

# Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2020

# Evolução na Ciência e Engenharia de Materiais

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E93      Evolução na ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] /  
Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR:  
Atena Editora, 2020.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-7247-921-9  
DOI 10.22533/at.ed.219201601

1. Engenharia de materiais – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann,  
Henrique Ajuz.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DE FIBRAS VEGETAIS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MORFOLOGIA DA FRATURA DE COMPÓSITOS COM FIBRAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Fábio Santos de Sousa Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Luciano Monteiro Almeida Roberto Tetsuo Fujiyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM FIBRAS NATURAIS E SINTÉTICAS CONTÍNUAS E ALINHADAS	
Luciano Monteiro Almeida César Tadeu Nasser Medeiros Branco Douglas Santos Silva Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho Roberto Tetsuo Fujiyama	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
CARACTERIZAÇÃO DE NANOFILTRO REDUTOR DE SULFETO DE HIDROGÊNIO E UMIDADE DO BIOGÁS	
Mateus Sousa Pinheiro Gabrielle Dias Coelho Maria del Pilar Hidalgo Falla	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
DESCRIÇÃO TERMODINÂMICA DE MICRODOMÍNIOS DENTRO DE PICHE MESOFÁSICO PRECURSOR PARA FIBRAS DE CARBONO	
Caio Cesar Ferreira Florindo Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
NANOBIOSENSOR ELETROQUÍMICO BASEADO EM APTAMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A EM CAFÉ TORRADO	
Maurília Palmeira da Costa Itala Gabriela Tavares Lima Idjane Silva de Oliveira Cesar Augusto Souza de Andrade Maria Danielly Lima de Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2192016015</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 63**

DETECÇÃO ESPECÍFICA DE SCHISTOSOMA MANSONI EM LCR USANDO UM BIOSSENSOR ELETROQUÍMICO DE DNA BASEADO EM NANOPARTICULAS DE OURO E MERCAPTOSILANO

Giselle Soares dos Santos  
César Augusto Sousa de Andrade  
Fábio Lopes de Melo  
Maria Danielly Lima de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2192016016**

**CAPÍTULO 7 ..... 73**

PRODUÇÃO DE NANOMATERIAIS BIOMIMÉTICOS A PARTIR DE UM NOVO SISTEMA DE *ELECTROSPINNING* PARA ENGENHARIA DE TECIDOS DOS MENISCOS DO JOELHO

Thiago Domingues Stocco  
Anderson de Oliveira Lobo

**DOI 10.22533/at.ed.2192016017**

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

PLATAFORMA NANOSTRUTURADA BASEADA EM APTÂMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A

Maurília Palmeira da Costa  
Ítala Gabriela Tavares Lima  
Idjane Silva de Oliveira  
Cesar Augusto Souza de Andrade  
Maria Danielly Lima de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.2192016018**

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS PLA/ZNO POR REOLOGIA E NMR NO DOMÍNIO DO TEMPO

Amanda Ramos Aragão Melo  
José Carlos Dutra Filho  
Maria Inês Bruno Tavares

**DOI 10.22533/at.ed.2192016019**

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DE CÁLCIO E BÁRIO EM COMPOSIÇÕES DE PEROVSKITAS  $TR_{(1-x)}M_xO_3$  (TR= PR, GD), (M = CA, BA) (X= 0,2) NA ATIVIDADE CATALÍTICA

Cássia Carla de Carvalho  
Anderson Costa Marques  
Symone Leandro de Castro  
Davidson Nunes de Oliveira  
Filipe Martel de Magalhães Borges  
Alexandre de Sousa Campos

**DOI 10.22533/at.ed.21920160110**

**CAPÍTULO 11 ..... 119**

CERÂMICAS AVANÇADAS: PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ÓXIDOS TERRA RARA-NÍQUEL

Bruna Niccoli Ramirez  
Márcia Tsuyama Escote

**DOI 10.22533/at.ed.21920160111**

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

INSERÇÃO DE ESCÂNDIO E FÓSFORO NO SEMICONDUTOR DE DIÓXIDO DE TITÂNIO PARA APLICAÇÃO EM FOTOCATÁLISE

Eduardo Felipe De Carli  
Eliane Kujat Fischer  
Natali Amarante da Cruz  
Alberto Adriano Cavalheiro

**DOI 10.22533/at.ed.21920160112**

**CAPÍTULO 13 ..... 146**

INDUTORES DE RÁDIO FREQUÊNCIA EXTERNOS COM ALTOS FATORES DE QUALIDADE USANDO OURO, SU8 E ALUMINA

Lucas Martins Miranda de Almeida  
Alexandre da Silva Nascimento  
Richard Alexandrino de Macedo  
Angélica dos Anjos Ayala

**DOI 10.22533/at.ed.21920160113**

**CAPÍTULO 14 ..... 153**

INCLUSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE  $3Y-ZrO_2$  EM MATRIZ DE  $\alpha-AL_2O_3$  PARA CONFEÇÃO DE INSERTO CERÂMICO

Miguel Adriano Inácio  
José Victor Candido de Souza  
Maria do Carmo de Andrade Nono  
Sergio Luiz Mineiro  
Daniel Alessander Nono

**DOI 10.22533/at.ed.21920160114**

**CAPÍTULO 15 ..... 160**

OPTICAL AND ELECTROCHEMICAL PROPERTIES IN CDSE/CDTE AND CDSE/CDTE NANOCRYSTALS PREPARED BY AQUEOUS SYNTHESIS

Raul Fernando Cuevas Rojas  
Miguel Angel González Balanta  
Silvio José Prado  
Pablo Henrique Menezes  
Lauro Antonio Pradela Filho  
Victor Ciro Solano Reynoso

**DOI 10.22533/at.ed.21920160115**

**CAPÍTULO 16 ..... 170**

PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE BY DENTAL PULP STEM CELLS IN INTERFACE WITH PLASMA MODIFIED TITANIUM

Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo  
Laís Albuquerque Vasconcelos  
Clodomiro Alves Junior  
Jussier Oliveira Vitoriano  
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha  
Moacir Fernandes de Queiroz Neto  
José Sandro Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.21920160116**

**CAPÍTULO 17 ..... 187**

SÍNTESE HIDROTÉRMICA ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS DE ALUMINA TRI-HIDRATADA

Ricardo Ritter de Souza Barnasky  
Cristiane Wienke Raubach Ratmann  
Marciel Gaier  
Mário Lúcio Moreira  
Sergio da Silva Cava

**DOI 10.22533/at.ed.21920160117**

**CAPÍTULO 18 ..... 201**

MODIFICAÇÃO QUÍMICA DA LIGA DE ALUMÍNIO 5052 PARA OBTENÇÃO DE SUPERFÍCIES SUPER-HIDROFÓBICAS

Rafael Gleymir Casanova da Silva  
Maria Isabel Collasius Malta  
Severino Leopoldino Urtiga Filho  
Sara Horácio de Oliveira  
Magda Rosângela Santos Vieira

**DOI 10.22533/at.ed.21920160118**

**CAPÍTULO 19 ..... 207**

INFLUENCE OF THE ALUMINA ADDITION IN THE WEAR RESISTANCE OF THE SINTERED AISI 52100 STEEL

Bruna Horta Bastos Kuffner  
Gilbert Silva  
Carlos Alberto Rodrigues  
Geovani Rodrigues

**DOI 10.22533/at.ed.21920160119**

**CAPÍTULO 20 ..... 212**

IMPROVEMENT OF TITANIUM SURFACE WITH PLASMA NITRIDING TREATMENT

Laís Albuquerque Vasconcelos  
Keylla Dayanne Coelho Marinho de Melo  
Clodomiro Alves Junior  
Jussier Oliveira Vitoriano  
Hugo Alexandre de Oliveira Rocha  
Moacir Fernandes de Queiroz Neto  
José Sandro Pereira da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.21920160120**

**CAPÍTULO 21 ..... 226**

AValiação de termofosfatos de alumínio com a adição de escória siderúrgica

Maria Sílvia Camarão de Sousa  
Oscar Jesus Choque Fernandez  
Edilson Carvalho Brasil  
Marcondes Lima da Costa  
Érika Raiol Pinheiro  
Marlo Oliveira Costa

**DOI 10.22533/at.ed.21920160121**

**CAPÍTULO 22 ..... 236**

CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE ALTO-FORNO DE UMA SIDERÚRGICA INTEGRADA DO SUDESTE DO PARÁ

Wellington Bruno Silva de Jesus  
Alacid do Socorro Siqueira Neves  
Emanuel Negrão Macêdo  
José Antônio da Silva Souza  
Luiz Felipe Silva Pereira  
Roseane de Lima Silva  
Verônica Scarpini Cândido  
Antonio Lourenço da Costa Neto  
Raimunda Figueiredo da Silva Maia  
Daniel José Lima de Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.21920160122**

**CAPÍTULO 23 ..... 242**

MÉTODO EQUACIONADO PARA PREVISÃO DO TEMPO DE REMOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

Simone Silva Neves  
Filipe Mattos Gonçalves  
Júnia Soares Alexandrino  
Telma Ellen Drumond Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.21920160123**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 254**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 255**

## DETECÇÃO ESPECÍFICA DE SCHISTOSOMA MANSONI EM LCR USANDO UM BIOSSENSOR ELETROQUÍMICO DE DNA BASEADO EM NANOPARTICULAS DE OURO E MERCAPTOSILANO

Data de aceite: 08/01/2020

### Giselle Soares dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia, Universidade Federal de Pernambuco.  
Recife-PE

### César Augusto Sousa de Andrade

Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia, Universidade Federal de Pernambuco.  
Recife-PE

### Fábio Lopes de Melo

Lab. Doenças Transmissíveis, Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Recife-PE

### Maria Danielly Lima de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia, Universidade Federal de Pernambuco.  
Recife-PE

**RESUMO:** O Sistema Nervoso é o sítio ectópico mais comumente infectado pelo *Schistosoma mansoni*. Estima-se que o acometimento neurológico oscila entre 20% e 30% dos portadores de esquistossomose. Apesar dos ensaios de laboratório disponíveis, o diagnóstico da neuroesquistossomose é em grande parte presuntivo, e baseado na clínica. Assim, o emprego de metodologias diagnósticas alternativas que permitam a eficiente detecção do parasita mesmo em

baixas concentrações deverá contribuir muito para o controle desta doença. Este trabalho possui como objetivo a avaliação do processo de montagem de camadas auto-montadas de 3-mercaptopropiltrimetoxisilano (MPTS) e posterior deposição eletroquímica de nanopartículas de ouro (NPsAu) que oferecem uma boa abordagem para a imobilização da sonda de DNA modificada com tiol no desenvolvimento de um genossensor para uso na detecção de *Schistosoma mansoni* em líquido cefalorraquidiano (LCR). Utilizamos sonda de DNA imobilizada no eletrodo para ensaios de hibridização. O sinal gerado foi monitorado pelas técnicas eletroquímicas espectroscopia de impedância eletroquímica e voltametria cíclica que são ferramentas importantes para a compreensão dos processos de interação que ocorrem na interface solução/eletrodo que mostraram alterações significativas nas correntes amperométricas e na resistência à transferência de carga após a exposição ao DNA do *Schistosoma mansoni*. A partir da análise dos resultados foi possível verificar que o sistema desenvolvido manteve a capacidade de estabelecer uma imobilização estável da molécula de DNA específico para a esquistossomose. Desta forma, o sensor desenvolvido foi eficiente na detecção de *Schistosoma mansoni* presente em amostras de LCR em diferentes concentrações com um

limite de detecção de 0,6 pg.µL<sup>-1</sup>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Neuroesquistossomose; genossensores; nanopartículas de Ouro; Eletroquímica.

## SPECIFIC DETECTION OF *SCHISTOSOMA MANSONI* IN CSF USING AN ELECTROCHEMICAL BIOSENSOR OF DNA BASED ON GOLD NANOPARTICLES AND MERCAPTOSILANE

**ABSTRACT:** The Nervous System is the ectopic site most commonly infected with *Schistosoma mansoni*. It is estimated that neurological involvement ranges from 20% to 30% of schistosomiasis patients. Although laboratory tests available, diagnosis of neuroschistosomiasis, particularly the spinal cord disorder, is largely presumed, based on clinic. Therefore, the use of alternative diagnostic methodologies that allow efficient detection of the parasite even at low concentrations should contribute much to the control of this disease [1]. The present work aims to evaluate the assembly process of self-assembled layers of 3-mercaptopropyltrimethoxysilane (MPTS) and subsequent electrochemical deposition of gold nanoparticles (NPsAu) that offer a good approach for the immobilization of the thiol-modified DNA probe in the development of a genosensor for use in the detection of *Schistosoma mansoni* in cerebrospinal fluid (CSF). We used DNA probe immobilized on the electrode for hybridization assays. The generated signal was monitored by electrochemical techniques as electrochemical impedance spectroscopy and cyclic voltammetry, which are important tools for understanding the interaction processes that occur at the solution / electrode interface that showed significant changes in amperometric currents and resistance to load transfer after exposure to *Schistosoma mansoni* DNA. From the analysis of the results it was possible to verify that the developed system maintained the ability to establish a stable immobilization of the specific DNA molecule for schistosomiasis. Thus, the developed sensor was efficient in the detection of *Schistosoma mansoni* present in CSF samples at different concentrations with a detection limit of 0.6 pg.µL<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** Neuroschistosomiasis; Genosensors; Gold Nanoparticles; Electrochemical.

## 1 | INTRODUÇÃO

Neuroesquistossomose mansônica é uma das formas de apresentação da esquistossomose e pode ser definida como uma infecção do sistema nervoso central provocado pelo helminto *Schistosoma mansoni*. Sua manifestação clínica variada, apresenta desde quadros assintomáticos até severos comprometimentos neurológicos. Quando sintomática, é um grave distúrbio no qual o prognóstico depende em grande parte do diagnóstico e tratamento precoces. Quando comparada a alta prevalência de manifestações hepato-intestinais, a manifestação neurológica da esquistossomose é considerada infrequente, no entanto, acredita-se que isto é decorrente do sub-reconhecimento desta doença (CHEN et al., 2006), portanto a sua

real prevalência é desconhecida. O comprometimento do sistema nervoso está sujeito a presença dos ovos ou dos vermes adultos nos parênquimas cerebral, medular ou no espaço subaracnóideo já que nem a casca nem o miracídio isolados levam à formação de granuloma (RASO, 1994). A presença de ovos e a resposta inflamatória desencadeada por eles é o que resulta nas lesões do tecido nervoso (MATAS, 2001). Geralmente seu diagnóstico é realizado tardiamente, frequentemente em achados de autópsia ou quando o paciente já está em fase terminal da doença. O Sistema Nervoso é o sítio ectópico mais comumente infectado pelo *Schistosoma mansoni*. Estima-se que aproximadamente 20 a 30% dos portadores da esquistossomose mansônica têm comprometimento do sistema nervoso central (MATAS, 2001; ANDRADE FILHO, 2015).

Apesar dos ensaios de laboratório disponíveis, o diagnóstico da neuroesquistossomose, particularmente do distúrbio da medula espinal, é em grande parte presuntivo, e com base na clínica. O diagnóstico definitivo é obtido pelo estudo histopatológico através da biópsia (SANTOS et al., 2001). Outros exames também podem auxiliar no diagnóstico como, por exemplo, o exame do líquido cefalorraquidiano (BRASIL, 2006).

Em adição, para o diagnóstico da esquistossomose em geral, o método mais utilizado é o exame parasitológico de fezes pela técnica de Kato-Katz (KATZ, 1974). Apesar de se mostrar pouco eficiente em pacientes que eliminam menos de 100 ovos/g de fezes (KAMMANAMURA et al., 2001). Os testes sorológicos na pesquisa de anticorpos anti-antígeno de *Schistosoma*, além de necessitar de especificidade e de padronização, também não está diretamente relacionada à neuroesquistossomose, sendo assim, limitam-se a estudos epidemiológicos, mostrando apenas o contato prévio com o parasito e não a infecção realmente ativa (RABELLO et al., 2008). Sendo assim, o emprego de metodologias diagnósticas alternativas que permitam estabelecer índices de prevalência mais próximos da realidade poderá contribuir muito para o controle desta doença.

Neste sentido, a determinação eletroquímica tem atraído bastante atenção, pois os métodos eletroquímicos têm as vantagens de baixo custo, alta sensibilidade e ser de fácil manuseio (BUSO et al., 200). Os genossensores são dispositivos eletroanalíticos que incorporam o material genético imobilizado na superfície de um transdutor, como elemento de reconhecimento, convertendo informações de interação genética em sinais analíticos mensuráveis (EGGING, 2002). Desta forma, os genossensores eletroquímicos convertem sinais de interação entre bases nitrogenadas específicas em sinais elétricos. Logo, apresentam-se como alternativa aos métodos baseados em PCR que apesar de apresentarem alta sensibilidade e especificidade na detecção de DNA parasitário, a sua utilização em estudos epidemiológicos até agora tem sido limitada, uma vez que o isolamento de DNA e subsequente amplificação utilizando este método são conhecidos por serem oneroso e necessitar de mão de obra especializada para o seu manuseio (TEM HOVE, 2008).

Os recentes avanços em biossensores baseados na hibridização de ácidos nucleicos têm levado ao desenvolvimento da tecnologia em genossensores para as análises da sequência de DNA (ERDEN et al., 2000). Especificamente, os biossensores baseados em hibridização eletroquímica, demonstram grande promessa para a identificação de patógenos, detecção de mutação, e determinação de sequência genômica (KARA et al., 2004). As propriedades das nanopartículas têm atraído muita atenção em particular as nanopartículas de ouro (NPsAu) que possuem estabilidade química, além de melhorar a sua biocompatibilidade e também as propriedades ópticas, magnéticas e catalíticas da superfície do eletrodo (WU, 2008). Sendo assim o objetivo deste trabalho foi a avaliação do processo de montagem de camadas auto-montadas de 3-mercaptopropiltrimetoxisilano (MPTS) e posterior deposição eletroquímica de nanopartículas de ouro que oferecem uma boa abordagem para a imobilização da sonda de DNA modificada com tiol no desenvolvimento de um genossensor para uso na detecção de *Schistosoma mansoni* em líquido cefalorraquidiano (LCR).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Materiais

Amostras de *Schistosoma* foram fornecidas pelo Laboratório de Parasitologia do Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães (Recife, Brasil). Todas as amostras foram previamente caracterizadas utilizando RT-qPCR. 3- Mercaptopropiltrimetoxisilano (MPTS), Ouro (III), cloreto hidratado ( $\text{HAuCl}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ), albumina de soro bovino (BSA), foram adquiridos da Sigma Chemical (St. Louis, MO, EUA). Ferro e ferricianeto de potássio foram obtidos da VETEC (Brasil). Todos outros produtos químicos utilizados neste trabalho foram de qualidade de grau de reagente, adquirido a partir de Sigma-Aldrich, e utilizados tal como recebidos sem purificação adicional. A água foi purificada com um sistema de purificação Millipore Milli-Q.

### 2.2 Deposição eletroquímica das Nanopartículas de ouro.

Uma solução de 50 mM de MPTS foi preparada misturando 3-MPTS diluído em água deionizada em uma proporção de 5: 1000 (v:v) e 600  $\mu\text{L}$  de HCl a 0,1 M, a mistura foi então agitada por sonicação pelo tempo de 9 minutos, seguida de agitação magnética por mais 45 minutos. Após a preparação da solução, 4  $\mu\text{L}$  foram dispersos na superfície do eletrodo de trabalho. As nanopartículas de ouro foram diretamente depositadas no eletrodo de trabalho previamente modificado com MPTS. Uma faixa de potencial de -0,2 a 1,3 V foi aplicada no eletrodo que foi ciclado 30 vezes a uma velocidade de varredura de 50  $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ . O eletrodo estava imerso em uma solução para 1mM de  $\text{HAuCl}_4$  contendo 0,5M de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

### 2.3 Modificação do eletrodo

O processo de deposição eletroquímica das nanopartículas de ouro foi iniciado

através da ligação com os grupos carboxílicos presentes na superfície do eletrodo de trabalho formando o sistema MPTS-NPsAu, posteriormente a sequência nucleotídica foi imobilizada na superfície das NPsAu. O DNA alvo foi diluído em solução tampão PBS 10 mM. Subseqüentemente, aqueceu-se durante 3 min a 40°C antes dos experimentos para que ocorresse a desnaturação das fitas duplas de DNA facilitando assim os processos de hibridização. A hibridização foi realizada por técnica de revestimento usando 2µL do DNA alvo obtido a partir de DNA alvo em diferentes concentrações. O BSA foi usado em todos os experimentos para bloquear as interações não específicas. A representação esquemática deste processo pode ser observada na figura 1.

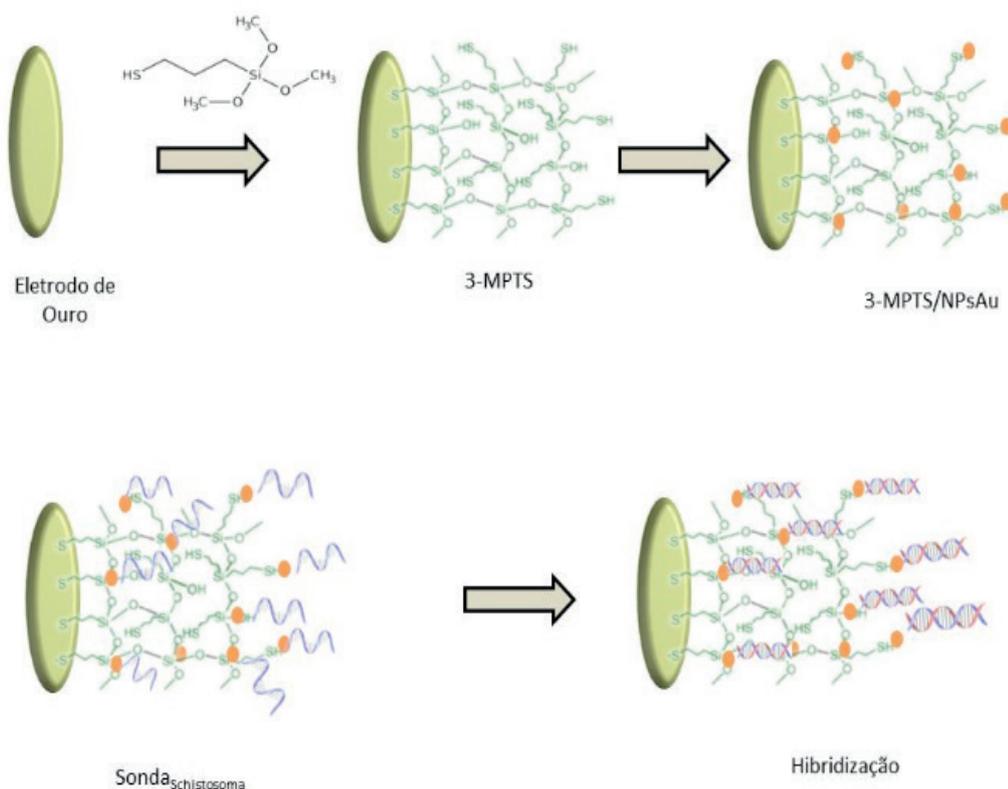


Figura 1: Representação esquemática do processo de montagem da plataforma sensora.

## 2.4 Medidas Eletroquímicas

As análises eletroquímicas foram realizadas num PGSTAT 128N potenciostato / galvanostato (Autolab, Holanda) em uma célula eletroquímica de três eletrodos na presença de uma solução de 10 mM de  $K_4[Fe(CN)_6]^{4-}/K_3[Fe(CN)_6]^{3-}$  (1:1) usado como uma sonda redox. A superfície do eletrodo de ouro foi usada como eletrodo de trabalho. Eletrodo de fio de platina e eletrodo de Ag/AgCl (solução saturada de KCl) foram usados como eletrodos auxiliares e de referência, respectivamente (Figura 1). Os experimentos de EIE foram realizados a uma frequência entre 100 mHz e 100 kHz, com uma faixa de potencial de 10 mV aplicado. As análises de VC foram realizadas em uma faixa de potenciais entre 0,7 V e -0.2V a uma velocidade de varredura de 50 mVs<sup>-1</sup>. Todas as medidas eletroquímicas foram realizadas em triplicata utilizando três amostras diferentes (n = 3).

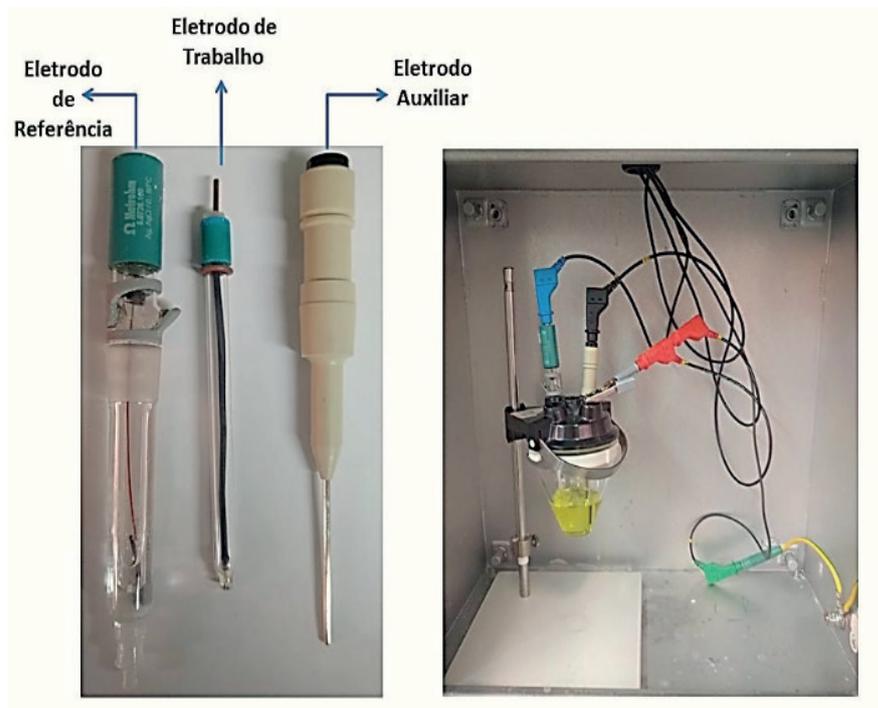


Figura 2: eletrodos de referência, trabalho e auxiliar e célula eletroquímica convencional de três eletrodos.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de métodos eletroquímicos para obtenção de nanopartículas tem se mostrado vantajoso por: aumentar a condutividade do eletrodo, facilitar a transferência de elétrons além de melhorar a sensibilidade analítica e seletividade (KIM et al., 2008).

A Figura 3a mostra os diagramas de Nyquist referente às etapas de montagem do genossensor onde podemos observar que antes da adição da camada de 3-MPTS no eletrodo de trabalho a resposta impedimétrica foi mínima, quase que linear. Depois da modificação do eletrodo com o MPTS houve um aumento da impedância em resposta à formação da camada de MPTS na superfície do eletrodo. Esta resposta se dá, pois o MPTS age dificultando a transferência de elétrons entre a superfície do ouro e a solução redox. O grupamento tiol expostos pelo MPTS é importante para a posterior fixação das nanopartículas de ouro (NpsAu) via eletrodeposição. Seguida da eletrodeposição das AuNPs podemos observar um decréscimo nos diâmetros do semicírculo de cole-cole. Este comportamento indica que as AuNPs foram eficientemente ancoradas pelo grupamento tiol expostos pelo MPTS levando ao aumento da área de superfície eletroativa do eletrodo. Com a imobilização da sonda de DNA tiolada, ocorreu um novo aumento da resposta impedimétrica, em decorrência à repulsão eletrostática entre o par redox e a sonda de DNA na superfície do eletrodo. Por fim, após adição de amostra com DNA complementar, novo aumento foi observado indicando a ocorrência do processo de hibridação.

Todas as etapas de construção do genossensor foram também caracterizadas por voltametria cíclica. Na análise dos voltamogramas cíclicos foi observado que após

a modificação gradativa do eletrodo houve uma diminuição na resposta voltamétrica do sistema, resultando numa diminuição dos picos catódicos e anódicos da sonda redox (Figura 3b). Em adição, após o processo de hibridação a curva voltamétrica demonstrou um comportamento sigmoidal característico de processo quase-reversível.

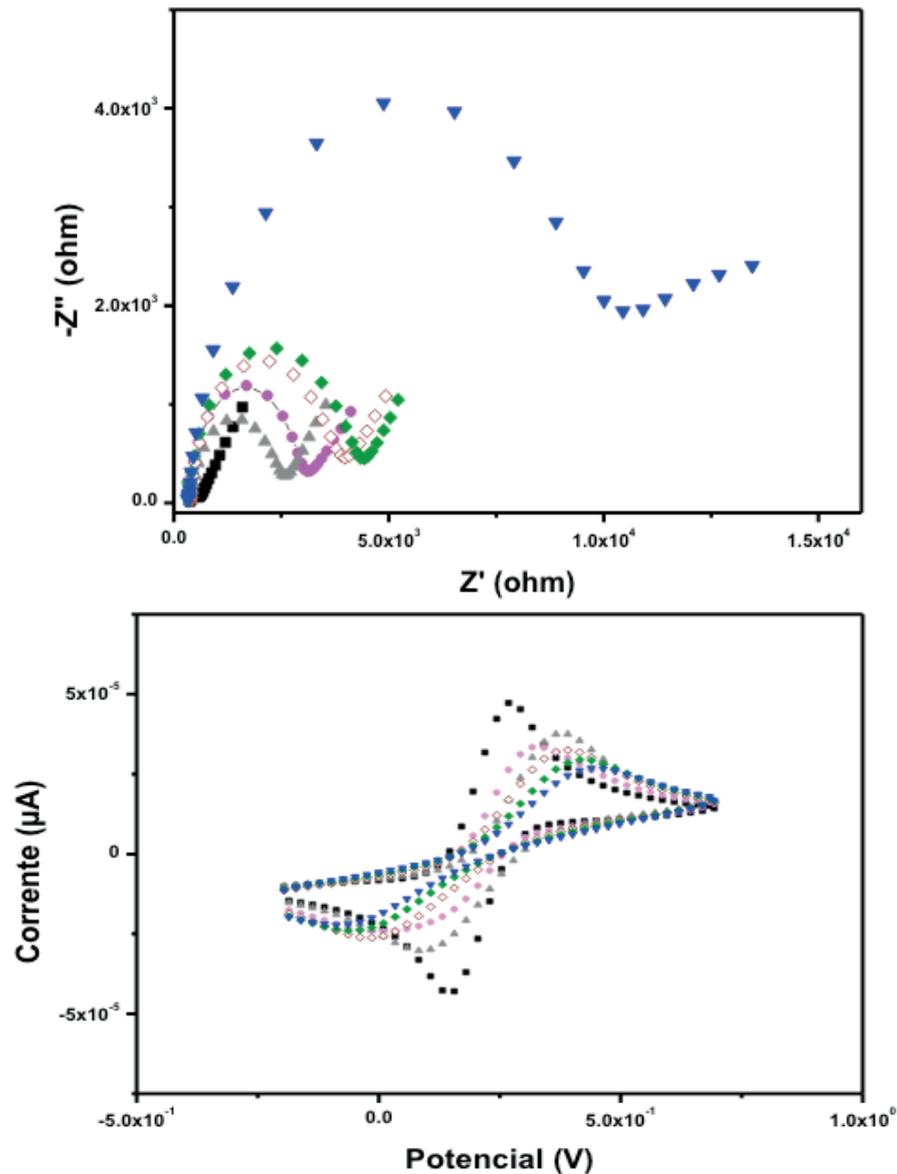


Figura 3: Diagramas de Nyquist (a) e Voltamogramas Cíclicos (b) das etapas de montagem da plataforma sensora: Limpo (■); 3-mpts (●); 3-mpts\_NPsAu (▲); 3-mpts\_NPsAu\_SondaSchistosoma (◇); 3-mpts\_NPsAu\_Sonda<sub>Schistosoma</sub>\_BSA (◆); 3-mpts\_NPsAu\_Sonda<sub>Schistosoma</sub>\_BSA\_Genoma (▼).

O diâmetro do semicírculo no diagrama de Nyquist representa a resistência à transferência de carga ( $R_{ct}$ ), que controla a cinética de transferência eletrônica do processo redox na superfície do eletrodo (WANG et al., 2011; KANG et al., 2009). A avaliação da variação do RCT ( $\Delta RCT$ ) permite avaliar o desempenho do genossensor. O  $\Delta RCT$  foi calculado de acordo com a equação abaixo:

$$\Delta RCT(\%) = \left( \frac{R_{CT(\text{reconhecimento})} - R_{CT(\text{sensor})}}{R_{CT(\text{sensor})}} \right) \times 100$$

Sendo o  $R_{CT(\text{reconhecimento})}$  o valor referente a resistência do sistema após o processo de biorreconhecimento e o  $R_{CT(\text{sensor})}$  referente à camada sensora.

Amostras contendo DNA de *Schistosoma mansoni* em diferentes concentrações foram incubadas no sensor desenvolvido, visando assim analisar sua sensibilidade. A Figura 4 mostra o comportamento do sistema, Pode-se observar que o  $\Delta R_{CT}$  aumenta linearmente com a concentração do analito, indicando que as moléculas de DNA alvo interagiram com a sonda *Schistosoma* imobilizada sobre a superfície do eletrodo.

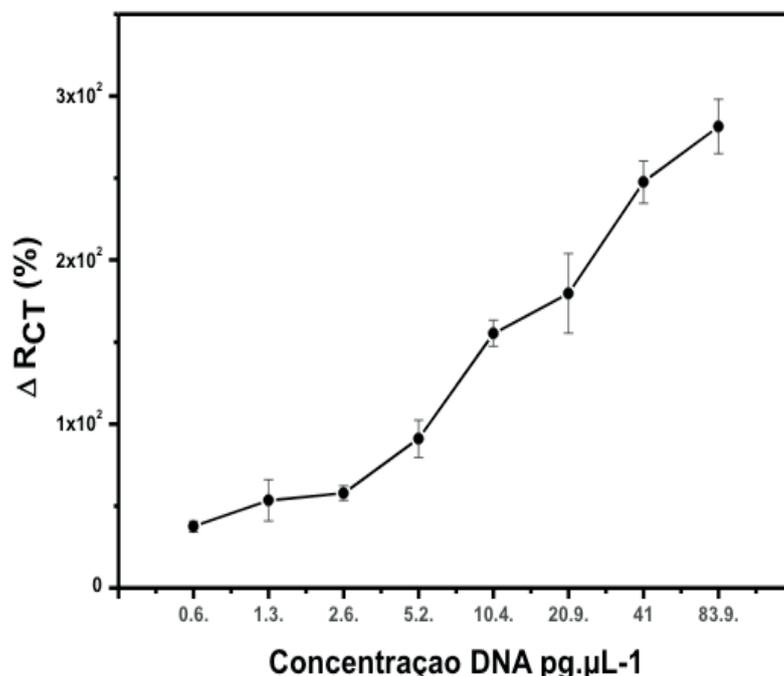


Figura 4: avaliação do RCT frente a diferentes concentrações de DNA genômico de *S. mansoni*.

A tabela abaixo traz um comparativo entre os dados de RCT de amostras de DNA<sub>schistosoma</sub> purificado e amostras de LCR de pacientes com neuroesquistossomose, mostrando a eficiência do genossensor independente da prévia purificação da amostra.

Modificação do eletrodo	Sequência genômica alvo (pg.μL-1)	$R_{CT}/k\Omega$	$Q/\mu F$	n*
Eletrodo de ouro limpo	-	0.16	6.66	0.51
MPTS-NPsAu_DNA <sub>sondaSchistosoma</sub>	-	3.84	2.08	0.86
Sistema sensor - DNA alvo	0.6	5.37	3.06	0.83
	1.3	5.85	3.06	0.83
	2.6	6.18	1.08	0.86
	5.2	7.64	1.23	0.86
	10.4	9.59	1.74	0.86
	20.9	11.40	1.63	0.87
	41.0	13.70	1.51	0.88
	83.9	15.10	1.44	0.89
Controle negativo	-	4.06	0.94	0.91

	60.0	11.3	2.78	0.85
Sistema sensor – LCR				
	47.0	8.57	2.93	0.79
	34.0	6.11	1.92	0.85
	30.0	5.39	2.04	0.83
	25.0	4.50	3.03	0.82

Tabela 1: Variação do  $R_{CT}$  em função da concentração genômica.

\* Valores dos elementos do circuito equivalente a partir dos resultados de impedância equipados.

## 4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos podemos concluir que o sistema desenvolvido manteve a capacidade de estabelecer uma imobilização estável da sonda específica para a o *S. mansoni*, sendo assim a plataforma sensora obtida mostrou-se eficiente na detecção do genoma do *Schistosoma* frente a diferentes concentrações do DNA, com um limite de detecção de 0,6 pg.µL<sup>-1</sup>. O sensor também foi eficiente na detecção de *S. mansoni* no LCR de pacientes com neuroesquistossomose sem prévia purificação. Desta forma, o genossensor desenvolvido mostra-se como uma ferramenta importante para a construção de um método diagnóstico mais sensível, rápido e com baixo para a manifestação neurológica da esquistossomose.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE FILHO, A. S., QUEIROZ, A. C., REIS, M. G., AMARAL, R. M., BRITO, R.M. **Neuroesquistossomose**. Rev. Bras. Neuro. Psiqu. 2015 Set./Dez;19(Ed. Especial):165-209
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. **Guia de vigilância epidemiológica e controle da mielorradiculopatia esquistossomótica**. Brasília (DF); 2006.
- BUSO, A., BALBO, L., GIOMO, M., FARNIA, G., SANDONA, G. **Electrochemical removal of tannins from aqueous solutions**. Ind. Eng. Chem. 2000. (39): 494–499.
- CHEN, A. W. Y., ALAM, M. H., WILLIAMSON, J. M. L., BRAWN, L. A. **An unusually late presentation of neuroschistosomiasis**. J Infect. 2006. 53, 155–158.
- EGGINS, B. R. **Chemical sensors and biosensors**. New York: Wiley, 2002.
- KANG, X., WANG, J., WU, H., AKSAY, I. A., LIU, J., LIN, Y. **Glucose oxidase-graphene-chitosan modified electrode for direct electrochemistry and glucose sensing**. Biosens. Bioelectron. 2009, 25, 901.
- KARA, P., MERIC, B., ZEYTINOGLU, A., OZSOZ, M. **Electrochemical DNA biosensor for the detection and discrimination of herpes simplex type I and type II viroses from PCR amplified real samples**. Anal Chim Acta. 2004 (518): 69-76.
- KATZ, N., Chaves, A., Pellegrino, J. **A simple device for quantitative stool thick-smear technique in Schistosomiasis mansoni**. Rev. Inst. Med. Trop. 1972. 14, 397-400.

KIM, G.Y., SHIM, J., KANG, M.S., MOON, S.H. **Optimized coverage of gold nanoparticles at tyrosinase electrode for measurement of a pesticide in various water samples.** *J. Hazard. Mater.* 2008, 156, 141.

MATAS, S. L. A. **Neuroesquistossomose.** *Rev. Neurociências.* 2001. 9(1): 27-31

RABELLO, A., et al. **Diagnóstico parasitológico, imunológico e molecular da Esquistossomose mansoni.** In: CARVALHO, OS., COELHO, PMZ., and LENZI, HL., orgs. *Schistosoma mansoni e esquistossomose: uma visão multidisciplinar* [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2008, pp. 895-925.

RASO, P. **Esquistossomose mansônica.** In: Filho GB, Pittella JEH, Pereira FEL, Bambirra EA, Barbosa AJA, 5 ed. *Bogliolo Patologia.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1994. p. 1124-45

SANTOS, E.C., CAMPOS, G.B., DINIZ, A.C. **Clinical profile and criteria for the diagnosis of schistosomal myeloradiculopathy.** *Arq Neuropsiquiatric.* 2001. 59(3-B):772-7.

TEN HOVE, R. J., VAN LIESHOUT, L., BRIENEN, E. A., PEREZ, M. A, VERWEIJ, J.J. **Real-time polymerase chain reaction for detection of *Isospora belli* in stool samples.** *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2008; 61(3):280–283.

WANG, K., LIU, Q., DAI, L., YAN, J., JU, C., QIU, B., WU, X. **A highly sensitive and rapid organophosphate biosensor based on enhancement of CdS-decorated graphene nanocomposite.** *Anal. Chim. Acta* 2011, 695, 84.

WU, W., HE, Q., JIANG, C. **Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies,** *Nanoscale Res. Lett.* 3 2008. 397–415.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Henrique Ajuz Holzmann:** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumina-zircônia 154, 156

Aptasensor 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 87, 88, 91, 92, 93

Área específica 108, 115, 116, 117, 142, 143

### B

Biogás 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35

Biomateriais 74, 75, 209

### C

CdTe/CdSe 161, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170

Compósito 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Conversão 108, 110, 112, 115, 116, 118

### E

Eletrofiação 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 83, 119, 122, 123, 124, 125, 126, 131

Eletroquímica 52, 53, 55, 57, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87, 88, 89, 91, 92, 189

Engenharia tecidual 74

Espaçamento de fibra 1

### F

Fase Anatase 133, 135, 136, 140, 141, 142, 143

Fator de Qualidade 146, 147, 151, 152

Fibra de Juta 10, 12, 22

Fibra de vidro 10, 12, 13, 20, 21

Fibras de carbono 36, 37, 38, 40, 49

Fibras de sisal 1, 2, 3, 7, 14

Fibras naturais 1, 2, 10, 11, 12, 13, 21

Filtro 23, 28, 33, 97

Fosfato metálico 133

Fotocatálise 133, 134, 135, 142, 144

### G

Gelatina 108, 110, 111

Genossensores 64, 65, 66

### H

H<sub>2</sub>S 23, 24, 25, 28, 29, 32, 33, 34

Híbrido 10, 13, 21

## I

Indutores Internos 146, 151

## L

Laminados 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21

LaNiO<sub>3</sub> 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131

## M

Meniscos 73, 74, 75, 80, 81, 83

Microdomínios 36, 38, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49

## N

Nanocompósito 96, 99, 101, 104, 105

Nanocristais 162

Nanopartículas de Ouro 63, 66, 68

Nanotubo de carbono 51, 87

Neuroesquistossomose 63, 64, 65, 70, 71, 72

Núcleo/casca 162

## O

Ocratoxina A 51, 52, 87, 88

Óxido de zinco 51, 52, 54, 87, 89, 90, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 205, 206

## P

Pechini 23, 24, 27, 34, 108, 109, 110, 111, 118

Perovskita 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 120

Piche mesofásico 36, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49

Poli(ácido láctico) 96, 97

Propriedades mecânicas 1, 2, 5, 10, 12, 13, 21, 36, 37, 38, 49, 75, 83, 97, 98, 104, 106, 154, 155, 156, 158, 159, 209

## R

Rádio Frequência 146, 147

## S

Síntese coloidal 162

Sol-Gel 122, 132, 133, 134, 136, 144

## T

Teoria mesoscópica do contínuo 36, 39

## U

Umidade 12, 14, 23, 24, 25, 27, 28, 31, 32, 33, 52, 77, 97, 123, 137, 230, 239, 240, 241

