

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^a 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^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a 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^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a 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
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

CAPÍTULO 1	1
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	
DOI 10.22533/at.ed.2192016011	
CAPÍTULO 2	10
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	
DOI 10.22533/at.ed.2192016012	
CAPÍTULO 3	23
CARACTERIZAÇÃO DE NANOFILTRO REDUTOR DE SULFETO DE HIDROGÊNIO E UMIDADE DO BIOGÁS	
Mateus Sousa Pinheiro Gabrielle Dias Coelho Maria del Pilar Hidalgo Falla	
DOI 10.22533/at.ed.2192016013	
CAPÍTULO 4	36
DESCRIÇÃO TERMODINÂMICA DE MICRODOMÍNIOS DENTRO DE PICHE MESOFÁSICO PRECURSOR PARA FIBRAS DE CARBONO	
Caio Cesar Ferreira Florindo Adalberto Bono Maurizio Sacchi Bassi	
DOI 10.22533/at.ed.2192016014	
CAPÍTULO 5	51
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	
DOI 10.22533/at.ed.2192016015	

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 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

NANOBIOSENSOR ELETROQUIMICO BASEADO EM APTAMERO PARA DETECÇÃO DE OCRATOXINA A EM CAFÉ TORRADO

Data de aceite: 08/01/2020

Maurilia Palmeira da Costa

Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901 Recife, PE, Brazil.

Itala Gabriela Tavares Lima

Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901 Recife, PE, Brazil.

Idjane Silva de Oliveira

Centro Acadêmico de Vitoria, Universidade Federal de Pernambuco, 55608-680, Vitória de Santo Antão, PE, Brazil.

Cesar Augusto Souza de Andrade

Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901 Recife, PE, Brazil.

Maria Danielly Lima de Oliveira

Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901 Recife, PE, Brazil.

RESUMO: Neste trabalho, desenvolvemos um aptasensor eletroquímico para a detecção de ocratoxina A (OTA) em amostras de café moído e torrado. Nanotubos de carbono (CNT) mostram excelente empregabilidade devido à sua biocompatibilidade e baixo custo ao desenvolvimento de plataformas

eletroquímicas. As nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) têm sido amplamente utilizadas devido às suas propriedades físico-químicas, alta capacidade oxidativa, baixo custo, alta disponibilidade e baixa toxicidade. O biossensor proposto consiste em uma camada de cisteína auto-montada que se liga covalentemente a nanotubos de carbono funcionalizados com ácido carboxílico e subsequentemente ZnO e aptâmeros. Como resultado, foram encontrados um limite de detecção reduzido (LOD) de 0,5 pg mL⁻¹ e um intervalo linear de 1,0 pg mL⁻¹ a 100 pg mL⁻¹. O bom desempenho analítico do biossensor fornece um instrumento de montagem simples que pode ser usado para monitorar o OTA.

PALAVRAS-CHAVE: aptasensor; ocratoxina A; nanotubo de carbono; óxido de zinco.

APTAMER-BASED ELECTROCHEMICAL NANOBIOSENSOR FOR DETECTING OCHRATOXIN A IN ROASTED COFFEE

ABSTRACT: In this work, we developed an electrochemical aptasensor for detecting ochratoxin A (OTA) in ground and roasted coffee samples. Carbon nanotubes (CNT) show excellent employability due to their biocompatibility and low cost to the development of electrochemistry platforms. Zinc oxide nanoparticles (ZnO) have been extensively used due to their physicochemical properties, high

oxidative capacity, low cost, high availability and low toxicity. The proposed biosensor consists of a self-assembled cysteine layer covalently bonding to carboxylic acid-functionalized carbon nanotubes and subsequently ZnO and aptamers. As a result, a reduced detection limit (LOD) of 0.5 pg mL⁻¹ and a linear range of 1.0 pg mL⁻¹ to 100 pg mL⁻¹ were found. The good analytical performance of the biosensor provides a simple assembly instrument that can be used for monitoring of the OTA.

KEYWORDS: aptasensor; ochratoxin A; carbon nanotube; zinc oxide.

A Ocratoxina A (OTA) é uma micotoxina produzida por fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*, representa uma das micotoxinas mais prevalentes na contaminação dos produtos agrícolas, causando riscos à saúde (Nemeab, et al 2017; Al-Anati et al, 2006). Segundo a Organização Internacional do Café, diversos fatores como transporte, umidade e temperatura inadequados são favoráveis ao crescimento e proliferação de fungos da ocratoxina A (OTA) (Nemeab, et al 2017). Segundo a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC), OTA é classificada no grupo 2B que indica uma possível ação carcinogênica para o ser humano, efeitos mutagênicos, atividades teratogênicas e imunossupressoras (K'oszegi et al, 2016). OTA foi detectada em produtos essenciais para o consumo humano: como uva, café, aveia, trigo, milho, arroz, cevada, cacau, entre outros (K'oszegi et al, 2016; Benites et al, 2017; Lee et al, 2015; Cappozzo et al, 2017). A União Européia estabeleceu uma ingestão semanal tolerável de 120 ng de OTA por kg de peso corporal (Regulamento da Comissão no 594/2012) (Dzuman et al, 2015). A presença de OTA em altos níveis no café tem sido observada em todo o mundo (K'oszegi et al, 2016; Dzuman et al, 2015; Jørgensen et al, 2005). Assim, é importante desenvolver novos métodos de detecção cada vez mais precisos, rápidos e com menor custo, visando reduzir os impactos socioeconômicos que um alimento mundial, como o café, causa se sua produção for afetada. Os aptâmeros são uma excelente alternativa para o desenvolvimento de plataformas de sensores, pois apresentam maior estabilidade em comparação aos anticorpos (O'Sullivan, 2002). A modificação de uma superfície eletroquímica é essencial para a construção de um biossensor. A associação de moléculas e nanoestruturas tem sido comumente usada para imobilização de biomoléculas nos sensores eletroquímicos. Moléculas de cisteína (Cys) associadas a nanopartículas e nanotubos de carbono são importantes para garantir a eficiência dos processos de bio-reconhecimento. Nanotubos de carbono (NTCs) são amplamente utilizados no desenvolvimento de sensores eletroquímicos de alto desempenho devido à sua alta estabilidade química, condutividade elétrica e resistência mecânica, além de rigidez extremamente alta (Asuri et al, 2007). O óxido de zinco (ZnO) corresponde a uma nanopartícula de óxido de metal com estabilidade química e um grau significativo de seletividade para substâncias tóxicas (Patel et al, 2016). O ZnO é um tipo de semicondutor (3,37 eV) com propriedades elétricas significativas (60 meV) (García-Moraleja et al, 2015). Os biossensores representam uma tendência futura na detecção de micotoxinas em uma ampla variedade de matrizes

alimentares (Puiu et al, 2014), devido ao seu potencial de incorporação em dispositivos portáteis. Para a detecção de OTA, a eletroquímica (Prieto-Simon et al; Heurich et al, 2011; Vidal et al, 2012; Yang et al, 2015; Bonel et al, 2010; Alonso-Lomillo et al, 2010), é considerada uma das técnicas mais apropriadas para aplicações, sendo considerada a mais abundante, capazes de maiores sensibilidades de detecção de baixo custo e, principalmente, viabilizando o uso de eletrodos quimicamente modificados (Pereira et al, 2002). Nossa estratégia para detectar OTA é baseada em voltametria cíclica (VC) e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE). O sistema eletroquímico proposto é de construção rápida e se destaca como um biossensor de monitoramento altamente sensível para OTA. O biodispositivo pode ser usado para monitorar a qualidade do café e ajudar os agricultores a aumentar o rendimento dos métodos atuais de armazenamento.

1 | MATERIAIS E MÉTODOS

1.1 Materiais

Ferrocianeto de potássio e ferricianeto de potássio K₄ [Fe (CN) 6] / K₃ [Fe (CN) 6] foram obtidos da VETEC (Brasil). 1-etil-3-(3-dimetilaminopropil) carbodiimida (EDC), N-hidroxissuccinimida (NHS), CNT de paredes múltiplas, cisteína, aflatoxina B₁, ocratoxina A (OTA), (3-aminopropil) triethoxysilane (APTES), tolueno anidro, ácido nítrico e hidróxido de tetrametilamônio (TMAOH) foram adquiridos na Sigma-Aldrich (St. Louis, EUA). A Indústria Química Sakai fornece pó ultrafino de ZnO. Os aptâmeros OTA (OTAapt) foram adquiridos na Integrated DNA Technologies (EUA). A sequência do aptâmero foi R-5'-GAT CGG GTG TGG GTG GCG TAA AGG GAG CAT CGG ACA-3'.

1.2 Medições eletroquímicas

As medições de EIE e VC foram realizadas em um potenciostato / galvanostato PGSTAT 128N (Autolab, Eco Chemie, Países Baixos). As medições de VC foram realizadas a uma taxa de varredura de 50 mV.s⁻¹ com uma faixa de varredura potencial de -0,2 a 0,7 V. As medições de EIE foram realizadas na faixa de frequência de 100 mHz a 100 kHz. A amplitude do potencial de onda senoidal aplicada foi de 10 mV em relação ao eletrodo de referência Ag / AgCl. Os dados eletroquímicos e o ajuste foram obtidos usando o software NOVA (Autolab, Eco Chemie, Holanda). O eletrodo de ouro modificado foi utilizado como eletrodo de trabalho, fio de platina e Ag / AgCl saturado com KCl foram utilizados como contra eletrodo e referência. As medições eletroquímicas foram realizadas na solução 10 mM de K₄ [Fe (CN) 6] / K₃ [Fe (CN) 6] (1: 1) em solução salina tamponada com fosfato (PBS, pH 7,4).

1.3 2.3 Modificação de 4 ZnONPs

O APTES foi utilizado para a modificação do óxido de zinco, como segue: 1,5 g de óxido de zinco foram dispersos em 50 mL de água destilada com pH ajustado para 6,5 usando solução de HNO₃ 2M. A suspensão foi agitada durante 1 h e depois foi adicionado 1 mL de APTES. A solução obtida foi agitada por mais de 24 h, depois o excesso de APTES foi removido por filtração e lavagem com álcool e acetona. Finalmente, o pó foi seco a 60 ° C sob vácuo (Grasset et al, 2003).

1.4 Modificação da superfície do eletrodo de ouro

Inicialmente, o eletrodo de ouro nu (BGE) foi polido com 0,05 µm de pasta α-Al₂O₃, lavado por enxágue e banho ultra-sônico em água ultrapura por 15 min. O processo de modificação do eletrodo modificado Cys_NTC_ZnO_Apt é mostrado na Fig. 1.

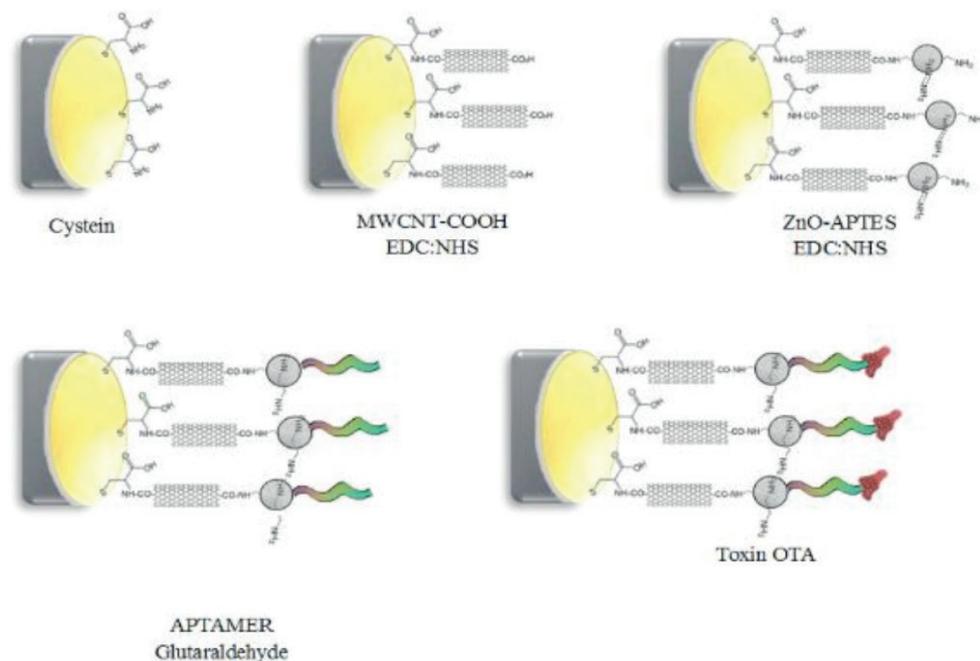


Figura1. Representação esquemática da montagem do Nanobiosensor.

Primeiro, uma solução de 15 mM de Cys (3 µL) foi descartada sobre o eletrodo com tempo de incubação de 15 minutos a 25 ° C. O sistema Cys-CNT foi obtido por queda de 2 µL de uma solução aquosa contendo carboxil-CNT diluído em 1: 1 de um EDC (0,4 M): NHS (0,1 M) no eletrodo modificado por cys e incubado por 30 min a 25 ° C. Posteriormente, nanopartículas aminadas com ZnO (2 uL) foram adsorvidas quimicamente por 20 min para obter o sistema Cys-NTC-ZnONPs. Posteriormente, uma mistura (3 µL) composta por EDC (0,4 M), aptâmero e NHS (0,1 M) foi adicionada à plataforma anterior durante 40 min. Finalmente, os locais não específicos foram bloqueados com 1µL de uma solução de BSA a 10% p / v incubada por 5 min. Após esse processo, o aptasensor foi testado em amostras OTA.

1.5 Detecção de OTA no café

A capacidade de biossensibilidade do eletrodo modificado Cys-CNT-ZnONPs-Apt foi avaliada por 2 μL de soluções padrão ajustadas em diferentes concentrações de OTA [1, 25, 50, 75 e 100 pg mL^{-1}]. O aptasensor foi testado contra amostras de café moído moído de 2 μL contendo OTA [1, 25, 50, 75 e 100 pg mL^{-1}]. OTA foi extraído das amostras de café com processo de metanol (Geremew et al, 2016), seguido de esclarecimento pelo processo de centrifugação. Posteriormente, o sobrenadante foi coletado e evaporado (Haskard et al, 2000).

2 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 Caracterização eletroquímica

A análise voltamétrica do processo de montagem é mostrada na Fig.2a, observamos que o sinal BGE mostra um voltamograma reversível compatível com a resposta da sonda redox. Foi observada uma diminuição na resposta amperométrica após a modificação do eletrodo para obter o aptasensor. A camada cys resulta em uma diminuição dos picos anódicos e catódicos. As moléculas cys têm grupos tiol que interagem fortemente com o ouro por quimisorção. A presença da camada Cys no eletrodo é essencial para o desenvolvimento de sensores nanoestruturados. O sistema Cys-CNTs resulta em picos mais altos de oxidação e redução do par redox com respostas semelhantes à BGE. A adição de ZnONPs no eletrodo modificado por Cys-CNTs resultou em uma diminuição na resposta amperométrica. Uma redução acentuada nos sinais de picos atuais (Fig. 2a) foi obtida após a imobilização do aptâmero na plataforma nanoestruturada Cys-CNTs-ZnONPs. A extensão da adsorção pode ser expressa em um desvio percentual relativo (RPD), $I(\%) = [(1 / I_b - 1 / I_a)] / (1 / I_b) (1)$, onde I_b e I_a correspondem ao pico de corrente anódica antes e após o processo de hibridação, respectivamente.

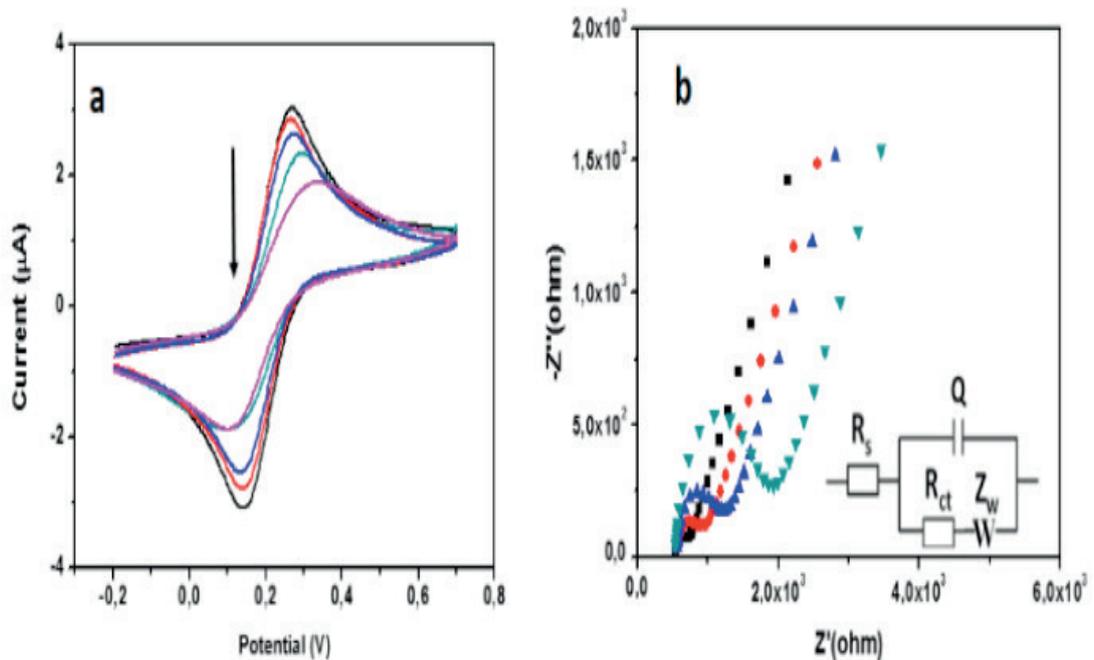


Figura 2. Voltamogramas cíclicos (a) e gráficos de Nyquist (b) para cada etapa na montagem do aptasensor. Inserção: Circuito equivalente usado para ajustar os resultados da impedância.

Resultados de RPD para eletrodo modificado Cys-CNTs-ZnONPs-Apt antes e após a reação com diferentes concentrações de OTA são mostrados na Tabela 1.

<i>Sample*</i>	OTA target [pg.µL ⁻¹]	Before (1/I _b µA)	After	ΔI (%)
Sensor system	-	0.097	-	-
Sensor system-OTA target	1	-	0.168	71.30
Sensor system-OTA target	25	-	0.170	72.36
Sensor system-OTA target	50	-	0.182	79.99
Sensor system-OTA target	75	-	0.190	89.04
Sensor system-OTA target	100	-	0.197	101.05

*Sensor system = Cys-NTCs-ZnONPs-Apt

Tabela 1. Deslocamento anódico amperométrico do aptasensor antes e após hibridação com ocratoxina A.

Valores dos circuitos equivalentes para o resultado de impedância.

Observamos uma redução dos sinais de oxidação / redução do sensor após a exposição a amostras de OTA, incluindo a separação dos picos do ânodo e do cátodo. Apesar do comportamento quase reversível observado, os resultados obtidos sugerem que a desaceleração da taxa de transferência de pares redox é principalmente operada pela quantidade de revestimento da superfície. Os dados do EIS foram ajustados com um circuito elétrico equivalente a Randles (Fig. 2b). O circuito inclui a resistência ôhmica da sonda redox (R_s), a impedância de Warburg (W) causada pela difusão de íons eletrólitos por massa na interface do eletrodo, um elemento de fase

constante (CPE) e resistência à transferência de carga (Rct). A resposta impedimétrica do sistema sensor foi avaliada com base nas plotagens de Nyquist. Observamos em cada etapa da montagem do aptasensor um aumento no diâmetro do semicírculo de Nyquist proporcional ao Rct, exceto os CNTs. A resposta impedimétrica da BGE está relacionada principalmente a processos de difusão ($R_{ct} \sim 0,077 \text{ k}\Omega$). Após a obtenção do sistema nanoestruturado Cys-NTCs-ZnONPs-Apt, foi observado um aumento na resposta impedimétrica ($R_{ct} = 0,13 \text{ k}\Omega$) devido a um efeito de camada de proteção, evitando a transferência da sonda eletroquímica. Uma camada de bloqueio adicional foi observada após o contato com amostras de OTA, diminuindo o fluxo da sonda redox.

2.2 Otimização de condições experimentais para detecção de OTA

Para avaliar a reprodutibilidade e o desvio experimental padrão (S.D.), os dados apresentados em três repetições. Observamos um aumento gradual na resistência do Rct de $0,13 \text{ k}\Omega$ (1 pg.mL^{-1}) para $0,509 \text{ k}\Omega$ (100 pg.mL^{-1}). As respostas voltamétricas e impedimétricas do aptasensor contra OTA ($1, 25, 50, 75$ e 100 pg.mL^{-1}) são mostradas na Figura 3.

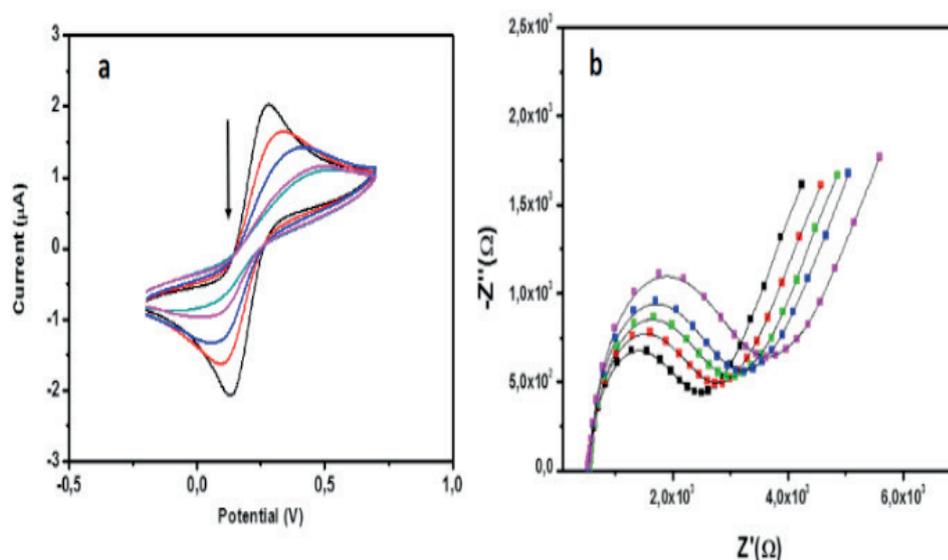


Figura 3. Voltamogramas cíclicos (a) e gráficos de Nyquist (b) do aptasensor após exposição a diferentes concentrações de OTA ($1,0, 25,0, 50,0, 75,0$ e $100,0 \text{ pg.uL}^{-1}$): (■) $1,0 \text{ pg.mL}^{-1}$; (■) $25,0 \text{ pg.mL}^{-1}$; (■) $50,0 \text{ pg.mL}^{-1}$; (■) $75,0 \text{ pg.mL}^{-1}$; (■) $100,0 \text{ pg.mL}^{-1}$.

Os pontos dispersos representam os resultados experimentais enquanto as linhas pretas sólidas correspondem às curvas de ajuste de o circuito equivalente. A análise de circuito equivalente é mostrada na Tabela 2, o Rct é o parâmetro mais sensível e, portanto, é conveniente avaliar a interação do sensor com a toxina em relação à variação relativa de Rct, definida: $\% \Delta R_{ct} = \frac{[R_{ct}]_{(B-AFB1)} - [R_{ct}]_B}{[R_{ct}]_B} \times 100$, (2) RctB e RctB-OTA correspondem à resposta do biossensor antes e depois da interação com o OTA, respectivamente. A relação entre $\Delta R_{ct}\%$ e concentração de OTA é mostrada na

Fig. 4a. A cobertura da superfície alvo (θ), associada ao preenchimento dos locais de reconhecimento, pode ser calculada por: $\theta = 1 - RB / RC$ (3), onde RB é a resistência de transferência de carga para o sistema Cys-NTCs-ZnONPs-Apt e RC é a resistência de transferência de carga obtida após o reconhecimento de diferentes concentrações de OTA. A Fig. 4b mostra um gráfico de θ em função da concentração de OTA. O valor aumenta com o aumento da concentração é encontrado em 0,70 (70%) das 100 $\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$.

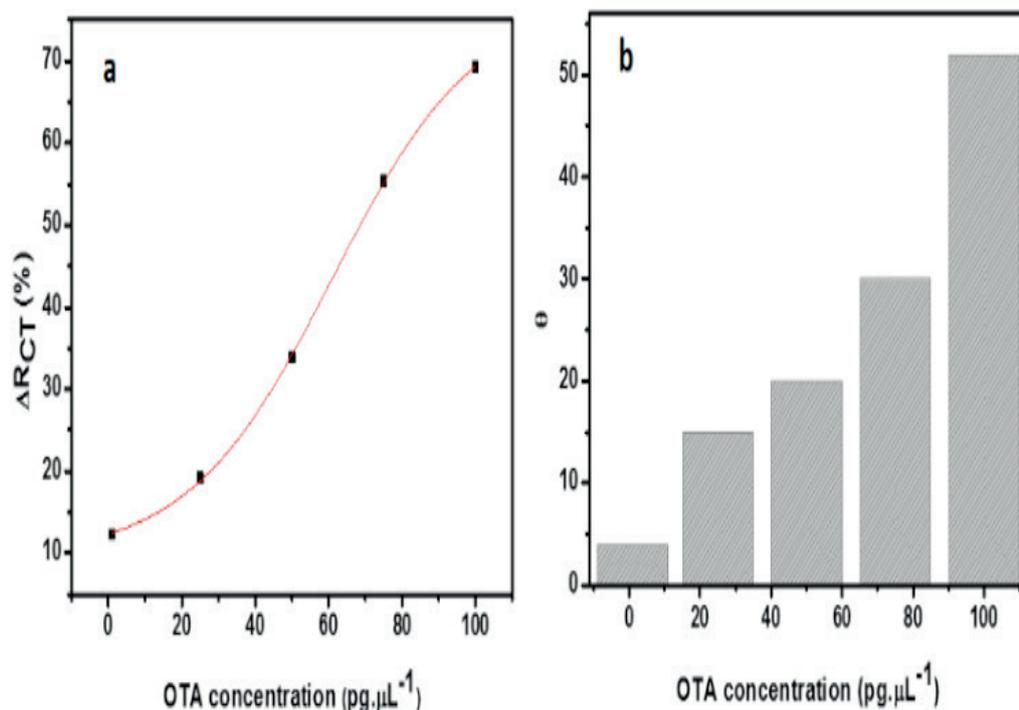


Figura 4. Transferência de carga relativa (Rct%) do aptasensor (a) e revestimento de superfície (b) para o aptasensor em relação às concentrações de OTA.

2.3 Seletividade do sensor

A seletividade foi avaliada testando o sensor em amostras de café torrado contaminadas com OTA para amostras positivas e aflatoxinas B1, B2, G1, G2 e Patulina como amostras negativas. Essas micotoxinas têm em comum propriedades cancerígenas, lesões nos órgãos e induzem supressão no sistema imunológico (K'oszegi et al,2016). Nenhuma resposta significativa foi observada após as interações das aflatoxinas B1, B2, G1, G2 e Patulina na concentração de $25 \text{ pg} \cdot \text{mL}^{-1}$ (Tabela 2). É importante notar que essas toxinas não interferem na capacidade do sistema de detectar OTA.

<u>Modified electrode</u>	OTA Coffee target [pg, μ L ⁻¹]	R _{ct} (k Ω)	Q (μ F)	N
<u>Bare gold electrode</u>	-	0.07 \pm 0.21	3.95 \pm 0.01	0.34 \pm 0.01
<u>Cys_NTC_ZnO_Apt</u>	-	0.13 \pm 0.30	4.68 \pm 0.01	0.62 \pm 0.01
Sensor system-OTA target	1	0.146 \pm 0.14	2.81 \pm 0.01	0.63 \pm 0.02
Sensor system-OTA target	25	0.155 \pm 0.15	2.85 \pm 0.02	0.78 \pm 0.02
Sensor system-OTA target	50	0.174 \pm 0.20	4.68 \pm 0.04	0.60 \pm 0.30
Sensor system-OTA target	75	0.202 \pm 0.30	6.50 \pm 0.01	0.74 \pm 0.02
Sensor system-OTA target	100	0.220 \pm 0.20	7.57 \pm 0.01	0.80 \pm 0.04
Sensor system-Coffee OTA target	1	0.420 \pm 0.40	4.81 \pm 0.02	0.67 \pm 0.02
Sensor system-Coffee OTA target	25	0.422 \pm 0.15	4.86 \pm 0.02	0.79 \pm 0.01
Sensor system-Coffee OTA target	50	0.440 \pm 0.20	5.28 \pm 0.04	0.80 \pm 0.34
Sensor system-Coffee OTA target	75	0.465 \pm 0.30	5.58 \pm 0.03	0.84 \pm 0.38
Sensor system-Coffee OTA target	100	0.509 \pm 0.52	6.51 \pm 0.01	0.90 \pm 0.04
<u>Aptasensor system-non complementary Patulin</u>	25	0.52 \pm 0.02	1.59 \pm 0.20	0.46 \pm 0.03
<u>Aptasensor system-non complementary Mix aflatoxin(B1,B2,G1,G2)</u>	25	0.28 \pm 0.42	2.96 \pm 0.25	0.42 \pm 0.05
<u>Aptasensor system-non complementary Aflatoxin B1</u>	25	0.21 \pm 0.03	2.27 \pm 0.15	0.39 \pm 0.25

Tabela 2. Valores dos elementos de circuito equivalentes dos resultados da impedância ajustada.

Sensor system = Cys_NTC_ZnO_Apt

*Valores dos elementos dos circuitos equivalente para o fitting de impedância

2.4 Detecção de OTA em amostras de café torrado

Testes foram realizados para validar a plataforma proposta para a detecção de OTA em amostras de café torrado. Segundo a UE, o limite tolerável é de 120 ng OTA por kg de peso corporal ingerido por semana (Villamizar-gallardo et al, 2017).

Os valores obtidos apresentam valores de desvio padrão (inferior a 1%), indicando a validação do sensor desenvolvido. Os resultados analíticos (Rct%) para o reconhecimento da OTA em amostras de café torrado são apresentados na Fig. 5. O sistema desenvolvido é simples, rápido e de baixo custo; os transdutores baseados no Aptamer-CNT são relativamente fáceis e rápidos de construir.

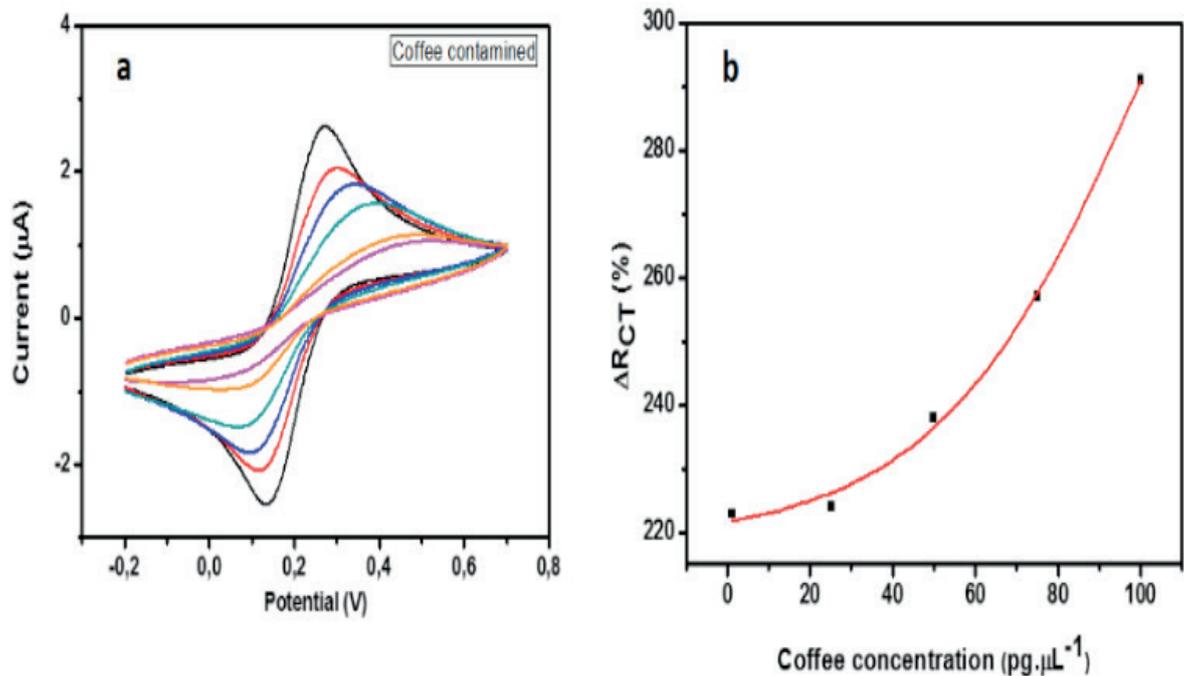


Figura 5. Avaliação eletroquímica do café. Voltametria cíclica (a): (-) aptasensor; (-) 1,0pg.mL⁻¹; (-) 25,0 pg.mL⁻¹; (-) 50,0 pg.mL⁻¹; (-) 75,0 pg.mL⁻¹; (-) 100,0 pg.mL⁻¹ e transferência de carga relativa (Rct%) em diferentes concentrações de OTA no café (b).

A estratégia impedimétrica apresentada associada aos nanotubos de carbono permitiu uma avaliação específica sem rótulo químico. Nossos resultados indicam que o ensaio aptâmico pode ser aplicado como um método analítico para detecção de OTA em amostras de café torrado.

REFERENCIAS

Al-Anati, L., Petzinger, E. **Immunotoxic activity of ochratoxin A.** *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 29 (2006) 79–90.

Asuri, P., Bale, S. S., Pangule, R. C., Shad, D. A., Kane, R. C., Dordick, J. S. **Structure, function, and stability of enzymes covalently attached to single-walled carbon nanotubes.** *Langmuir* 23 (2007) 12318-12321.

Benites, A.J., Fernandes, M., Boleto, A. R., Azevedo, S., Silva, S., Leitão, A. L. **Occurrence of ochratoxin A in roasted coffee samples commercialized in Portugal.** *Food Control*, 73 (2017) 1223-1228.

B. Prieto-Simon, M. Campas, J.L. Marty, T. Noguier, **Novel highly-performing immunosensor-based strategy for ochratoxin A detection in wine samples,** *Biosens. Bioelectron.* 23 (2008) 995–1002.

Cappozzo, J., Jackson, L., Lee, H. J., Zhou, W., Al-taher, F., Zweigenbaum, J., RYU, D. **Occurrence of Ochratoxin A in Infant Foods in the United States.** *Journal of Food Protection*, 80 (2017) 251–256.

Dzuman, Zbynek, et al. **“Multi-analyte high performance liquid chromatography coupled to high resolution tandem mass spectrometry method for control of pesticide residues, mycotoxins, and pyrrolizidine alkaloids.”** *Analytica chimica acta*863 (2015): 29-40.

Jørgensen K. **Occurrence of ochratoxin A in commodities and processed food--a review of EU occurrence data.** *Food Additives & Contaminants*, 22 (2005) 26-30.

- García-Moraleja, G., Font, G., Mañes, J., Ferrer, E. **Analysis of mycotoxins in coffee and risk assessment in Spanish adolescents and adults.** *Food and Chemical Toxicology*, 86 (2015) 225-233.
- Grasset, F., Saito, N., Li, D., Park, D., Sakaguchi, I., Ohashi, N., Duguet, E. **Surface modification of zinc oxide nanoparticles by aminopropyltriethoxysilane.** *Journal of Alloys and Compounds*, 360 (2003) 298-311.
- Geremew, T., Abate, D., Landschoot, S., Haesaert, G., Audenaert, K. **Occurrence of toxigenic fungi and ochratoxin A in Ethiopian coffee for local consumption.** *Food Control*, 69 (2016) 65-73.
- Haskard, C. A., Binnion, C., Ahokas, J. **Factors affecting the sequestration of aflatoxin by *Lactobacillus rhamnosus* strain GG.** *Chemico-Biological Interactions*, 128 (2000) 39-49.
- J.C. Vidal, L. Bonel, A. Ezquerro, P. Duato, J.R. Castillo, **An electrochemical immunosensor for ochratoxin A determination in wines based on a monoclonal antibody and paramagnetic microbeads,** *Anal. Bioanal. Chem* 403 (2012) 1585–1593.
- J. Yang, P. Gao, Y. Liu, R. Li, H. Ma, B. Du, Q. Wei, **Label-free photoelectrochemical immunosensor for sensitive detection of Ochratoxin A,** *Biosens. Bioelectron.* 64 (2015) 13–18.
- Jørgensen K. **Occurrence of ochratoxin A in commodities and processed food--a review of EU occurrence data.** *Food Additives & Contaminants*, 22 (2005) 26-30.
- Lee, H. J., Ryu, D. **Significance of Ochratoxin A in Breakfast Cereals from the United States.** *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 63 (2015) 9404–9409.
- L. Bonel, J.C. Vidal, P. Duato, J.R. Castillo, **Ochratoxin A nanostructured electrochemical immunosensors based on polyclonal antibodies and gold nanoparticles coupled to the antigen,** *Anal. Method 2* (2010) 335–34.
- Low, S. S., Loh, H. S., Boey, J. S., Khiew, P. S., Chiu, W. S., Tan, M. T. **Sensitivity enhancement of graphene/zinc oxide nanocomposite-based electrochemical impedance genosensor for single-stranded RNA detection.** *Biosensors and Bioelectronics*, 94 (2017) 365-373.
- M.A. Alonso-Lomillo, O. Dominguez-Renedo, L. Ferreira-Goncalves, M.J. Arcos-Martinez, **Sensitive enzyme-biosensor based on screen-printed electrodes for Ochratoxin A,** *Biosens. Bioelectron.* 25 (2010) 1333–1337.
- M. Puiu, C. Bala, N. Jaffrezic-Renault, **Progress in biosensor for mycotoxins assay,** *Chem. Sensor 4* (2014) 1–10.
- M. Heurich, M.K.A. Kadir, I.E. Tohill, **An electrochemical sensor based on carboxymethylated dextran modified gold surface for ochratoxin A analysis,** *Sensor Act. B* 156 (2011) 162–168.
- Nemeab, K., Mohammed, A. **Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as mitigation strategies.** *Food Control*, 78 (2017), 412-425.
- O'Sullivan, C.K. **Aptasensors – the future of biosensing?** *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 372 (2002) 44–48.
- Patel, P., Kansara, K., Senapati, V. A., Shanker, R., Dhawan, A., Kumar, A. **Cell cycle dependent cellular uptake of zinc oxide nanoparticles in human epidermal cells.** *Mutagenesis*, 31 (2016) 481-490.
- Pereira, A. C.; Santos, A. D. S. and Kubota, L. T.; **Tendências em modificação de eletrodos amperométricos para aplicações eletroanalíticas.** *Química Nova*, 25 (2002), 1012-1021.

Villamizar-gallardo, R., Cruz, J.F.O., Ortiz-Rodriguez, O.O. **Efeito fungicida de nanopartículas de prata em fungos toxigênicos em cacauero**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 12, p. 1929-1936, 2017.

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

H₂S 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

LaNiO₃ 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

