

Bases da Saúde e Engenharia Biomédica

Lais Daiene Cosmoski
Fabrício Loreni da Silva Cerutti
(Organizadores)



 **Atena**
Editora

Ano 2018

Lais Daiene Cosmoski
Fabrício Loreni da Silva Cerutti
(Organizadores)

Bases da Saúde e Engenharia Biomédica

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

B299 Bases da saúde e engenharia biomédica [recurso eletrônico] /
Organizadores Lais Daiene Cosmoski, Fabrício Loreni da Silva
Cerutti. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Bases da
Saúde e Engenharia Biomédica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-67-3

DOI 10.22533/at.ed.673183110

1. Biomedicina. 2. Ciências médicas. 3. Medicina – Filosofia.
4. Saúde. I. Cosmoski, Lais Daiene. II. Cerutti, Fabrício Loreni da
Silva. III. Série.

CDD 610

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

No campo da educação, uma nova área vem se mostrando muito atuante quando consideramos as bases da saúde, a Engenharia Biomédica desenvolve equipamentos e programas de computador que auxiliam e conferem mais segurança aos profissionais da área da saúde, no diagnóstico e tratamento de doenças.

A Coletânea Nacional “Bases da Saúde e Engenharia Biomédica” é um *e-book* composto por 33 artigos científicos, dividido em 2 volumes, que abordam assuntos atuais, como a importância dos equipamentos de proteção individual, o funcionamento de dos hospitais e a implantação de novas tecnologias, otimização de exames já utilizados como a ultrassonografia, utilização de novas tecnologias para o diagnóstico e tratamento de patologias, assim como análise de várias doenças recorrentes em nossa sociedade, vistas a partir de uma nova perspectiva.

Tendo em vista, a grande evolução no campo da saúde, a atualização e de acesso a informações de qualidade, fazem-se de suma importância, os artigos elencados neste *e-book* contribuirão para esse propósito a respeito das diversas áreas da engenharia biomédica trazendo vários trabalhos que estão sendo realizados sobre esta área de conhecimento.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Lais Daiene Cosmoski

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A IMPORTÂNCIA DO USO DOS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL PELOS PROFISSIONAIS DA SAÚDE NA UTI ADULTO	
Elisângela de Andrade Aoyama Jéssica Conceição Silva Thaina Pereira Dos Santos Rafael Assunção Gomes de Souza Elivânia Rodrigues de Souza Assunção Ludmila Rocha Lemos	
CAPÍTULO 2	5
REQUISITOS PARA IMPLANTAÇÃO DE LABORATÓRIO DE ANÁLISES CLÍNICAS EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE	
Ana Beatriz Delavia Thomasi Marcos Aurélio da Silva Vianna Filho Daniel Gomes de Moura	
CAPÍTULO 3	14
GESTÃO DE RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE: ANÁLISE DA EFETIVIDADE DO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE EM UM SETOR CLÍNICO DE UM HOSPITAL DE GRANDE PORTE	
Justino Batista Vieira Neto Victor Hugo de Freitas Morales Roger Amaral Pires Homero Castro Oliveira Yuri Cassiolato Silva Alessandra Bauab Azar	
CAPÍTULO 4	22
A TELECONSULTORIA NO ÂMBITO DA ATENÇÃO PRIMÁRIA À SAÚDE	
Franciele Guimarães de Brito Aurélia Aparecida de Araújo Rodrigues João Batista Destro Filho	
CAPÍTULO 5	30
A CONFIABILIDADE DA ULTRASSONOGRRAFIA MAMÁRIA NO RASTREIO E DIAGNOSE DO CÂNCER DE MAMA EM MULHERES ACIMA DE 70 ANOS	
Veronica de Lima Gonçalves Alessandra Crispim Rosa Adriano Oliveira Andrade Adriano Alves Pereira Selma Terezinha Milagre	
CAPÍTULO 6	37
ULTRASSOM DIAGNÓSTICO COMO TÉCNICA PARA A ESTIMATIVA NÃO INVASIVA DE TEMPERATURA VISANDO NANOTERAPIAS TÉRMICASD.J.P. de Faria	
Denyel Jefferson Prado de Faria Cristhiane Gonçalves	

Gustavo Capistrano
Andris Figueroa Bakuzis.

CAPÍTULO 7	45
ASPECTOS GERAIS DA <i>Calêndula Officinalis L.</i> E DO LASER DE BAIXA INTENSIDADE	
Vânia Thais Silva Gomes	
Raimundo Nonato Silva Gomes	
Maria Silva Gomes	
Francileine Rodrigues da Conceição	
Erick Giovanni Reis da Silva	
Larissa Vanessa Machado Viana	
CAPÍTULO 8	55
LECTINA LIGANTE DE MANOSE (MBL): ASPECTOS BIOQUÍMICOS E FUNCIONAIS	
Carmem Gabriela Gomes de Figueiredo	
Luciane Alves Coutinho	
Marizilda Barbosa da Silva	
Maria Soraya Pereira Franco Adriano	
Claudenice Rodrigues do Nascimento	
CAPÍTULO 9	71
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O USO DE <i>SMARTPHONES</i> PARA REALIZAÇÃO DE ELETROCARDIOGRAMAS NA ISQUEMIA E NA FIBRILAÇÃO ATRIAL	
Rodrigo Penha de Almedida	
João Batista Destro Filho	
CAPÍTULO 10	77
PROPOSTA DE UM SISTEMA DE ELETROESTIMULAÇÃO PARA ESTUDOS DE CONDUÇÃO NERVOSA	
Sandra Cossul	
Felipe Rettore Andreis	
Mateus André Favretto	
Jefferson Luiz Brum Marques	
CAPÍTULO 11	86
ELETRODOS PARA PROCEDIMENTO DE ABLAÇÃO HEPÁTICA POR RADIOFREQUÊNCIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Joziane Porcino da Silva	
Suelia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa	
Jocyellen Christyne da Silva Casado	
Vitor Meireles Oliveira	
Juliana Aparecida Elias Fernandes	
Vera Regina Fernandes da Silva Marães	
CAPÍTULO 12	96
ELETROMIOGRAFIA DOS MÚSCULOS ABDOMINAIS EM EXERCÍCIOS DE ESTABILIZAÇÃO DO TRONCO COM DIFERENTES SUPERFÍCIES INSTÁVEIS	
Frederico Balbino Lizardo	
Phillipe Rodrigues Alves Santos	
Gilmar da Cunha Sousa	

Fabio Clemente Gregorio
Franciel José Arantes
Carlos Eduardo da Silva Pereira
Fausto Bérzin
Delaine Rodrigues Bigaton

CAPÍTULO 13 107

ATIVIDADE ELETROMIGRÁFICA DOS MÚSCULOS DO ASSOALHO PÉLVICO, GLÚTEO E GRÁCIL DURANTE O AGACHAMENTO

Carina Oliveira dos Santos
Marcone Lopes da Silva
Patrícia Virgínia Silva Lordêlo Garboggini
Chantele dos Santos Souza
Ana Cecília Silva Combes
Hernane Borges de Barros Pereira
Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves

CAPÍTULO 14 116

OBTENÇÃO DOS PERFIS DE VELOCIDADE E ACELERAÇÃO ANGULAR DE UM MOVIMENTO DE TREINAMENTO DO JUDÔ

Thiago Gomes Cardoso
Márcio Peres de Souza
Cleudmar Amaral de Araújo
Lucas Pereira Ferreira de Rezende

CAPÍTULO 15 124

UTILIZAÇÃO DE UM SENSOR LDR PARA TESTE E MEDIÇÃO DE SENSIBILIDADE RADIOATIVA EM APARELHO DE RAIOS X

Edgard Rogério Siqueira Vasconcelos
Lourdes Mattos Brasil
Leandro Xavier Cardoso
Georges Daniel Amvame Nze
Rafael Assunção Gomes de Souza
Elivânia Rodrigues de Souza Assunção
Wagner Ribeiro Teixeira

CAPÍTULO 16 133

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DO SINAL MIOELÉTRICO PARA PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR

Bruna Souza Morais
Samuel Lourenço Nogueira
Thiago Luiz de Russo
Arlindo Neto Montagnoli

CAPÍTULO 17 141

SENSORES À FIBRA ÓPTICA MICROESTRUTURADA BASEADOS NA RESSONÂNCIA DE PLÁSMONS DE SUPERFÍCIE

Márcia Fernanda da Silva Santiago
Arthur Aprígio de Melo
Talita Brito da Silva
Rossana Moreno Santa Cruz
Cleumar da Silva Moreira

CAPITULO 18 151

SERIOUS GAME PARA APRENDIZAGEM DE CIRURGIAS COM ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL

Thalison Carlos Fernandes Gomes

Luciene Chagas de Oliveira

Eduardo Chagas de Oliveira

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 158

SENSORES À FIBRA ÓPTICA MICROESTRUTURADA BASEADOS NA RESSONÂNCIA DE PLÁSMONS DE SUPERFÍCIE

Márcia Fernanda da Silva Santiago

Universidade Federal de Campina Grande – (UFCG), Departamento de Engenharia Elétrica e Informática
Campina Grande – Paraíba

Arthur Aprígio de Melo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – (IFPB), Departamento de Engenharia Elétrica e Telecomunicações
João Pessoa – Paraíba

Talita Brito da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – (IFPB), Departamento de Engenharia Elétrica e Telecomunicações
João Pessoa – Paraíba

Rossana Moreno Santa Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – (IFPB), Departamento de Engenharia Elétrica e Telecomunicações
João Pessoa – Paraíba

Cleumar da Silva Moreira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – (IFPB), Departamento de Engenharia Elétrica e Telecomunicações
João Pessoa – Paraíba

RESUMO: Nos últimos anos, a tecnologia de sensores à fibra óptica tem sido impulsionada para aplicações industriais e biomédicas, com o surgimento dos sensores baseados no fenômeno de Ressonância de Plásmons de Superfície

(SPR). O uso de fibras ópticas como substrato para o acoplamento da luz nestes dispositivos tem sido crescente, devido à possibilidade de miniaturização, acesso remoto, imunidade a interferências eletromagnéticas, flexibilidade, dentre outras características. Durante a década de 1990, foi introduzida uma nova tecnologia na fabricação de fibras ópticas, onde elementos chamados cristais fotônicos passaram a ser a matéria prima utilizada para a construção e caracterização dessas fibras que consistem em guias de onda microestruturados. O desenvolvimento de sensores ópticos em fibras microestruturadas torna-se uma alternativa bastante atraente para diversas aplicações em sensoriamento, podendo ser utilizados no monitoramento de parâmetros físicos, químicos e biológicos, relevantes para a manutenção da qualidade de produtos na indústria e em aplicações biomédicas como a detecção de patologias através de fluidos, devido ao desenvolvimento e otimização de dispositivos para exames laboratoriais compactos, precisos e de baixo custo, em comparação com os existentes. Este trabalho apresenta a análise numérica de uma proposta de biossensor construído com fibras de cristais fotônicos de sílica, utilizando o ouro na região sensora. Este estudo serviu para validar a utilização destas fibras para a construção de sensores SPR.

PALAVRAS-CHAVE: Biossensores, fibras

microestruturadas, plásmons de superfície.

ABSTRACT: In recent years, fiber-optic sensor technology has been boosted to industrial and biomedical applications, with the emergence of sensors based on Surface Plasmon Resonance phenomenon (SPR). The use of optical fibers as a substrate for the coupling of light in these devices has been increased, due to the possibility of miniaturization, remote access, immunity to electromagnetic interference, flexibility, among other characteristics. During the 1990s, a new technology was introduced in the manufacture of optical fibers, where elements called photonic crystals became the raw material used for the construction and characterization of these fibers consisting of microstructured waveguides. The development of optical sensors in microstructured fibers becomes a very attractive alternative for several applications in sensing, and can be used in the monitoring of physical, chemical and biological parameters, relevant to the maintenance of the quality of products in industry and biomedical applications, for example, through the detection of pathologies using fluids due to the development and optimization of devices for compact, accurate and low cost laboratory tests in comparison with the existing ones. This work presents the numerical analysis of a biosensor proposal constructed with photonic crystal fibers of silica, using gold in the sensory region. This study served to validate the use of these fibers for the construction of SPR sensors.

KEYWORDS: Biosensors, microstructured fibers, surface plasmons.

1 | INTRODUÇÃO

Os sensores à fibra óptica baseados na técnica de ressonância de plásmons de superfície (*Surface Plasmon Resonance* – SPR) foram propostos inicialmente pelo Dr. Jorgenson, um pesquisador da Universidade de Washington, em 1991. Desde então, têm sido propostas diversas configurações de sensores SPR em fibras ópticas, cujas aplicações destinam-se ao sensoriamento químico e biológico (JORGENSEN, YEE, 1993). Ainda, durante a década de 1990, foi introduzida uma nova tecnologia na fabricação de fibras ópticas, onde elementos chamados cristais fotônicos passaram a ser a matéria prima utilizada para a construção e caracterização de fibras ópticas (Russell,2003). Esta nova tecnologia impulsionou o interesse no estudo e desenvolvimento das fibras ópticas microestruturadas ou fibras de cristais fotônicos (*Photonic Crystal Fibers* - PCFs). O desenvolvimento dessas fibras permitiu a obtenção de efeitos ópticos até então impossíveis de se alcançar com as fibras ópticas convencionais, representando uma nova era na tecnologia de fibras ópticas e, conseqüentemente, nos sensores ópticos (Russell,2003).

Nos últimos anos, o fenômeno de ressonância de plásmons de superfície e sua utilização em sensoriamento tem atraído a atenção de cientistas e pesquisadores devido à vasta gama de aplicações em áreas multidisciplinares do conhecimento. Os

sensores e biossensores SPR apresentam alta sensibilidade, o que os tornam úteis em diversos tipos de aplicações em campos como: monitoramento ambiental, segurança e controle alimentar, análise de águas, detecção de líquidos e gases em soluções, diagnósticos médicos (como é o caso da detecção rápida de vírus e bactérias, como os encontrados em doenças como a Dengue, a AIDS), testes de drogas, bioimagens, detecção química e diversos outros tipos de análises biológicas através da interação entre antígenos e anticorpos (Russell,2003), (Zhao,Deng e Li, 2014).

A técnica SPR surge da interação de feixes luminosos p-polarizados com oscilações longitudinais, denominadas plásmons de superfície, presentes normalmente em metais nobres (especialmente, ouro, prata e cobre) (SILVA, ROZIA e FRAZOA, 2014). Um campo evanescente é gerado da interação fóton-plásmon e interage com o dielétrico que é adicionado sobre a camada metálica, onde uma alteração no índice de refração do conjunto metal-dielétrico é medida. Na entrada luminosa, um substrato óptico é acrescido e um dispositivo multicamadas (substrato-metal-dielétrico) é configurado (SILVA, ROZIA e FRAZOA, 2014), (SALAVÍK, HOMOLA e CTYROKY, 1999).

A possibilidade das análises com sensores e biossensores serem efetuadas em tempo real e sem necessidade de marcação faz com que a técnica SPR seja utilizada no estudo da interação antígeno-anticorpo que, aliada à tecnologia das fibras ópticas microestruturadas, traz a possibilidade de construção de um biossensor moderno, eficiente e confiável, unindo as áreas de engenharia e medicina, contribuindo com a ciência à medida que proporciona melhoria na qualidade de vida humana. Este trabalho apresenta a caracterização numérica e computacional de fibras ópticas microestruturadas cuja aplicação destina-se à construção de um *biochip* óptico que integrará um sistema biossensor, destacando as vantagens da utilização deste tipo de fibra em comparação com as demais configurações existentes, do ponto de vista da complexidade de análise e fabricação, tais como as configurações que utilizam o grafeno para otimizar o acoplamento da onda eletromagnética que propaga-se na fibra com os plásmons de superfície do metal (NARAYAN, JITENDRA, 2015) e as cujo o núcleo oco é preenchido seletivamente com algum fluido que se deseja analisar (RIFAT et al., 2015).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A análise teórica foi realizada a partir de simulações feitas com o auxílio do *software* comercial Lumerical® que utiliza, dentre outros métodos computacionais, o método dos elementos finitos e das diferenças finitas no tempo, sendo estes dois últimos aplicados no presente estudo, onde foram implementadas as equações do modelo multicamadas de Fresnel, com as quais, cada camada de material envolvido nas simulações é analisada do ponto de vista do tipo de material, da espessura de cada camada e do valor do índice de refração para cada uma delas, de acordo com o

comprimento de onda da fonte de luz utilizada na análise teórica.

Foram investigados os parâmetros essenciais de resposta de um biossensor SPR, como curvas de reflectância da luz incidente na fibra, assimetria desta curva, FWHM (*Full Width at Half Maximum*), largura de banda e sensibilidade refratométrica, visto que o princípio de funcionamento do dispositivo sensor baseia-se na diferença de índices de refração dos materiais que o compõem, incluindo as camadas do analito (água) e do dielétrico (ar), consideradas nas simulações.

A sensibilidade refratométrica foi calculada levando-se em conta uma pequena variação do índice de refração do analito, em que $\Delta n = 1 \times 10^{-3}$. Dessa forma, foram obtidos os valores de sensibilidade em função do ângulo de ressonância das curvas SPR.

Também se observou o comportamento do acoplamento da luz incidente nas fibras e sua interação com os capilares que formam a microestrutura. Parâmetros estruturais como diâmetro total da fibra, diâmetro do núcleo e dos capilares e separação entre os capilares (*pitch*) foram analisados de forma que caracterizassem a estrutura para a sua futura implementação prática. As aplicações práticas de sensoriamento requerem que o sensor opere com comprimentos de onda fixos, uma vez que o propósito desta análise é servir de base para a fabricação de uma fibra que servirá como *biochip* óptico. Optou-se pela investigação no modo angular (*Angular Interrogation Mode* - AIM), no qual mantém-se um comprimento de onda fixo enquanto o ângulo de incidência da fonte de luz é variado. Para tanto, foi utilizado um *laser* como fonte de luz operando em 800 nm e duas PCFs de núcleo sólido de sílica pura. Em ambas as fibras, a espessura do metal depositado (d) foi de 50 nm e o comprimento adotado para a região sensora (l) foi de 3 cm. O analito utilizado foi a água, com índice de refração $n = 1,33$. Existem diversas configurações de deposição da camada metálica, do ponto de vista geométrico da fibra. Este trabalho adotou a configuração em “D”, onde a fibra é polida, tendo parte de sua casca removida, deixando o núcleo descoberto, criando uma superfície plana onde é realizada a deposição do metal, obtendo-se a região sensora do *biochip* óptico.

A Figura 1 apresenta o diagrama das configurações projetadas e analisadas teoricamente, onde foram simuladas fibras com seis, três e dois capilares, respectivamente. Os dados referentes às fibras simuladas podem ser visualizados na Tabela 1.

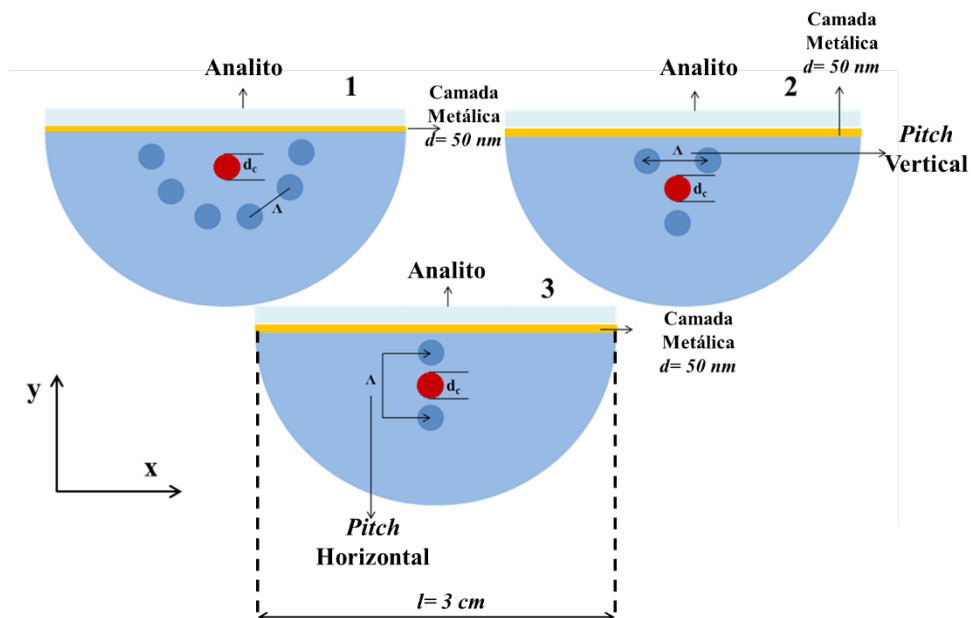


Figura 1. Diagrama das fibras microestruturadas utilizadas nas simulações.

Fonte: Autoria Própria.

Configuração	Pitch	Diâmetro do núcleo (d_c)	Diâmetro dos capilares (d)
Fibra 1	2 μm	8 μm	4 μm
Fibra 2	4 μm	8 μm	4 μm
Fibra 3	5 μm	8 μm	4 μm

Tabela 1. Dados das fibras microestruturadas utilizadas nas simulações.

3 | RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a curva de reflectância em função do ângulo de incidência da luz para a configuração de fibra 1. De acordo com a Figura 2 a mínima reflectância ocorreu em um ângulo de aproximadamente $16,5^\circ$, ou seja, neste ponto a onda transmitida na PCF acoplou-se com os plásmons de superfície presentes no filme fino metálico.

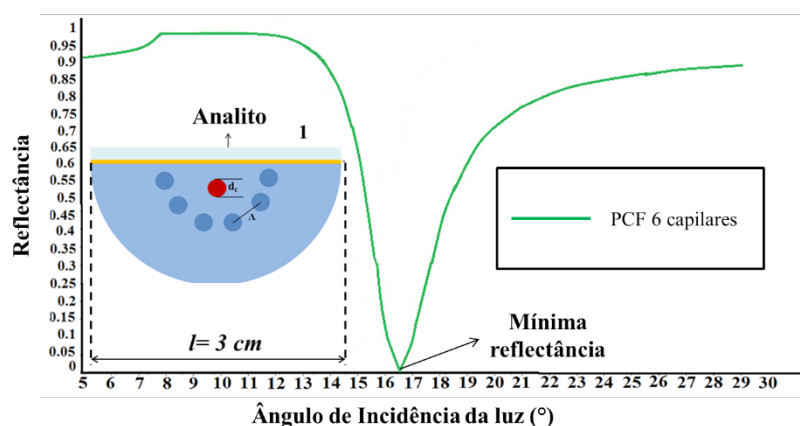


Figura 2. Curva de reflectância em função do ângulo de incidência da luz para uma PCF cuja microestrutura é composta por 6 capilares.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 3 apresenta a intensidade de acoplamento da luz na região sensora da fibra, bem como o espalhamento dos plásmons de superfície no metal. A área em vermelho mostra a região de maior acoplamento entre a onda de plásmons de superfície e a onda de luz incidente, ou seja, mostra a região em que ocorreu o fenômeno SPR.

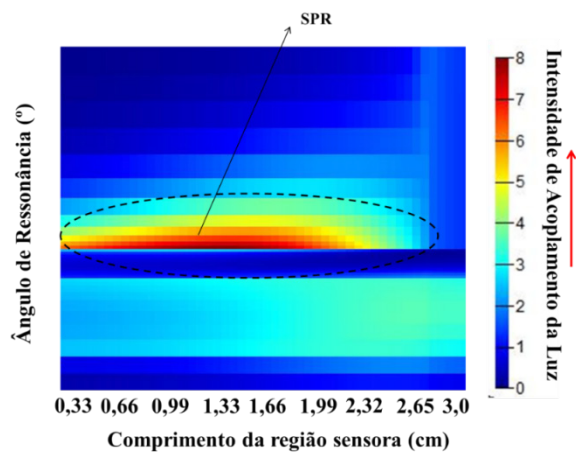


Figura 3. Acoplamento da luz incidente com os plásmons de superfície para a configuração de fibra 1 mostrada na Figura 1.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 4 apresenta as curvas de reflectância e transmitância obtidas para as fibras 2 e 3, mostradas na Figura 1, com 3 e 2 capilares, respectivamente. O ângulo de ressonância obtido foi de $50,5^\circ$ para as duas configurações de fibras (2 e 3 capilares). As curvas assemelham-se. Neste caso, também foram plotadas as curvas de transmitância, com as quais se obteve um valor máximo de transmitância aproximadamente igual a 1 (um) para as duas configurações, a partir de $45,5^\circ$.

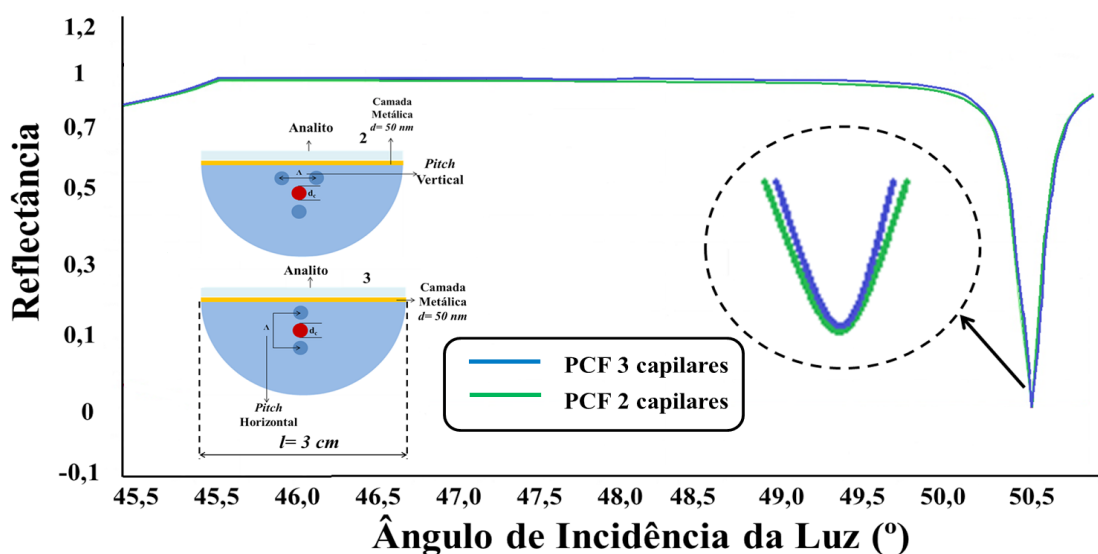


Figura 4. Curva de reflectância em função do ângulo de incidência da luz para as configurações de fibras 2 e 3.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 5 mostra a intensidade do acoplamento da luz incidente com os plásmons de superfície presentes na região sensora para as fibras de 2 e 3 capilares. Não houve diferenças significativas com relação ao acoplamento da luz nas duas estruturas, porém, nota-se pela Figura 5 que, em ambas, a energia apresentou um comportamento crescente com relação à intensidade, concentrando-se na área da região sensora compreendida entre 2,25 e 3 cm. Este comportamento encontra-se em estudo, onde a princípio, estão sendo obtidas equações que mostram que a microestrutura da fibra aumenta o pico de perdas da onda evanescente com a onda de plásmons de superfície, ao passo que provoca uma diminuição no ângulo de incidência da luz.

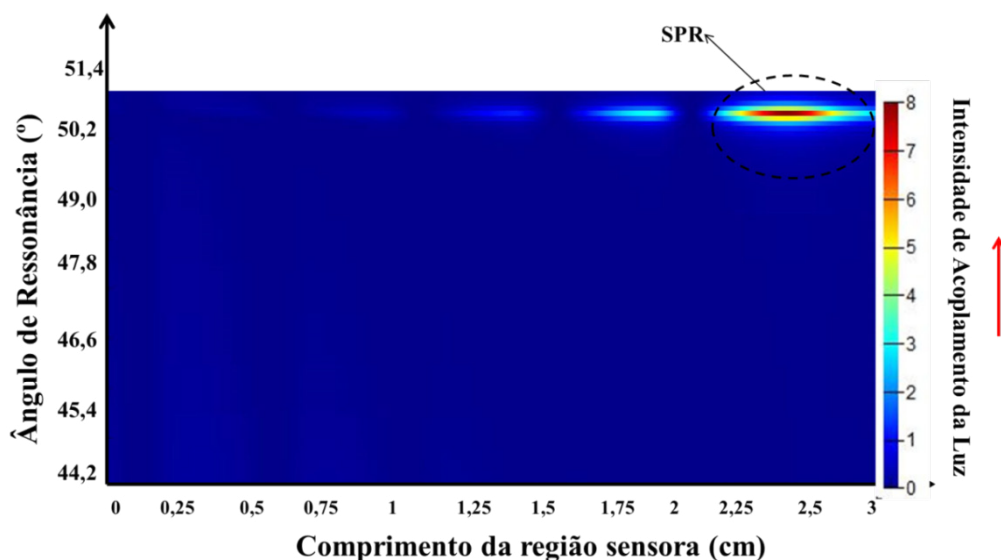


Figura 5. Curva de reflectância em função do ângulo de incidência da luz para as configurações de fibras 2 e 3.

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 2 apresenta os resultados do desempenho do sensor, obtido com relação aos parâmetros FWHM, assimetria, largura de banda e sensibilidade refratométrica, para todas as configurações simuladas. À medida em que a microestrutura é diminuída, a fibra assemelha-se à fibra convencional, sem perder suas características de propagação da luz inerentes às fibras microestruturadas. Desta forma, os menores valores de ângulos de ressonância tornam a instrumentação mais fácil de ser implementada experimentalmente.

Configuração	FWHM (°)	Assimetria (G) (°)	Largura de Banda (Γ) (°)	Sensibilidade Refratométrica (S_{RI}) (°)/(RIU)
Fibra 1	1	1,127	33,6	2040
Fibra 2	0,2	1,008	100,6	3600
Fibra 3	0,2	1,008	100,6	3600

Tabela 2. Resultado do desempenho das configurações de *biochip* óptico analisadas.

A Tabela 3 apresenta algumas das configurações existentes destacando a faixa de comprimentos de onda em que essas configurações são utilizadas, o método de interrogação e a sensibilidade.

Características	Comp. de Onda	Método de Interrogação	Sensibilidade
PCF de núcleo sólido em formato de “D” (TIAN, et al., 2012).	550 - 800	Comprimento de onda	7300 nm/RIU
Fibra revestida externamente com ouro (2- RIFAT, et al., 2015).	500 - 750	Comprimento de onda	4000 nm/RIU
PCF de núcleo oco em formato de “D” (TAN, et al., 2014).	650 - 850	Comprimento de onda	6430 nm/RIU
Fibra de núcleo oco em formato de “D” reduzida (LUAN, et al., 2015).	550 - 750	Comprimento de onda	2900 nm/RIU
Fibra óptica microestruturada de núcleo sólido (POPESCU, et al., 2016).	700 - 850	Comprimento de onda e Amplitude	7000 nm/RIU 886,9 RIU ⁻¹

Tabela 3. Algumas configurações existentes de *biochips* ópticos em formato de D.

4 | DISCUSSÃO

É importante notar que a “vantagem” da diminuição do ângulo de ressonância para a obtenção do fenômeno SPR em fibras microestruturadas é evitar a preocupação de se obter a instrumentação necessária para um ângulo próximo de 90 graus especificamente, como no caso da instrumentação utilizada com fibras ópticas convencionais. Sabe-se que, neste tipo de fibra, a investigação angular acaba sendo de difícil implementação, optando-se pela investigação espectral na maioria dos casos. Isso faz com que possam ser aplicados na análise de sensores SPR com fibras microestruturadas os *setups* no modo AIM, geralmente utilizados em prismas. De acordo com os resultados apresentados, pode-se inferir que as configurações de PCFs modificadas podem ser utilizadas como substrato na construção de um *biochip* óptico. Verificou-se que quanto menor a quantidade de capilares, melhor a resposta da curva SPR com relação aos parâmetros FWHM, largura de banda e sensibilidade refratométrica, mensurada pela relação entre o ângulo de ressonância e o índice de refração do analito utilizado nas simulações.

5 | CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou analisar sistematicamente a geometria das fibras ópticas microestruturadas a fim de caracterizá-las para a aplicação na construção de um *biochip* óptico cujo princípio de detecção baseia-se no fenômeno físico SPR. Aliadas à tecnologia das fibras ópticas, as técnicas apresentadas podem ser utilizadas na construção de sensores capazes de medir ou monitorar parâmetros que podem afetar a qualidade de vida e contribuir com a melhoria da saúde dos seres vivos. Os resultados apresentados validam a teoria e mostram que é possível obter um dispositivo sensor em fibra óptica microestruturada preciso e eficiente, aliando ao seu alto desempenho a facilidade de instrumentação e a versatilidade de aplicações. Identifica-se como contribuições científicas inovadoras do trabalho a avaliação teórica da construção de uma plataforma óptica que explora a interação entre filmes finos metálicos, fibras ópticas microestruturadas e biomoléculas, contribuindo com o desenvolvimento de uma nova geração de biossensores, apresentando perspectivas atraentes para aplicações no diagnóstico clínico, podendo ser estendidas à análise de alimentos, controle de processos e monitoramento ambiental.

REFERÊNCIAS

- 2- RIFAT, A.A; MAHDIRAJI, G.A; SUA, Y.M; SHEE, Y.G; AHMED, R; CHOW, D.M; et al. **Surface plasmon resonance photonic crystal fiber biosensor: a practical sensing approach**. Photonics Technol. Lett. IEEE. 2015; vol. 27. p. 1628–1631.
- JORGENSON, R.C; YEE S. S. **A fiber-optic chemical sensor based on surface plasmon resonance**. Sens. Actuators, B: Chem. 1993; 12 (3). p. 213–220.
- LUAN, N; WANG, R; LV, W; YAO, J. **Surface plasmon resonance sensor based on D-shaped microstructured optical fiber with hollow core**. Opt. Express. 2015; vol. 23. p. 8576–8582.
- NARAYAN, D; JITENDRA; JHA, Rajan. **On the performance of graphene-based D-shaped photonic crystal fiber biosensor using surface plasmon resonance**. Plasmonics. 2015; vol. 10, p. 1123–1131.
- POPESCU, V; PUSCAS, N; PERRONE, G. **Simulation of the sensing performance of a plasmonic biosensor based on birefringent solid-core microstructured optical fiber**. Plasmonics. 2016; p. 1–7.
- RIFAT, A; AHMMED, et al. **Photonic crystal fiber-based surface plasmon resonance sensor with selective analyte channels and graphene-silver deposited core**. Sensors. 2015; vol. 15, p. 11499-11510.
- RUSSELL, P. S. J. **Photonic crystal fibers**. 2003; Science, vol. 299, p.358-62.
- SALAVÍK, R; HOMOLA, J; CTYROKY, J. **Single-mode optical fiber surface plasmon resonance sensor**. Sensors and Actuators B: Chemical. 1999; vol. 54, p.74-79.
- SILVA, S; ROZIA, P; FRAZOA, O. **Refractive index measurement of liquids based on microstructured optical fibers**. 2014; Photonics, v. 1, p.516-529.

TAN, Z; LI, X; CHEN, Y; FAN, P. **Improving the sensitivity of fiber surface plasmon resonance sensor by filling liquid in a hollow core photonic crystal fiber.** Plasmonics. 2014; vol. 9. p.167–173.

TIAN, M; LU, P; CHEN, L; LV, C; LIU, D. **All-solid D-shaped photonic fiber sensor based on surface plasmon resonance.** Opt. Commun. 2012; vol. 285 p. 1550–1554.

ZHAO, Y; DENG, Z; –Q, Li, J. **Photonic crystal fiber based surface plasmon resonance chemical sensors.** Sensors and Actuators B: Chemical. 2014; v. 202, p.557-567.

SOBRE OS ORGANIZADORES

LAIS DAIENE COSMOSKI Professora adjunta do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), nos cursos de Tecnologia em Radiologia e Bacharelado em Farmácia. Analista clínica no Laboratório do Hospital Geral da Unimed (HGU). Bacharel em Biomedicina pelas Universidades Integradas do Brasil (UniBrasil). Especialista em Circulação Extracorpórea pelo Centro Brasileiro de Ensinos Médicos (Cebramed) Mestre em Ciências Farmacêuticas pelo programa de Pós Graduação em Ciências Farmacêuticas da UEPG. Possui experiência com o desenvolvimento de pesquisas na área de avaliação clínico/laboratorial de processos fisiopatológicos.

FABRÍCIO LORENI DA SILVA CERUTTI Coordenador de Curso do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). Professor adjunto do Instituto Latino Americano de Pesquisa e Ensino Odontológico (ILAPEO). Tecnólogo em Radiologia pela Universidade Tecnologia Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutorando em Engenharia Biomédica pelo programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI) da UTFPR. Possui experiência com o desenvolvimento de pesquisas na área de diagnóstico por imagem, física nuclear, controle de qualidade e simulação computacional.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-85107-67-3

