam grande versatilidade em sua estrutura química. Através de modelamento químico e novas rotas de síntese alguns grupos de pesquisa vêm reportando a possibilidade de se modular as propriedades eletrônicas e mecânicas dessa classe de materiais poliméricos [24]. Outra vantagem atribuída aos polímeros conjugados reside na possibilidade de sua síntese eletroquímica permitir a imobilização de biomoléculas de forma simples na superfície do eletrodo [15]. Com isso é possível o controle da distribuição espacial das enzimas imobilizadas, a espessura do filme e a manutenção da atividade enzimática pela modificação nas propriedades do polímero [17,24]. O desenvolvimento de qualquer tipo de tecnologia neste campo do conhecimento depende da compreensão das interações a nível molecular entre a espécie biológica e a matriz polimérica.

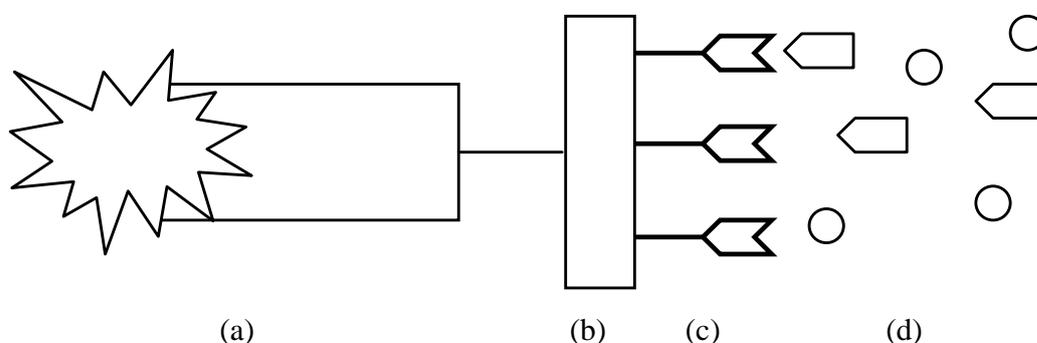


Figura 1. Representação esquemática do princípio de funcionamento de um biossensor: (a) sistema de aquisição e saída de dados, (b) transdutor, (c) componente biológico e (d) analito e meio.

Os polímeros conjugados também são conhecidos por sua compatibilidade com moléculas biológicas em soluções aquosas neutras [25]. Eles podem ser dopados de maneira reversível o que ocasiona em mudanças significativas nas propriedades elétricas e espectroscópicas do material que podem ser usadas como um sinal de reações bioquímicas.

A condutividade elétrica de um polímero conjugado pode variar em diversas ordens de grandeza em resposta a variações no pH e potencial redox [25]. Essa classe de materiais poliméricos tem a habilidade de transferir de forma eficiente as cargas elétricas produzidas por uma reação bioquímica. Além disso, eles podem facilmente ser depositados na superfície de um eletrodo. Esta propriedade dos polímeros conjugados em conjunto com a possibilidade de encapsular enzimas durante a polimerização eletroquímica é explorada no desenvolvimento de biossensores enzimáticos amperométricos [26-29]. Diversos estudos publicados [24,30] revelam que nanoestruturas baseadas em polímeros conjugados funcionam como excelentes matrizes para a imobilização de biomoléculas.

As duas partes iniciais desta revisão abordaram os princípios fundamentais dos poliméricos conjugados [31] e a segunda parte discutiu a aplicação desses polímeros em

sensores [32]. Nesta terceira parte da revisão será abordado o uso de polímeros condutores elétricos em sistemas de biossensoriamento.

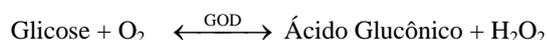
## 1.2. Classificação dos Biossensores

Os mecanismos de transdução mais comuns utilizados em biossensores são amperometria e potencimetria [5,17], seguido por métodos óticos [33-35] (fluorescência, ressonância de plasma de superfície, SPR, e fibra ótica), por gravimetria [36] (microbalança de cristal de quartzo, QCM) e por medidas condutimétricas [37,38] (capacitância, condutância e impedância). As vantagens principais em se empregar técnicas eletroanalíticas no desenvolvimento de biossensores se devem ao fato destes geralmente utilizarem elementos bioativos que sob o contato com o analito alvo se submetem a reações bioquímicas de oxirredução com a produção ou o consumo das substâncias tais como gás e espécies iônicas ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O_2$ ,  $NH_4^+$ ,  $H^+$ , etc.). Estas reações podem facilmente ser monitoradas, por exemplo, pelo gás e pelos eletrodos íon seletivos [39,40]. Dada a importância do mecanismo de transdução, os biossensores podem ser classificados em amperométricos,

potenciométricos, óticos, gravimétricos, capacitivos e impedimétricos, dentre outros. Outra forma usual de classificação diz respeito ao elemento biológico incorporado no biossensor [41-44].

### 1.2.1. Biossensor Enzimático

O princípio de biossensores enzimáticos se baseia na detecção de substâncias químicas geradas ou consumidas pela reação que ocorre entre uma enzima e seu analito. Geralmente, a enzima interage de forma específica com um dado analito, fato este que permite o desenvolvimento de biossensores com elevada especificidade [45]. Um dos biossensores enzimáticos mais investigados emprega a imobilização da enzima glicose oxidase na superfície de um polímero conjugado, tal como o polipirrol [46,47], a polianilina [48] ou o politiofeno [49,50]. A interação entre a enzima glicose oxidase e seu substrato a glicose segue a seguinte reação:



Nesta reação, a glicose oxidase (GOD) catalisa uma reação de oxidação produzindo peróxido de hidrogênio e ácido glucônico. A concentração de glicose é determinada por um sensor eletroquímico, geralmente amperométrico ou potenciométrico, pela medida da quantidade de oxigênio liberado [51,52].

Foram relatados na literatura diversos biossensores empregando a glicose oxidase imobilizada em polianilina [53,54], matrizes de polímeros conjugados e azul da Prússia [55,56], em compósitos de polímeros conjugados e nanopartículas metálicas [49,57-60], em compósitos de polímeros conjugados e nanoestruturas de carbono [61-64] e em materiais híbridos de polipirrol- látex [65]. Outros polímeros conjugados como o poli(N-metilpirrol) e o poli(fenilendiamina) também são usados como matriz para a imobilização de glicose oxidase [30].

Os biossensores enzimáticos baseados em polímeros condutores também foram usados com sucesso na detecção de diversos outros analitos, que incluem uréia [66], vitaminas [67], pesticidas [68], colesterol [27, 69], e glicerol [70].

O sucesso do desempenho de um biossensor enzimático reside basicamente na imobilização das enzimas, tais como a ascorbato oxidase [67,71], peroxidase de raiz forte (HRP) [72], acetilcolinesterase [73], e a organofosfato hidrolase (OPH) [74] no polímero condutor. Alguns autores adotam o uso de agentes reticulantes como glutaraldeído [75] e epícloridrina [76,77] para melhorar a adesão entre o elemento biológico e a matriz polimérica, evitando a perda de material sensório, e levando a uma maior repetibilidade das análises. Na seção 1.3 serão abordadas, de forma mais detalhada, as diferentes estratégias de imobilização de biomoléculas em matrizes de polímeros condutores.

### 1.2.2. Genossensores

Os biossensores que empregam DNA ou fragmentos de DNA podem ser um método promissor para a detecção de organismos patogênicos em alimentos [78,79], diagnóstico clínico [80-82] bem como diversas outras aplicações em biotecnologia [83]. Estes sensores podem ser produzidos pela imobilização de oligonucleotídeos capazes de executar o reconhecimento molecular do DNA, (vide Figura 2) [84-86]. O reconhecimento molecular é realizado pela hibridização do DNA com as moléculas de oligonucleotídeos presentes na superfície do sensor [87-89]. Este reconhecimento molecular pode causar mudanças conformacionais na estrutura do polímero que refletem em mudanças em suas propriedades eletroativas. Esta relação pode ser detectada por técnicas eletroquímicas, gravimétricas, óticas e condutivimétricas [90-92]. Baseando-se nesse conceito diversos autores vem relatando o desenvolvimento de genossensores empregando-se polímeros como a polianilina, polipirrol [93,94] e politiofeno [95,96].

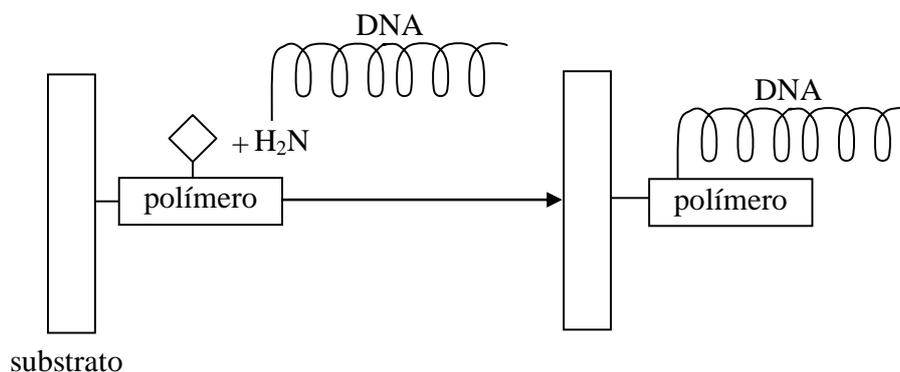


Figura 2. Representação do princípio de funcionamento de biossensores que empregam polímeros funcionalizados com DNA ou fragmentos de DNA.

### 1.2.3. Imunossensores

Os imunossensores são baseados em interações específicas que ocorrem entre anticorpos (Ab) e antígenos (Ag) [44,97] como descrito esquematicamente na Figura 3. Os anticorpos ou antígenos imobilizados em uma matriz acoplada a um transdutor tem a finalidade de detectar alterações em sistemas biológicos, como exemplo, no diagnóstico de patógenos [98,99].

Sadik e seus colaboradores [100] usaram voltametria cíclica (CV) e espectroscopia eletroquímica de impedância (EIS) para estudar a interação de polímeros conjugados modificados com anticorpos. Como exemplo, tem-se o estudo de interação entre a albumina humana (HSA) e um eletrodo

contendo polipirrol e o anticorpo imobilizado. Os autores propuseram um mecanismo de troca iônica no eletrodo de polipirrol modificado com anticorpo que envolve as interações entre o antígeno carregado negativamente em um pH neutro [100]. Os imunossensores a base de polianilina foram usados em diversas aplicações como na determinação da concentração de imunoglobulinas [101] e para a monitoração em tempo real de interações bioespecíficas [102,103]. Como exemplo tem-se o imunossensor de polianilina modificado com antiatrazina e consegue detectar concentrações de atrazina na faixa de 28 ppb o que demonstra seu potencial para a análise de muitas substâncias do interesse ambiental, biomédico e farmacêutico [102].

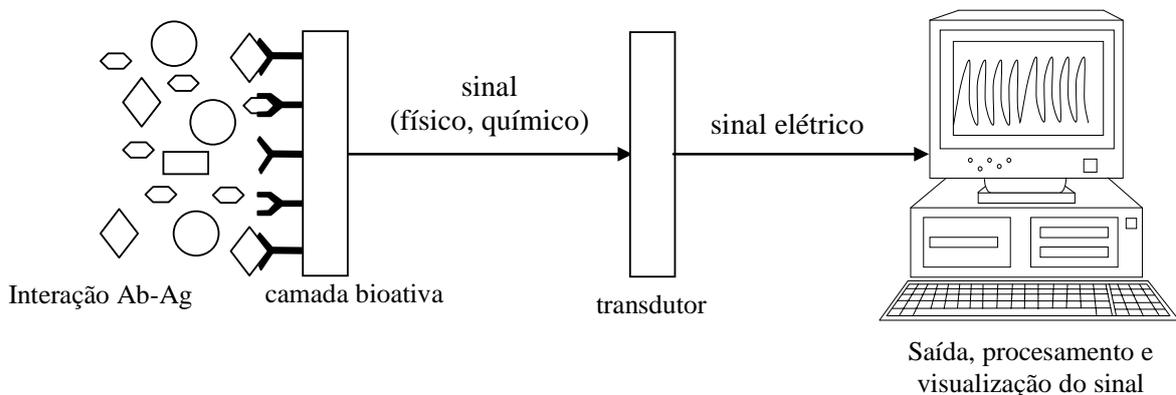


Figura 3. Representação esquemática de um imunossensor.

### 1.2.4. Sensores microbianos

Microorganismos podem consumir ou liberar determinados metabólitos eletroquimicamente ativos ( $H_2$ ,  $CO_2$ , ou  $NH_3$ ) em contato com o analito de interesse [104]. Uma vez que a quantidade destas substâncias é geralmente proporcional à concentração da espécie alvo microorganismos podem ser utilizados como o elemento bioativo do biossensor [105]. A estabilidade a longo prazo é um dos interesses principais para este tipo de biossensor, assim uma matriz ideal deve ser biocompatível e eficiente aos microorganismos [106]. Os sensores microbianos podem ser usados para a detecção de muitas substâncias tais como pesticidas [107], etanol [108], fenol [109], urânio [110], e em medidas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para o controle em linhas de processos bioquímicos [111].

Apesar de haver poucos trabalhos [112] com polímeros conjugados como matriz de imobilização para microorganismos, o uso de filmes porosos nanoestruturados de polímeros condutores podem ser promissores para esta classe de biossensores. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Palmqvist e colaboradores [113], no qual os autores desenvolveram um biossensor para a detecção de atividade metabólica em células de levedura baseado em um filme de polipirrol contendo agarose e *Saccharomyces cerevisiae* imobilizado. Um método potenciométrico galvanostático foi usado para medir a resistência do sensor.

Os autores relataram que o sensor respondeu dentro de 20 minutos aos aumentos na concentração de glicose pela resistência diminuída (40% por 5 g/l). Quando o metabolismo foi inibido por uma substância tóxica a resposta desapareceu. O dispositivo podia ser recondicionado lavando a camada de agarose com água quente, seguida pela aplicação de uma nova deposição de agarose e *Saccharomyces cerevisiae*. Mais recente outros autores vêm reportando [114,115] a imobilização de diversos microorganismos como *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Serratia marcescens*, *Escherichia coli* e *Brevibacterium ammoniagenes* em matrizes de polímeros conjugados.

### 1.3. Técnicas de Imobilização

A imobilização de biomoléculas é uma importante etapa no desenvolvimento de biossensores. Muitos livros e artigos contem milhares de protocolos para imobilização de biomoléculas [13]. As principais estratégias de imobilização podem ser descritas como sendo adsorção, ligação covalente, encapsulamento, ligação cruzada ou afinidade (Figura 4).

A imobilização de biomoléculas é uma peça chave no desenvolvimento eficiente de biossensores como controle de suas propriedades como boa estabilidade e tempo de estocagem, alta sensibilidade e seletividade, baixo tempo de resposta e alta reprodutibilidade. As biomoléculas imobilizadas devem manter sua estrutura, função e atividade

biológica após imobilização e não serem desorvidas durante o uso. Além disso, um biossensor ideal deve apresentar facilidade de armazenamento e elevado tempo de estocagem. O tipo de imobilização afeta a atividade e estabilidade das biomoléculas. Fatores como a precisão das medidas e a repetibilidade são fortemente influenciados pela estabilidade da biomolécula imobilizada.

Muitos grupos de pesquisa têm dedicado esforços para desenvolver estratégias de imobilização cada vez mais eficientes [116,117] devido ao fato do desempenho analítico de um biossensor ser extremamente influenciado pelo processo de imobilização.

A escolha da técnica de imobilização mais adequada depende da natureza da biomolécula, do transdutor e do

método de detecção que será empregado. O melhor método de imobilização também será uma função da propriedade de interesse que desejamos focar durante o projeto do biossensor. Como por exemplo, a sensibilidade será reduzida no caso de uma enzima sofrer desnaturação ou mudanças conformacionais [118]. Uma maior sensibilidade será alcançada com a orientação das enzimas na superfície do transdutor de forma a favorecer a exposição de seu centro ativo. O emprego de polímeros condutores no desenvolvimento de biossensores constitui numa excelente alternativa para melhorar o desempenho de um biossensor [119-121].

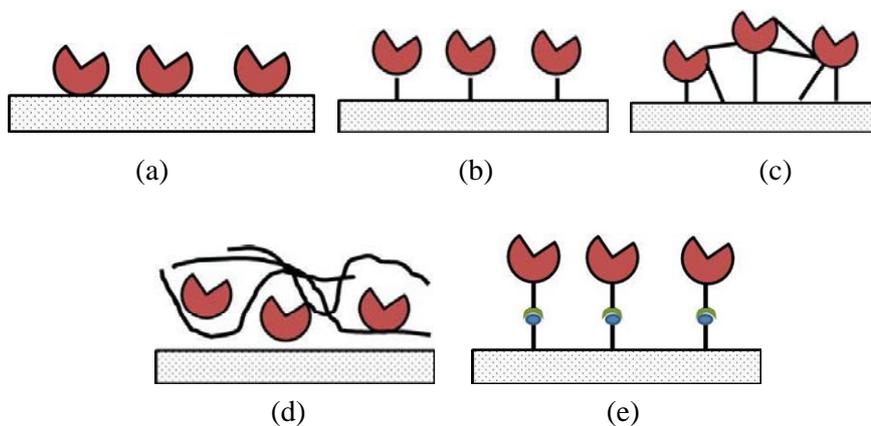


Figura 4 Principais Estratégias de Imobilização: (a) adsorção, (b) ligação covalente, (c) ligação cruzada, (d) encapsulamento e (e) afinidade.

Uma das etapas fundamentais na construção de um biossensor é a deposição do elemento biológico na superfície do transdutor de interesse. Este processo é conhecido como imobilização. Existem cinco métodos principais de imobilização baseados em diferentes mecanismos de interação entre o elemento biológico e a superfície do transdutor.

A adsorção física e química são os métodos mais simples e que envolvem menor preparação. Através da utilização de ligações covalentes entre um grupo funcional da biomolécula e a superfície do suporte sólido pode-se obter um controle mais preciso da imobilização do elemento biológico [116,117]. Porém, a ligação obtida é fraca, no caso da adsorção física, e desordenada, no caso da adsorção química, e não garante um dispositivo estável. Esses fatores levam a uma adsorção não específica na superfície do eletrodo que compromete o desempenho do biossensor.

A necessidade do desenvolvimento de biossensores cada vez mais sensíveis e com menor limite de detecção ocasionou na investigação de novas estratégias de imobilização. O encapsulamento foi o método utilizado em alguns dos biossensores desenvolvidos recentemente. Nele o elemento biológico se encontra envolto por uma membrana que limita sua contaminação e deterioração. O encapsulamento pode proteger o componente biológico de mudanças na temperatura, pH, força iônica e composição química. Além

disso, a membrana pode ser permeável a algumas substâncias (moléculas pequenas, gases e elétrons) que se deseja detectar.

Na técnica de encapsulamento o material biológico pode ser retido numa matriz gelificada. Contudo o gel pode servir de barreira à difusão do analito e resultar na perda de sua funcionalidade [5, 116].

A imobilização de componentes biológicos em superfícies de forma específica é de grande interesse na área de biossensoriamento. Para que o biossensor apresente boas características a imobilização deve garantir que a biomolécula não perca sua funcionalidade (Figura 5).

Uma das técnicas utilizadas atualmente consiste na imobilização através de nanoestruturas de polímeros conjugados obtido por diversas rotas químicas e físicas e que permitem o controle da morfologia e propriedades do sistema híbrido polímero/elemento biológico a nível molecular.

A Tabela 1 traz um sumário das principais vantagens e desvantagens de cada método de imobilização. Em alguns casos, os protocolos de imobilização podem ser uma combinação de diversos métodos de imobilização. Por exemplo, uma enzima pode ser pré imobilizada em nanopartículas por adsorção, afinidade ou ligação covalente e em seguida estas nanopartículas encapsuladas numa matriz polimérica.

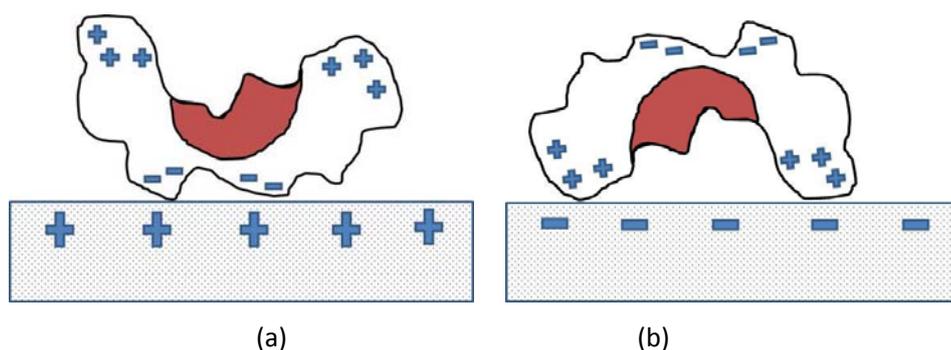


Figura 5. Representação esquemática de adsorção específica (a) e não específica (b).

Tabela 1. Principais metodologias de imobilização de biomoléculas.

	Natureza	Vantagens	Desvantagens	Exemplos
Adsorção	Forças fracas	Simplicidade	Dessorção Adsorção não específica	[122, 123]
Ligação Covalente	Ligações químicas entre grupos funcionais da enzima e matriz de imobilização	Sem barreira de difusão Estabilidade Baixo tempo de resposta	Matriz não regenerável Emprego de reagentes tóxicos	[124, 125]
Encapsulamento	Incorporação em um gel ou matriz polimérica	Versatilidade Não existem ligações químicas que possam afetar atividade biológica	Barreira de difusão	[126-129]
Ligação Cruzada	Ligação entre biomolécula e agente de reticulação	Simplicidade	Elevada perda de atividade biológica	[130-132]
Afinidade	Ligações devido a afinidade biológica entre grupos funcionais específicos	Imobilização controlada e orientada	Necessidade da existência de grupos específicos.	[133-135]

## 2. Considerações Finais

O uso de polímeros de conjugados também tem crescido significativamente na área de ciência e tecnologia de biossensores devido a vantagens, tais como a sua disponibilidade, diversidade, facilidade de síntese, possibilidade de incorporação de diferentes espécies dopantes e a imobilização de biomoléculas. Entre as funções dos polímeros conjugados em biossensores estão o seu uso como intermediários nos processos de interação receptor/ analito e na transdução do sinal para melhorar o tempo de resposta, a sensibilidade e o limite de detecção. Além disso, os avanços em nanotecnologia têm contribuído no sentido de miniaturização de tais sensores cujas aplicações variam desde o diagnóstico de doenças até determinação de contaminantes em água.

## Referências

- [1] IUPAC reconsider new biosensor definition. *Biosensors & Bioelectronics*, 1998. 13(2): p. I-I
- [2] Thevenot, D.R., et al., Electrochemical biosensors: recommended definitions and classification. *Biosensors & Bioelectronics*, 2001. 16(1-2): p. 121-131.
- [3] Vo-Dinh, T., B. Cullum, *Biosensors and biochips: advances in biological and medical diagnostics*. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 2000. 366(6-7): p. 540-551
- [4] Castillo, J., et al., *Biosensors for life quality - Design, development and applications*. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2004. 102(2): p. 179-194.
- [5] Grieshaber, D., et al., *Electrochemical biosensors - Sensor principles and architectures*. *Sensors*, 2008. 8(3): p. 1400-1458
- [6] Mehrvar, M., M. Abdi, Recent developments, characteristics, and potential applications of electrochemical biosensors. *Analytical Sciences*, 2004. 20(8): p. 1113
- [7] Lei, Y., W. Chen, A. Mulchandani, *Microbial biosensors*. *Analytica Chimica Acta*, 2006. 568(1-2): p. 200-210
- [8] Park, B.W., D.Y. Yoon, D.S. Kim, Recent progress in bio-sensing techniques with encapsulated enzymes. *Biosensors & Bioelectronics*, 2010. 26(1): p. 1-10.
- [9] Hirst, E.R., et al., *Bond-rupture immunosensors - A review*. *Biosensors & Bioelectronics*, 2008. 23(12): p. 1759-1768.
- [10] Palchetti, I., M. Mascini, *Nucleic acid biosensors for*

- environmental pollution monitoring. *Analyst*, 2008. 133(7): p. 846-854.
- [11] Teles, F.R.R., L.R. Fonseca, Trends in DNA biosensors. *Talanta*, 2008. 77(2): p. 606-623.
- [12] Ronkainen, N.J., H.B. Halsall, W.R. Heineman, Electrochemical biosensors. *Chemical Society Reviews*, 2010. 39(5): p. 1747-1763.
- [13] Ahuja, T., et al., Biomolecular immobilization on conducting polymers for biosensing applications. *Biomaterials*, 2007. 28(5): p. 791-805.
- [14] Borole, D.D., et al., Conducting polymers: an emerging field of biosensors. *Designed Monomers and Polymers*, 2006. 9(1): p. 1-11.
- [15] Cosnier, S., Biosensors based on electropolymerized films: new trends. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2003. 377(3): p. 507-520.
- [16] Geetha, S., et al., Biosensing and drug delivery by polypyrrole. *Analytica Chimica Acta*, 2006. 568(1-2): p. 119-125.
- [17] Gerard, M., A. Chaubey, B.D. Malhotra, Application of conducting polymers to biosensors. *Biosensors & Bioelectronics*, 2002. 17(5): p. 345-359.
- [18] Lahiff, E., et al., The increasing importance of carbon nanotubes and nanostructured conducting polymers in biosensors. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2010. 398(4): p. 1575-1589.
- [19] Ravichandran, R., et al., Applications of conducting polymers and their issues in biomedical engineering. *Journal of the Royal Society Interface*, 2010. 7: p. S559-S579.
- [20] Vidal, J.C., E. Garcia-Ruiz, J.R. Castillo, Recent advances in electropolymerized conducting polymers in amperometric biosensors. *Microchimica Acta*, 2003. 143(2-3): p. 93-111.
- [21] Arredondo, M., et al., Some clinical applications of the electrochemical biosensors. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2012. 12(12): p. 1301-1313.
- [22] Guo, X., Surface plasmon resonance based biosensor technique: A review. *Journal of Biophotonics*, 2012. 5(7): p. 483-501.
- [23] Parolo, C., A. Merkoci, Paper-based nanobiosensors for diagnostics. *Chemical Society Reviews*, 2013. 42(2): p. 450-457.
- [24] Deepshikha, T. Basu, A Review on Synthesis and Characterization of Nanostructured Conducting Polymers (NSCP) and Application in Biosensors. *Analytical Letters*, 2011. 44(6): p. 1126-1171.
- [25] Kanik, F.E., et al., A novel functional conducting polymer: synthesis and application to biomolecule immobilization. *Journal of Materials Chemistry*, 2012. 22(42): p. 22517-22525.
- [26] Senel, M., C. Nergiz, Development of a novel amperometric glucose biosensor based on copolymer of pyrrole-PAMAM dendrimers. *Synthetic Metals*, 2012. 162(7-8): p. 688-694.
- [27] Shin, Y.J., J. Kameoka, Amperometric cholesterol biosensor using layer-by-layer adsorption technique onto electrospun polyaniline nanofibers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2012. 18(1): p. 193-197.
- [28] Stasyuk, N., et al., Bi-enzyme L-arginine-selective amperometric biosensor based on ammonium-sensing polyaniline-modified electrode. *Biosensors & Bioelectronics*, 2012. 37(1): p. 46-52.
- [29] Wen, Y., et al., Amperometric Vitamin C Biosensor Based on the Immobilization of Ascorbate Oxidase into the Biocompatible Sandwich-Type Composite Film. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2012. 167(7): p. 2023-2038.
- [30] Xia, L., Z.X. Wei, M.X. Wan, Conducting polymer nanostructures and their application in biosensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010. 341(1): p. 1-11.
- [31] Medeiros, E.S., et al., Uso de polímeros condutores em sensores. Parte 1: Introdução aos polímeros condutores. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 2012. 7(2): p. 62-77.
- [32] Medeiros, E., et al., Uso de polímeros condutores em sensores. Parte 2: Aplicações em sensores. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 2012. 7(3): p. 144-158.
- [33] Bally, M., et al., Optical microarray biosensing techniques. *Surface and Interface Analysis*, 2006. 38(11): p. 1442-1458.
- [34] Ligler, F.S., Perspective on Optical Biosensors and Integrated Sensor Systems. *Analytical Chemistry*, 2009. 81(2): p. 519-526.
- [35] Marazuela, M.D., M.C. Moreno-Bondi, Fiber-optic biosensors - an overview. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2002. 372(5-6): p. 664-682.
- [36] Cooper, M.A., V.T. Singleton, A survey of the 2001 to 2005 quartz crystal microbalance biosensor literature: applications of acoustic physics to the analysis of biomolecular interactions. *Journal of Molecular Recognition*, 2007. 20(3): p. 154-184.
- [37] Berggren, C., B. Bjarnason, G. Johansson, Capacitive biosensors. *Electroanalysis*, 2001. 13(3): p. 173-180.
- [38] Daniels, J.S., N. Pourmand, Label-free impedance biosensors: Opportunities and challenges. *Electroanalysis*, 2007. 19(12): p. 1239-1257.
- [39] Wang, J., Glucose biosensors: 40 years of advances and challenges. *Electroanalysis*, 2001. 13(12): p. 983-988.
- [40] Wilkins, E., P. Atanasov, Glucose monitoring: State of the art and future possibilities. *Medical Engineering & Physics*, 1996. 18(4): p. 273-288.
- [41] Dolatabadi, J.E.N., et al., Optical and electrochemical DNA nanobiosensors. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 2011. 30(3): p. 459-472.
- [42] Dolatabadi, S., D. Manjulakumari, Microbial Biosensors and Bioelectronics. *Research Journal of Biotechnology*, 2012. 7(3): p. 102-108.
- [43] Kotanen, C.N., et al., Implantable enzyme amperometric biosensors. *Biosensors &*

- Bioelectronics, 2012. 35(1): p. 14-26.
- [44] Ricci, F., G. Adornetto,, G. Palleschi, A review of experimental aspects of electrochemical immunosensors. *Electrochimica Acta*, 2012. 84: p. 74-83.
- [45] Wilson, R., A.P.F. Turner, Glucose-Oxidase - an Ideal Enzyme. *Biosensors & Bioelectronics*, 1992. 7(3): p. 165-185.
- [46] Fortier, G., E. Brassard,, D. Belanger, Optimization of a Polypyrrole Glucose-Oxidase Biosensor. *Biosensors & Bioelectronics*, 1990. 5(6): p. 473-490
- [47] Wang, J., M. Musameh, Carbon-nanotubes doped polypyrrole glucose biosensor. *Analytica Chimica Acta*, 2005. 539(1-2): p. 209-213.
- [48] Xian, Y.Z., et al., Glucose biosensor based on Au nanoparticles-conductive polyaniline nanocomposite. *Biosensors & Bioelectronics*, 2006. 21(10): p. 1996-2000.
- [49] Pandey, P., et al., Polythiophene gold nanoparticles composite film for application to glucose sensor. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008. 110(2): p. 988-994.
- [50] Uygun, A., et al., Polythiophene/SiO<sub>2</sub> nanocomposites prepared in the presence of surfactants and their application to glucose biosensing. *Synthetic Metals*, 2009. 159(19-20): p. 2022-2028.
- [51] PrevotEAU, A., N. Mano, Oxygen reduction on redox mediators may affect glucose biosensors based on "wired" enzymes. *Electrochimica Acta*, 2012. 68: p. 128-133.
- [52] Takase, M., et al., Carbon nanotube enhanced mediator-type biosensor for real-time monitoring of glucose concentrations in fish. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2012. 403(4): p. 1187-1190.
- [53] Arslan, H., et al., Glucose Biosensing at Carbon Paste Electrodes Containing Polyaniline-Silicon dioxide Composite. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012. 7(10): p. 10205-10214.
- [54] Colak, O., et al., Amperometric Detection of Glucose by Polyaniline-Activated Carbon Composite Carbon Paste Electrode. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012. 7(8): p. 6988-6997.
- [55] Chen, X.J., et al., Glucose biosensor based on three dimensional ordered macroporous self-doped polyaniline/Prussian blue bicomponent film. *Analytica Chimica Acta*, 2012. 723: p. 94-100.
- [56] Wang, H.H., et al., One-step synthesis and self-organization of polypyrrole ultrathin films inlayed with Prussian blue nanoparticles induced by a drop of toluene solution on water surface. *Thin Solid Films*, 2012. 520(6): p. 2026-2031.
- [57] Huang, Y.X., et al., An electrochemical investigation of glucose oxidase at a US nanoparticles modified electrode. *Biosensors & Bioelectronics*, 2005. 21(5): p. 817-821.
- [58] andey, P., et al., Gold nanoparticle-polyaniline composite films for glucose sensing. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2008. 8(6): p. 3158-3163.
- [59] Qin, X.Y., et al., Preparation of Ag nanoparticle-decorated polypyrrole colloids and their application for H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> detection. *Electrochemistry Communications*, 2011. 13(8): p. 785-787.
- [60] Wu, J.M., L.W. Yin, Platinum Nanoparticle Modified Polyaniline-Functionalized Boron Nitride Nanotubes for Amperometric Glucose Enzyme Biosensor. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 2011. 3(11): p. 4354-4362.
- [61] Gavalas, V.G., N.A. Chaniotakis, 60 Fullerene-mediated amperometric biosensors. *Analytica Chimica Acta*, 2000. 409(1-2): p. 131-135.
- [62] Gopalan, A.I., K.P. Lee,, S. Komathi, Bioelectrocatalytic determination of nitrite ions based on polyaniline grafted nanodiamond. *Biosensors & Bioelectronics*, 2010. 26(4): p. 1638-1643.
- [63] Sheng, Q.L., M.Z. Wang,, J.B. Zheng, A novel hydrogen peroxide biosensor based on enzymatically induced deposition of polyaniline on the functionalized graphene-carbon nanotube hybrid materials. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2011. 160(1): p. 1070-1077.
- [64] Singh, K., et al., Fabrication of amperometric bienzymatic glucose biosensor based on MWCNT tube and polypyrrole multilayered nanocomposite. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012. 125: p. E235-E246.
- [65] Koopal, C.G.J., et al., 3RD-Generation Amperometric Biosensor for Glucose - Polypyrrole Deposited Within a Matrix of Uniform Latex-Particles as Mediator. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1992. 29(2): p. 159-175.
- [66] Jia, W.Z., L. Su., Y. Lei, Pt nanoflower/polyaniline composite nanofibers based urea biosensor. *Biosensors & Bioelectronics*, 2011. 30(1): p. 158-164.
- [67] Li, D., et al., Polypyrrole-multiwalled carbon nanotubes composites as immobilizing matrices of ascorbate oxidase for the facile fabrication of an amperometric vitamin C biosensor. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012. 126(3): p. 882-893.
- [68] Gong, J.M., L.Y. Wang,, L.Z. Zhang, Electrochemical biosensing of methyl parathion pesticide based on acetylcholinesterase immobilized onto Au-polypyrrole interlaced network-like nanocomposite. *Biosensors & Bioelectronics*, 2009. 24(7): p. 2285-2288.
- [69] Singh, K., et al., Polypyrrole/multiwalled carbon nanotubes-based biosensor for cholesterol estimation. *Polymers for Advanced Technologies*, 2012. 23(7): p. 1084-1091.
- [70] Eftekhari, A., Glycerol biosensor based on glycerol dehydrogenase incorporated into polyaniline

- modified aluminum electrode using hexacyanoferrate as mediator. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2001. 80(3): p. 283-289.
- [71] Wen, Y.P., et al., Ascorbate oxidase electrochemical biosensor based on the biocompatible poly(3, 4-ethylenedioxythiophene) matrices for agricultural application in crops. *Chinese Chemical Letters*, 2012. 23(2): p. 221-224.
- [72] Hua, M.Y., et al., A hydrogen peroxide sensor based on a horseradish peroxidase/polyaniline/carboxy-functionalized multiwalled carbon nanotube modified gold electrode. *Electrochimica Acta*, 2011. 56(25): p. 9488-9495.
- [73] Snejdarkova, M., et al., Acetylcholinesterase sensors based on gold electrodes modified with dendrimer and polyaniline - A comparative research. *Analytica Chimica Acta*, 2004. 514(1): p. 79-88.
- [74] Karyakin, A.A., et al., Potentiometric biosensors based on polyaniline semiconductor films. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 1996. 33(1-3): p. 34-38.
- [75] Bezbradica, D., et al., Electrochemically synthesized polyaniline as support for lipase immobilization. *Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic*, 2011. 70(1-2): p. 55-60.
- [76] de Oliveira, I., S.C. Fernandes, I.C. Vieira, Development of a biosensor based on gilo peroxidase immobilized on chitosan chemically crosslinked with epichlorohydrin for determination of rutin. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2006. 41(2): p. 366-372.
- [77] Solna, R., P. Skladal, Amperometric flow-injection determination of phenolic compounds using a biosensor with immobilized laccase, peroxidase and tyrosinase. *Electroanalysis*, 2005. 17(23): p. 2137-2146.
- [78] Garcia, T., et al., Disposable DNA biosensor based on thin-film gold electrodes for selective Salmonella detection. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 2012. 161(1): p. 1030-1037.
- [79] Low, K.F., et al., Electrochemical genosensor for specific detection of the food-borne pathogen, *Vibrio cholerae*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2012. 28(4): p. 1699-1706.
- [80] Civit, L., A. Frago, C.K. O'Sullivan, Electrochemical biosensor for the multiplexed detection of human papillomavirus genes. *Biosensors & Bioelectronics*, 2010. 26(4): p. 1684-1687.
- [81] Malecka, K., et al., Voltammetric Detection of a Specific DNA Sequence of Avian Influenza Virus H5N1 Using HS-ssDNA Probe Deposited onto Gold Electrode. *Electroanalysis*, 2012. 24(2): p. 439-446.
- [82] Riccardi, C.D., et al., Immobilization of streptavidin in sol-gel films: Application on the diagnosis of hepatitis C virus. *Talanta*, 2006. 70(3): p. 637-643.
- [83] Tichoniuk, M., M. Ligaj, M. Filipiak, Application of DNA hybridization biosensor as a screening method for the detection of genetically modified food components. *Sensors*, 2008. 8(4): p. 2118-2135.
- [84] Bas, D., I.H. Boyaci, Photoelectrochemical competitive DNA hybridization assay using semiconductor quantum dot conjugated oligonucleotides. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2011. 400(3): p. 703-707.
- [85] Peng, H., et al., Synthesis of a functionalized polythiophene as an active substrate for a label-free electrochemical genosensor. *Polymer*, 2007. 48(12): p. 3413-3419.
- [86] Silva, F.B., et al., Electrochemical investigation of oligonucleotide-DNA hybridization on poly(4-methoxyphenethylamine). *International Journal of Molecular Sciences*, 2008. 9(7): p. 1173-1187.
- [87] Arora, K., et al., Ultrasensitive DNA hybridization biosensor based on polyaniline. *Biosensors & Bioelectronics*, 2007. 23(5): p. 613-620.
- [88] Budnikov, H.C., G.A. Evtugyn, and A.V. Porfireva, Electrochemical DNA sensors based on electropolymerized materials. *Talanta*, 2012. 102: p. 137-155.
- [89] Liu, S., et al., Polyaniline nanofibres for fluorescent nucleic acid detection. *Nanoscale*, 2011. 3(3): p. 967-969.
- [90] Antony, M.J., M. Jayakannan, Polyaniline Nanoscaffolds for Colorimetric Sensing of Biomolecules via Electron Transfer Process. *Langmuir*, 2011. 27(10): p. 6268-6278.
- [91] Du, M., et al., Fabrication of DNA/graphene/polyaniline nanocomplex for label-free voltammetric detection of DNA hybridization. *Talanta*, 2012. 88: p. 439-444.
- [92] Elahi, M.Y., et al., DNA immobilization on a polypyrrole nanofiber modified electrode and its interaction with salicylic acid/aspirin. *Analytical Biochemistry*, 2011. 411(2): p. 176-184.
- [93] Booth, M.A., S. Harbison, J. Trivas-Sejdic, Development of an electrochemical polypyrrole-based DNA sensor and subsequent studies on the effects of probe and target length on performance. *Biosensors & Bioelectronics*, 2011. 28(1): p. 362-367.
- [94] Booth, M.A., S. Harbison, J. Trivas-Sejdic, Effects of Redox Couple on the Response of Polypyrrole-Based Electrochemical DNA Sensors. *Electroanalysis*, 2012. 24(6): p. 1311-1317.
- [95] Chen, X., et al., A sensitive and selective label-free DNzyme-based sensor for lead ions by using a conjugated polymer. *Analytical Methods*, 2012. 4(6): p. 1619-1622.
- [96] Liu, M.Q., C.H. Luo, H. Peng, Electrochemical DNA sensor based on methylene blue functionalized polythiophene as a hybridization indicator. *Talanta*, 2012. 88: p. 216-221.
- [97] Mohammed, M.I., M.P.Y. Desmulliez, Lab-on-a-chip based immunosensor principles and technologies for the detection of cardiac biomarkers: a review. *Lab on a Chip*, 2011. 11(4): p. 569-595.

- [98] Afonso, A.S., et al., QCM immunoassay for recombinant cysteine peptidase: A potential protein biomarker for diagnosis of citrus canker. *Talanta*, 2013. 104(0): p. 193-197.
- [99] Teles, F., L. Tavira,, L.J.P. da Fonseca, Biosensors as rapid diagnostic tests for tropical diseases. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 2010. 47(3): p. 139-169.
- [100] Sadik, O.A., M. Ngundi,, A. Wanekaya, Chemical Biological Sensors Based on Advances in Conducting Electroactive Polymers. *Microchimica Acta*, 2003. 143(2-3): p. 187-194.
- [101] Brahim, S., et al., Chemical, Biological Sensors Based on Electrochemical Detection Using Conducting Electroactive Polymers. *Microchimica Acta*, 2003. 143(2-3): p. 123-137.
- [102] Sargent, A., et al., The electrochemistry of antibody-modified conducting polymer electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 1999. 470(2): p. 144-156.
- [103] Sergeyeve, T.A., et al., Polyaniline label-based conductometric sensor for IgG detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 1996. 34(1-3): p. 283-288.
- [104] Melamed, S., T. Elad,, S. Belkin, Microbial sensor cell arrays. *Current Opinion in Biotechnology*, 2012. 23(1): p. 2-8.
- [105] Su, L., et al., Microbial biosensors: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, 2011. 26(5): p. 1788-1799.
- [106] D'Souza, S.F., Microbial biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 2001. 16(6): p. 337-353.
- [107] Lei, Y., et al., Direct Determination of p-Nitrophenyl Substituent Organophosphorus Nerve Agents Using a Recombinant *Pseudomonas putida* JS444-Modified Clark Oxygen Electrode. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004. 53(3): p. 524-527.
- [108] Valach, M., et al., Ethanol *Gluconobacter* biosensor designed for flow injection analysis: Application in ethanol fermentation off-line monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2009. 138(2): p. 581-586.
- [109] Kırğöz, Ü.A., et al., Graphite epoxy composite electrodes modified with bacterial cells. *Bioelectrochemistry*, 2006. 69(1): p. 128-131.
- [110] Hillson, N.J., et al., *Caulobacter crescentus* as a Whole-Cell Uranium Biosensor. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007. 73(23): p. 7615-7621.
- [111] Kara, S., B. Keskinler,, E. Erhan, A novel microbial BOD biosensor developed by the immobilization of *P. Syringae* in micro-cellular polymers. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2009. 84(4): p. 511-518.
- [112] Odaci, D., et al., Use of a thiophene-based conducting polymer in microbial biosensing. *Electrochimica Acta*, 2008. 53(12): p. 4104-4108.
- [113] Palmqvist, E., et al., Development of a simple detector for microbial metabolism, based on a polypyrrole dc resistometric device. *Biosensors and Bioelectronics*, 1994. 9(8): p. 551-556.
- [114] Jha, S.K., et al., Entrapment of live microbial cells in electropolymerized polyaniline and their use as urea biosensor. *Biosensors and Bioelectronics*, 2009. 24(8): p. 2637-2642.
- [115] Tokonami, S., et al., Vertical Immobilization of Viable Bacilliform Bacteria into Polypyrrole Films. *Analytical Sciences*, 2012. 28(4): p. 319-319.
- [116] Bucko, M., et al., Immobilization in biotechnology and biorecognition: from macro- to nanoscale systems. *Chemical Papers*, 2012. 66(11): p. 983-998.
- [117] Sassolas, A., L.J. Blum,, B.D. Leca-Bouvier, Immobilization strategies to develop enzymatic biosensors. *Biotechnology Advances*, 2012. 30(3): p. 489-511.
- [118] Trilling, A.K., et al., The effect of uniform capture molecule orientation on biosensor sensitivity: Dependence on analyte properties. *Biosensors & Bioelectronics*, 2013. 40(1): p. 219-226.
- [119] Boka, B., et al., Enzyme Based Amperometric Biosensor for Adenine Determination. *Electroanalysis*, 2013. 25(1): p. 237-242.
- [120] Calvo-Perez, A., et al., Disposable amperometric biosensor for the determination of tyramine using plasma amino oxidase. *Microchimica Acta*, 2013. 180(3-4): p. 253-259.
- [121] Qi, P., Y. Wan,, D. Zhang, Impedimetric biosensor based on cell-mediated bioimprinted films for bacterial detection. *Biosensors & Bioelectronics*, 2013. 39(1): p. 282-288.
- [122] Goda, T., Y. Miyahara, Interpretation of Protein Adsorption through Its Intrinsic Electric Charges: A Comparative Study Using a Field-Effect Transistor, Surface Plasmon Resonance, and Quartz Crystal Microbalance. *Langmuir*, 2012. 28(41): p. 14730-14738.
- [123] Palacio, M.L.B., B. Bhushan, Enzyme adsorption on polymer-based confined bioinspired biosensing surface. *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 2012. 30(5).
- [124] Liu, X., et al., An ultrasensitive label-free biosensor for assaying of sequence-specific DNA-binding protein based on amplifying fluorescent conjugated polymer. *Biosensors & Bioelectronics*, 2013. 41: p. 218-224.
- [125] chlichtiger, A., et al., Covalent attachment of functionalized cardiolipin on a biosensor gold surface allows repetitive measurements of anticardiolipin antibodies in serum. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2013. 405(1): p. 275-285.
- [126] Choi, O., et al., A biosensor based on the self-entrapment of glucose oxidase within biomimetic silica nanoparticles induced by a fusion enzyme. *Enzyme and Microbial Technology*, 2011. 49(5): p. 441-445.
- [127] Keow, C.M., et al., Screen-printed Histamine

- Biosensors Fabricated from the Entrapment of Diamine Oxidase in a Photocured Poly(HEMA) Film. *International Journal of Electrochemical Science*, 2012. 7(5): p. 4702-4715.
- [128] Lawal, A.T., S.B. Adeloju, Polypyrrole based amperometric and potentiometric phosphate biosensors: A comparative study *B. Biosensors & Bioelectronics*, 2013. 40(1): p. 377-384.
- [129] Ozdemir, M., F. Arslan,, H. Arslan, An amperometric biosensor for choline determination prepared from choline oxidase immobilized in polypyrrole-polyvinylsulfonate film. *Artificial Cells Blood Substitutes and Biotechnology*, 2012. 40(4): p. 280-284.
- [130] Colak, O., et al., Glucose biosensor based on the immobilization of glucose oxidase on electrochemically synthesized polypyrrole-poly(vinyl sulphonate) composite film by cross-linking with glutaraldehyde. *Artificial Cells Blood Substitutes and Biotechnology*, 2012. 40(5): p. 354-361.
- [131] Xu, L., et al., Electrochemical Detection of E. coli O157:H7 Using Porous Pseudo-Carbon Paste Electrode Modified with Carboxylic Multi-Walled Carbon Nanotubes, Glutaraldehyde and 3-Aminopropyltriethoxysilane. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2012. 8(6): p. 1006-1011.
- [132] Yadav, S., et al., Immobilization of creatininase, creatinase and sarcosine oxidase on iron oxide nanoparticles/chitosan-g-polyaniline modified Pt electrode for detection of creatinine. *Enzyme and Microbial Technology*, 2012. 50(4-5): p. 247-254.
- [133] Farahani, R.D., et al., Reinforcing epoxy nanocomposites with functionalized carbon nanotubes via biotin-streptavidin interactions. *Composites Science and Technology*, 2012. 72(12): p. 1387-1395.
- [134] Liu, L., et al., Amplified voltammetric detection of dopamine using ferrocene-capped gold nanoparticle/streptavidin conjugates. *Biosensors & Bioelectronics*, 2013. 41: p. 730-735.
- [135] Williams, E.H., et al., Selective streptavidin bioconjugation on silicon and silicon carbide nanowires for biosensor applications. *Journal of Materials Research*, 2013. 28(1): p. 68-77.