

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	<p>Evolução na ciência e engenharia de materiais [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.</p> <p>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</p> <p>1. Engenharia de materiais – Pesquisa – Brasil. I. Holzmann, Henrique Ajuz.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11</p>
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 <i>ELECTROSPINNING</i> 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

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

Data de submissão: 14/10/2019

Data de aceite: 08/01/2020

Thiago Domingues Stocco

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Ciências Médicas

Campinas – São Paulo

UNISA – Universidade Santo Amaro

São Paulo – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/6643357205969122>

Anderson de Oliveira Lobo

UFPI – Universidade Federal do Piauí,
Departamento de Engenharia de Materiais

- Laboratório Interdisciplinar de Materiais
Avançados

Teresina – Piauí

<http://lattes.cnpq.br/8605141883488358>

RESUMO: Os meniscos são estruturas fibrocartilaginosas intra-articulares, que possuem matriz extracelular (MEC) altamente especializada e desempenham um papel essencial na função do joelho. Contudo, apresentam baixa capacidade regenerativa. Infelizmente lesões nos meniscos são muito comuns e opções de tratamentos disponíveis tem mostrado resultados controversos. Por consequência, estratégias dentro da engenharia de tecidos têm sido investigadas com o objetivo de desenvolver potenciais tratamentos para as

lesões meniscais. O sucesso desta abordagem está intimamente ligado ao desenvolvimento de *scaffolds* capazes de mimetizar a arquitetura da MEC do menisco nativo. Nesse contexto, tem havido um crescente interesse na produção de complexos *scaffolds* tridimensionais, produzidos a partir de nanofibras alinhadas. No entanto, até o momento, nenhum método permitiu recriar integralmente a complexa organização da MEC dos meniscos. Neste estudo, nós projetamos um novo sistema de eletrospinning, no qual consistiu na modificação do coletor alvo, utilizando dois dispositivos metálicos: uma peça oca cilíndrica externa com um pino central e um cilindro oco interno móvel; com o objetivo de fabricar *scaffolds* biomiméticos para a engenharia de tecidos dos meniscos do joelho. As orientações das fibras produzidas foram analisadas quantitativamente pelo método de Transformada Rápida de Fourier (FFT) e pela ferramenta OrientationJ. Ainda, o scaffold fabricado foi caracterizado por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados demonstraram ser uma abordagem viável para fabricação de *scaffolds* composto de fibras alinhadas circunferencialmente e radialmente. Em resumo, esta investigação demonstrou um grande potencial para a aplicação destes *scaffolds* na engenharia de tecido do menisco, uma vez que eles são capazes de reproduzir a orientação das principais fibras de colágeno

presentes na MEC do menisco do joelho.

PALAVRAS-CHAVE: eletrofição, engenharia tecidual, meniscos, biomateriais

PRODUCING BIOMIMETIC NANOMATERIALS FROM A NEW ELECTROSPINNING SETUP FOR KNEE MENISCUS TISSUE ENGINEERING

ABSTRACT: The meniscus are intra-articular fibrocartilaginous structures, with a highly specialized extracellular matrix and play an essential role in knee function. Nevertheless, it present limited regenerative capacity. Unfortunately, meniscal injuries are very common and the treatments options have shown controversial results. Therefore, tissue engineering strategies have been reported in order to provide potential treatments for meniscal lesions. The success of these strategies are directly linked to the creation of scaffolds that are able to mimic the extracellular matrix architecture of the native meniscus. In this context, there has been a growing interest in the design of complex 3D scaffolds, produced from aligned nanofiber. However, to date, no method was able to recreate the complex extracellular matrix organization of the meniscus. Herein, we proposed the design of a novel electrospinning setup, which consisted using two metallic devices as collector: an external cylindrical hollow piece with a central pin and a mobile internal hollow cylinder; in order to fabricate biomimetic scaffolds for tissue engineering of the knee meniscus. The fibers orientations were quantitatively analyzed by Fast Fourier Transform (FFT) method and software OrientationJ. Moreover, the scaffold was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM). The results presented herein demonstrated a feasible approach for fabricant scaffolds constituted of both circumferentially and radially aligned fibers. In summary, this investigation demonstrated great potential for the application of these scaffolds towards meniscus tissue engineering, once they are able to reproduce the orientation of the main collagen fibers present in the extracellular matrix of the knee meniscus.

KEYWORDS: Electrospinning, tissue engineering, meniscus, biomaterials

1 | INTRODUÇÃO

Os meniscos do joelho são estruturas intra-articulares fibrocartilaginosas, que desempenham um papel essencial no funcionamento normal da articulação do joelho (FOX et al., 2015). Devido à sua complexa estrutura, reparação intrínseca e capacidade regenerativa limitadas, lesões nos meniscos comumente apresentam prognóstico ruim (FOX et al., 2015; MAKRIS; HADIDI; ATHANASIOU, 2011; SHIMOMURA et al., 2018)j Ainda, quando não tratadas corretamente, lesões meniscais levam à degeneração da cartilagem subjacente e ao início precoce da osteoartrite, limitando a função articular (ANDREWS et al., 2017).

Infelizmente, lesões nos meniscos são muito comuns e as opções terapêuticas disponíveis atualmente na prática clínica apresentam resultados controversos. Esses tratamentos falham, principalmente, em proteger a cartilagem articular à longo prazo e prevenir o surgimento da osteoartrite precocemente (HA et al., 2016; MOULTON et al.,

2016; VAN DER STRAETEN et al., 2016).

A engenharia de tecidos tem emergido como um potencial tratamento para lesões meniscais (DORAL et al., 2018; TRZECIAK et al., 2016). No entanto, o sucesso desta abordagem está intimamente ligado ao desenvolvimento de *scaffolds* de biomateriais adequados. Um *scaffold* ideal deve ser capaz de mimetizar a arquitetura da matriz extracelular (MEC) original, especialmente no caso dos tecidos, como os meniscos do joelho, que possuem propriedades mecânicas altamente anisotrópicas (MCDERMOTT; MASOUIROS; AMIS, 2008; RONGEN et al., 2014; WANG; DING; LI, 2013).

Uma tendência na engenharia de tecidos é a aplicação de nanotecnologia a fim de produzir *scaffolds* em nanoescala (DANIE KINGSLEY et al., 2013). Os *scaffolds* composto de nanofibras possuem elevada porosidade, alta relação superfície/volume, promovem uma melhor adesão e proliferação celular e facilitam o transporte de nutrientes e oxigênio durante a regeneração (KUMBAR et al., 2008; RENEKER; YARIN, 2008). Além disso, as nanofibras estão na mesma escala de tamanho dos componentes da MEC, permitindo simular o ambiente original e possibilitando que as células se comportem semelhantemente as células do tecido nativo (MAKRIS; HADIDI; ATHANASIOU, 2011).

O *electrospinning*, comumente traduzido como eletrofiação tem se demonstrado uma poderosa ferramenta para a fabricação de nanofibras para a engenharia de tecidos, uma vez que é um método simples, de baixo custo, versátil e capaz de formar *scaffolds* organizados de tal forma a mimetizar os componentes da MEC (KHORSHIDI et al., 2016). Conseqüentemente, vários autores desenvolveram métodos para controlar o alinhamento das nanofibras eletrofiadas (FISHER et al., 2013; LIU; THOMOPOULOS; XIA, 2012; PARK et al., 2016; WANG; DING; LI, 2013; XIE et al., 2010). No entanto, criar um sistema de eletrofiação capaz de construir *scaffolds* que mimetizem a complexa organização da MEC dos meniscos do joelho permanece um desafio.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi projetar e desenvolver um novo sistema de eletrofiação capaz de fabricar *scaffolds* tridimensionais compostos por nanofibras alinhadas circunferencialmente e radialmente, dessa forma, reproduzindo a organização e arquitetura dos principais componentes estruturais da MEC, as fibras de colágeno, do menisco do joelho.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A sistema de eletrofiação desenvolvido para este trabalho é composto por uma seringa de vidro com agulha metálica, uma fonte elétrica de alta tensão (230-30R, Bertan) uma bomba de infusão (KDS100, KD Scientific) e um coletor metálico modificado acoplado à um motor trifásico (W22, WEG), comandado por um inversor de frequência (CFW080016B2024PSZ, WEG).

O projeto do coletor inclui dois dispositivos metálicos (alumínio): uma peça cilíndrica, oca, formando um anel externo, com um pino central; e um dispositivo

interno móvel, composto de um cilindro com furo no centro.

As peças foram projetadas de forma que a área útil de coleta de fibras forme um anel completo com 60 mm de diâmetro externo e 12 mm de espessura, a fim de produzir um *scaffold* compatível com as dimensões do menisco medial humano (MICKIEWICZ et al., 2015).

Para a produção de nanofibras foram preparadas soluções poliméricas utilizando Policaprolactona (PCL, massa molecular média de 80 kDa, Sigma-Aldrich), com 0,12 g mL⁻¹, dissolvido em Clorofórmio (Sigma-Aldrich) e Dimetilformamida (DMF, Sigma-Aldrich). A razão entre os solventes, Clorofórmio e DMF, foi de 75/ 25 (v/v).

Inicialmente o PCL misturado ao Clorofórmio foi deixado sob agitação em sistema fechado até que o polímero ficasse visivelmente dissolvido (aproximadamente 2 horas). Imediatamente após, foi adicionado a proporção de DMF à mistura, que finalmente ficou mantida sob agitação magnética por 24 horas, a fim de garantir completa homogeneidade da solução.

Salientamos que, tanto a concentração do polímero, quanto a escolha e a razão dos solventes, foram determinados baseados em resultados de estudos que nós realizamos previamente.

Inicialmente, a solução foi colocada na seringa de vidro de 3 ml equipada com agulha metálica (19G, Inbras) e acoplada à bomba de infusão. A agulha metálica foi então ligada a fonte de alta tensão e os dispositivos do coletor metálico aterrados. A seringa e a agulha são configuradas de forma que os jatos eletrofiados sejam guiados para sua base do cilindro metálico.

As etapas de produção do *scaffold* biomimético estão ilustradas nos diagramas esquemáticos da Figura 1.

Primeiramente, foi utilizado o coletor de forma estacionária, sem a participação do dispositivo interno (recuado), de tal forma a criar uma estrutura com um anel externo e um pino central (Figura 1A). Essa configuração nos permite produzir Fibras Alinhadas Radialmente (FARad).

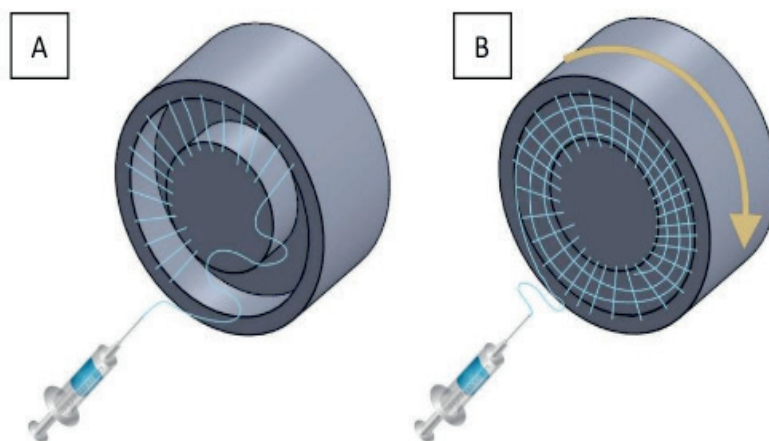


Figura 1. Diagrama esquemático mostrando uma simulação da produção de fibras radialmente alinhadas. Fabricação de nanofibras alinhadas radialmente (A) e a fabricação de nanofibras

Na segunda etapa, o dispositivo interno é trazido para frente formando um cilindro sólido que, através do acionamento do motor, passa a mover-se em rotação, criando Fibras Alinhadas Circunferencialmente (FACirc) sobre as fibras radialmente alinhadas (Figura 1B).

Finalmente, na terceira etapa, o material produzido foi dividido em duas partes iguais com o propósito de gerar *scaffolds* com as mesmas dimensões do menisco medial humano (MICKIEWICZ et al., 2015).

A Figura 2 ilustra o resultado final de cada etapa da construção do *scaffold*.

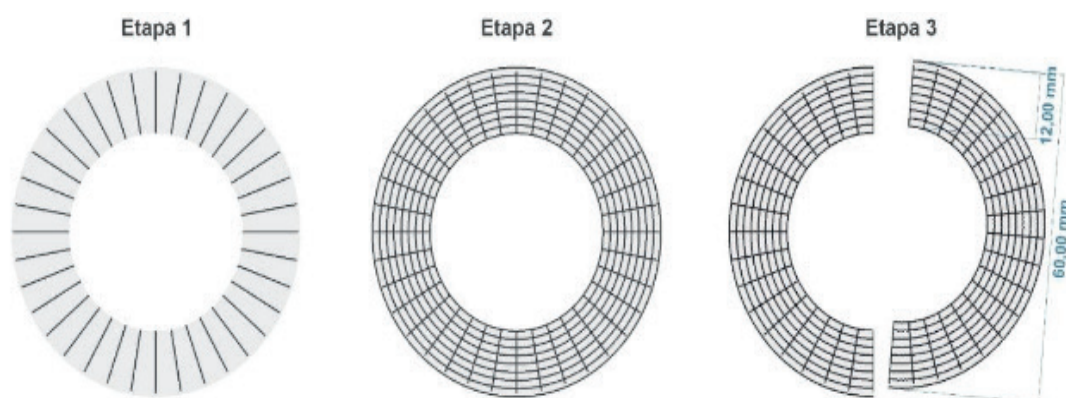


Figura 2. Ilustração do produto final obtido em cada etapa da fabricação do *scaffold* biomimético.

Fonte: Autor

Os parâmetros do processo de eletrofiação, foram previamente estabelecidos e estão apresentados na Tabela 1.

Parâmetros	Produção de FARad	Produção de FACirc
Distância entre a agulha e coletor (cm)	10	14
Vazão da solução (ml.h-1)	0,4	0,8
Tensão (kV)	23	20
Velocidade do coletor (rpm)	0	3000

Tabela 1. Parâmetros do processo de eletrofiação

Ainda, tanto para produção de FARad como FACirc, a temperatura foi controlada entre 20-25 °C, e umidade relativa do ar entre 30-35%.

A morfologia e a distribuição espacial das fibras produzidas foram analisadas por meio de micrografias obtidas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (EVO-MA10, Zeiss). Para tanto, amostras do *scaffold* produzido foram cortadas e fixadas sobre um suporte de alumínio padrão para amostras (*stub*) com o auxílio de fita adesiva dupla

face e posteriormente submetidas ao processo de metalização por ouro (Metalizadora modelo KV550, EmiTech).

Para determinação do diâmetro médio das fibras, as micrografias foram analisadas usando o software ImageJ (NIH, <http://rsb.info.nih.gov/ij>). Um total de 100 fibras foram medidas de cada tipo de alinhamento: FARad como FACirc.

As diferenças entre os valores de diâmetro médio encontrados entre os grupos foram analisadas estatisticamente pelo teste t de Student. Valores de $p < 0,05$ foram considerados estatisticamente significativos.

A análise por transformada rápida de Fourier (FFT) foi utilizada para avaliar quantitativamente o alinhamento das fibras produzidas, tal como descrito por (AYRES et al., 2006, 2008).

A função FFT utiliza um algoritmo para converter as informações de domínio espacial presentes na imagem original para um domínio de frequência definido matematicamente. O domínio de frequência mapeia a taxa na qual a intensidade de pixels da imagem varia no domínio espacial. A imagem resultante contém pixels em escala de cinza distribuídos em um padrão que reflete o grau de alinhamento das fibras presentes na imagem original. Quando utilizado FFT em uma imagem com fibras aleatórias, a imagem produzida gerada contém pixels distribuídos de forma simétrica (circular). Em contraste, a FFT em uma imagem contendo fibras alinhadas resulta em uma imagem com pixels distribuídos preferencialmente em uma orientação específica.

Posteriormente, para quantificar alinhamento, um gráfico de distribuição de frequência FFT pode ser construído adicionando uma projeção circular sobre a imagem processada e somando a intensidade de pixels em cada ângulo ao longo da direção radial (entre 0° e 360°). A posição dos picos no eixo horizontal do gráfico indica o principal ângulo de orientação das fibras analisadas.

Para nossa análise, FARad e FACirc foram coletadas separadamente em lâminas de vidro e visualizadas pelo microscópio óptico (DM2700M, Leica). Imagens digitalizadas foram então obtidas de 5 regiões diferentes de cada tipo de orientação (Figura 3), à uma distância 24 mm do centro. Em seguida as imagens foram processadas utilizando o software ImageJ (NIH, <http://rsb.info.nih.gov/ij>) suportado pelo *plug-in* Oval Profile (de autoria de William O'Connell). Os dados de FFT foram normalizados e representados em unidades arbitrárias, permitindo a comparação direta entre as diferentes amostras.

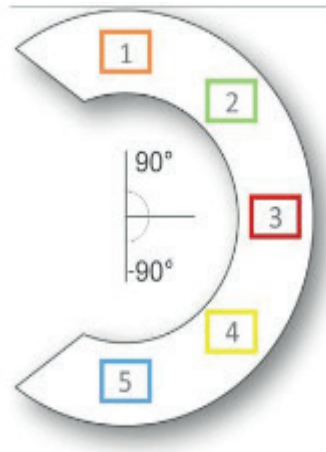


Figura 3. Desenho esquemático mostrando a localização das amostras retiradas para a análise por FFT

Fonte: Autor

Para as mesmas amostras citadas acima, adicionalmente, também foi avaliada a qualidade do alinhamento das fibras.

Para essa análise utilizamos o plug-in OrientationJ (Biomedical Image Group) para o software ImageJ (NIH, <http://rsb.info.nih.gov/ij>) (REZAKHANIHA et al., 2012). Essa ferramenta foi recentemente validada para análise de orientação de nanofibras (HOTALING et al., 2015).

Os resultados são expressos em um coeficiente de coerência, que varia de 0 a 1. Um coeficiente de Coerência próximo de 1, representa uma orientação das fibras altamente coerente, enquanto um coeficiente de coerência próximo de 0, indica nenhuma orientação preferencial.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modificações no design do coletor têm sido uma abordagem frequente para produção de fibras alinhadas. Diversos autores têm mostrado êxito na fabricação de *scaffolds* com fibras alinhadas em orientações específicas modificando as configurações do coletor alvo (FISHER et al., 2013; MI et al., 2015; PARK; YANG, 2011; WU; QIN, 2013; XIE et al., 2010). Entretanto, nosso trabalho foi o primeiro a propor o desenvolvimento de um dispositivo coletor capaz de produzir fibras alinhadas radialmente e circunferencialmente, tal como as principais fibras de colágeno que compõem a MEC do menisco dos joelhos.

Como pode ser visto na imagem, a seringa e a agulha foram posicionadas de tal forma que os jatos eletrofiados pudessem ser direcionados para a base do cilindro metálico (coletor alvo aterrado).

Os fenômenos envolvidos na produção de nanofibras radialmente alinhadas foram descritos por Xie et al. (2010).

Ao contrário de um sistema de eletrofiação configurado com coletor convencional,

os vetores do campo elétrico são divididos em duas frações quando se aproximam do coletor alvo, apontando tanto para o pino central como para o anel periférico, alinhando as fibras por força eletrostática. Por outro lado, as fibras alinhadas circunferencialmente são produzidas por forças mecânicas originadas do contato das fibras eletrofiadas com o coletor alvo em rotação (FISHER et al., 2013).

O material produzido ao final de cada uma das 3 etapas descritas anteriormente, pode ser visualizado na Figura 4.

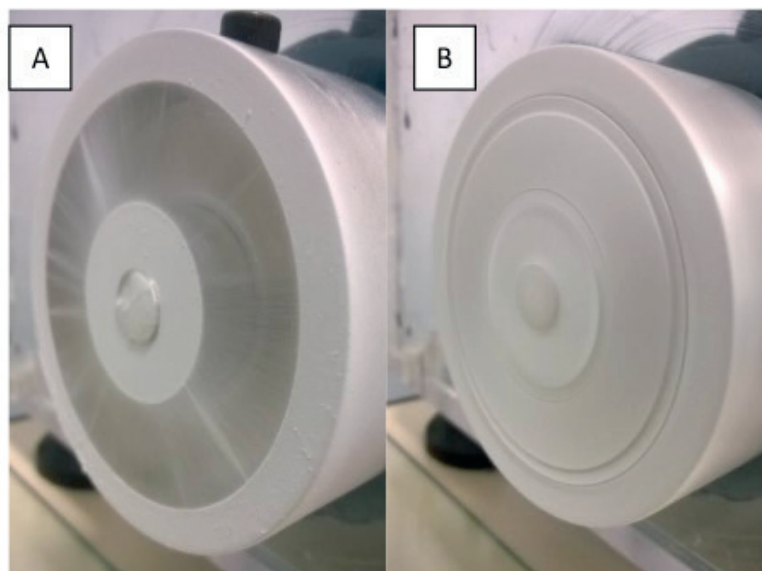


Figura 4. Fotografia das fibras depositadas sobre o coletor alvo ao final da etapa 1 (A) e etapa 2 (B)

Fonte: Autor

É possível observar a formação de fibras orientadas radialmente no final da etapa 1. No entanto, devido a maior densidade de fibras, nenhuma orientação preferencial pode ser visualizada macroscopicamente ao final da etapa 2.

A fotografia do material final produzido, mostra que o *scaffold* possui formato e dimensões compatíveis com o tamanho médio menisco medial humano. No entanto, é necessário observar que existem variações anatômicas nos meniscos do joelho entre diferentes faixas etárias, etnias e condições patológicas (BLOECKER et al., 2012) and in-plane resolution: 0.37×0.70 mm.

Portanto, pode-se concluir que houve a eliminação total do solvente durante o processo de eletrofiação e que o material não contém contaminantes.

Na Figura 5A é mostrada uma micrografia obtida por MEV do *scaffold* produzido pelo sistema de eletrofiação desenvolvido.

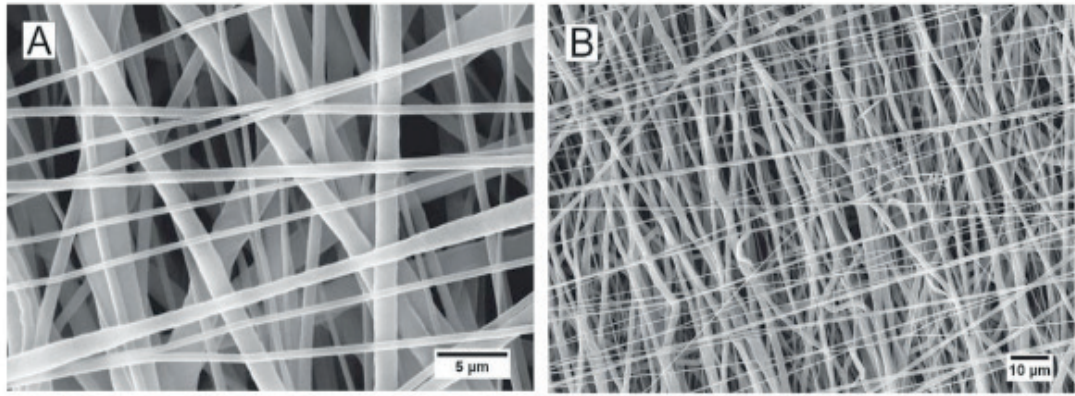


Figura 5. Micrografia do *scaffold* produzidos obtidas por MEV

Fonte: Autor

Em geral, podemos observar uma diferença morfológica entre as fibras mais superficiais (FARad) e mais profundas (FACirc). O diâmetro médio de FARad e FACirc foram 239 ± 32 nm e 485 ± 122 nm, respectivamente. Tais diferenças podem ser atribuídas a maior tensão e menor vazão da solução utilizados na produção de NARad.

A morfologia das fibras pode ser controlada por simples modificações nos parâmetros do processo de eletrofição, tais como: tensão aplicada, vazão, e distância da agulha metálica ao coletor (BEACHLEY; WEN, 2009; PILLAY et al., 2013).

Vale destacar que essa morfologia diferente entre os tipos de orientações das fibras produzidas neste trabalho, foi propositalmente estabelecida, uma vez que no tecido meniscal nativo, as fibras de colágeno orientadas radialmente são mais finas que as fibras de colágeno orientadas circunferencialmente (PETERSEN; TILLMANN, 1998).

A distribuição espacial das fibras no *scaffold* pode ser melhor visualizada pela micrografia mais ampla, mostrada na Figura 5B.

Este arranjo é consistente com os dois principais componentes estruturais da MEC dos meniscos do joelho: as fibras de colágeno orientadas circunferencialmente e radialmente.

A análise do alinhamento das fibras por FFT é mostrada na Figura 6. Podemos destacar como principal resultado, que o sistema de eletrofição desenvolvido foi capaz de produzir fibras alinhadas radialmente e circunferencialmente com sucesso.

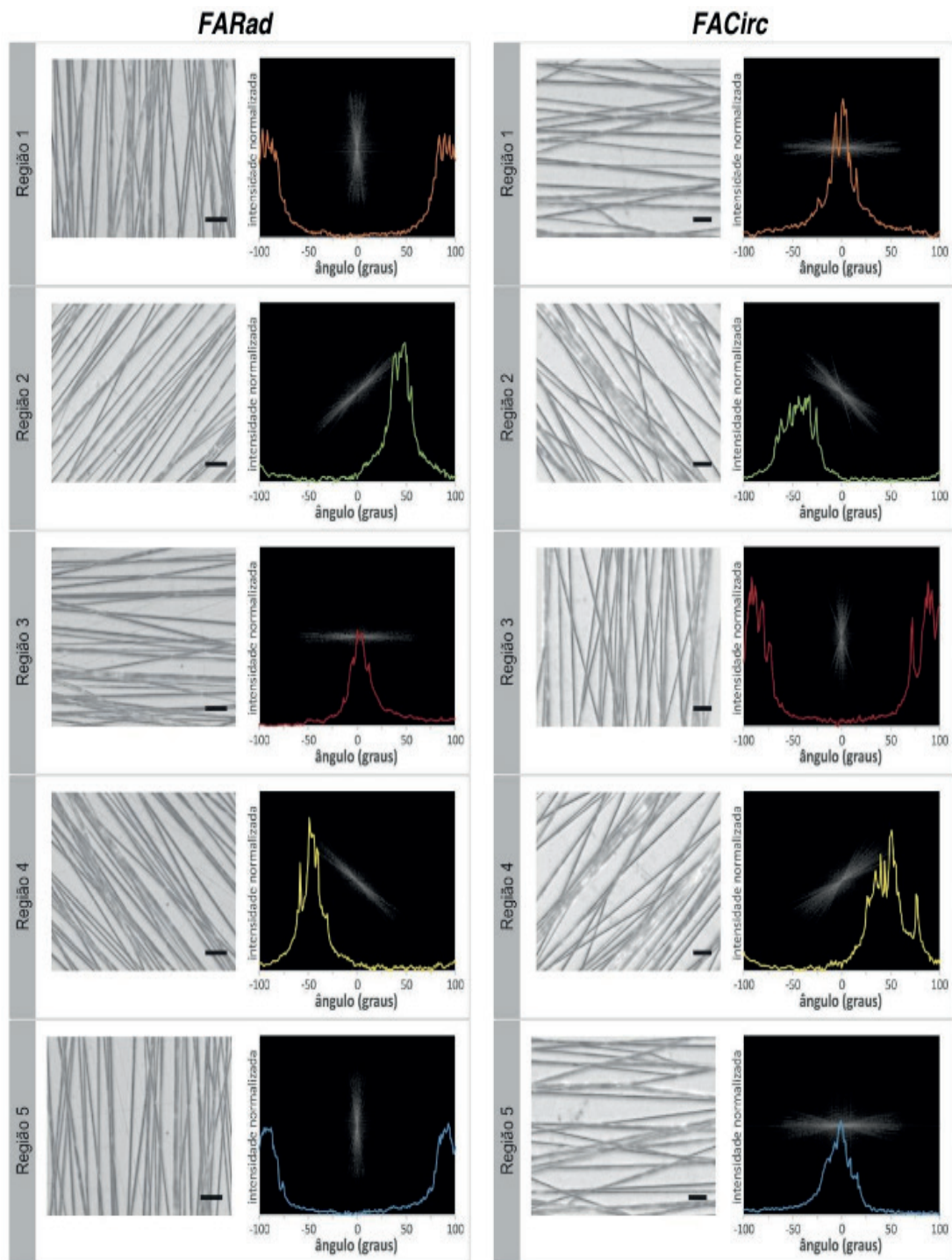


Figura 6. Análise do alinhamento das FARad e FACirc por FFT em cada região: Imagem original (à esquerda) e gráfico plotado utilizando a imagem de domínio de frequência gerada após aplicação de FFT (à direita). Barra de escala: 10 μm .

Fonte: Autor

O elevado grau de alinhamento também foi confirmado pelos altos valores dos coeficientes de coerência mostrados na tabela 2.

Região	Coeficiente de coerência	
	FARad	FACirc
1	0.872	0.885
2	0.914	0.890
3	0.885	0.852

4	0.917	0.886
5	0.882	0.879

Tabela 2. Análise da coerência do alinhamento das fibras produzidas.

Um *scaffold* constituído de nanofibras alinhadas proporciona um microambiente capaz de mimetizar a organização da MEC nativa, guiando a proliferação celular e a regeneração tecidual (WANG; DING; LI, 2013). A organização adequada do neotecido formado é fundamental para que tecidos com propriedades anisotrópicas, tais como os meniscos do joelho, possam desempenhar suas funções.

Scaffolds de nanofibras alinhadas têm mostrado propriedades superiores, não apenas nas propriedades mecânicas, mas também na capacidade de modelar a morfologia celular, em guiar a migração das células, além de afetar positivamente a diferenciação celular (ABBASI et al., 2016; BAKER; MAUCK, 2007; HAN et al., 2016; LIU; THOMOPOULOS; XIA, 2012; XIE et al., 2010).

Fisher et al. (2013) propuseram um método de eletrofiação para construir *scaffolds* que pudessem mimetizar a arquitetura microscópica e macroscópica dos meniscos do joelho. No entanto, fabricaram *scaffolds* compostos de fibras alinhadas em apenas uma orientação, circunferencialmente.

Recentemente, Fisher et al. (2015) fabricaram *scaffolds* multicamadas compostos de fibras alinhadas em diferentes orientações, para aplicação na regeneração de lesões meniscais. Entretanto, as fibras orientadas radialmente novamente foram ausentes.

Dessa forma, nosso trabalho foi o primeiro a propor a construção de *scaffolds* compostos de fibras alinhadas circunferencialmente e radialmente, com o objetivo de reproduzir integralmente os principais componentes estruturais da MEC dos meniscos do joelho.

4 | CONCLUSÕES

Em resumo, nós projetamos e construímos um novo sistema de eletrofiação que permitiu a produção de *scaffolds* tridimensionais constituídos de fibras alinhadas circunferencialmente e radialmente, com dimensões compatíveis com o menisco medial humano. Os resultados aqui apresentados demonstraram grande potencial para a aplicação destes *scaffolds* na engenharia de tecido do menisco do joelho, uma vez que eles são capazes de reproduzir a orientação das principais fibras de colágeno presentes na MEC do tecido original.

Baseado nos resultados obtidos, em estudos futuros pretende-se fabricar *scaffolds* bioreabsorvíveis, que além de mimetizar a MEC original, também possuam propriedades mecânicas similares ao menisco nativo. Ainda, pretende-se avaliar o comportamento *in vitro* de células meniscais e células-tronco mesenquimais quando cultivadas sobre o *scaffold*, bem como caracterizar a qualidade e conteúdo do novo tecido formado.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, N. et al. Influence of oriented nanofibrous PCL scaffolds on quantitative gene expression during neural differentiation of mouse embryonic stem cells. **Journal of Biomedical Materials Research - Part A**, v. 104, n. 1, p. 155–164, 2016.
- ANDREWS, S. H. J. et al. Current concepts on structure–function relationships in the menisci. **Connective Tissue Research**, v. 58, n. 3–4, p. 271–281, 4 maio 2017.
- AYRES, C. et al. Modulation of anisotropy in electrospun tissue-engineering scaffolds: Analysis of fiber alignment by the fast Fourier transform. **Biomaterials**, v. 27, n. 32, p. 5524–5534, 2006.
- AYRES, C. E. et al. Measuring fiber alignment in electrospun scaffolds: A user’s guide to the 2D fast Fourier transform approach. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, v. 19, n. 5, p. 603–621, 2008.
- BAKER, B. M.; MAUCK, R. L. The effect of nanofiber alignment on the maturation of engineered meniscus constructs. **Biomaterials**, v. 28, n. 11, p. 1967–1977, 2007.
- BEACHLEY, V.; WEN, X. Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length. **Materials Science and Engineering C**, v. 29, n. 3, p. 663–668, 2009.
- BLOECKER, K. et al. Morphometric differences between the medial and lateral meniscus in healthy men -A three-dimensional analysis using magnetic resonance imaging. **Cells Tissues Organs**, v. 195, n. 4, p. 353–364, 2012.
- DANIE KINGSLEY, J. et al. Nanotechnology for tissue engineering: Need, techniques and applications. **Journal of Pharmacy Research**, v. 7, n. 2, p. 200–204, 2013.
- DORAL, M. N. et al. Modern treatment of meniscal tears. **EFORT Open Reviews**, v. 3, n. 5, p. 260–268, maio 2018.
- FISHER, M. B. et al. Organized nanofibrous scaffolds that mimic the macroscopic and microscopic architecture of the knee meniscus. **Acta Biomaterialia**, v. 9, n. 1, p. 4496–4504, 2013.
- FISHER, M. B. et al. Engineering meniscus structure and function via multi-layered mesenchymal stem cell-seeded nanofibrous scaffolds. **Journal of Biomechanics**, v. 48, n. 8, p. 1412–1419, 2015.
- FOX, A. J. S. et al. The human meniscus: A review of anatomy, function, injury, and advances in treatment. **Clinical Anatomy**, v. 28, n. 2, p. 269–287, mar. 2015.
- HA, A. Y. et al. Controversial role of arthroscopic meniscectomy of the knee: A review. **World Journal of Orthopedics**, v. 7, n. 5, p. 287, 2016.
- HAN, J. et al. Cell alignment induced by anisotropic electrospun fibrous scaffolds alone has limited effect on cardiomyocyte maturation. **Stem Cell Research**, v. 16, n. 3, p. 740–750, 2016.
- HOTALING, N. A. et al. DiameterJ: A validated open source nanofiber diameter measurement tool. **Biomaterials**, v. 61, p. 327–338, 2015.
- KHORSHIDI, S. et al. A review of key challenges of electrospun scaffolds for tissue-engineering applications. **Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine**, v. 10, n. 9, p. 715–738, 2016.
- KUMBAR, S. G. et al. Electrospun nanofiber scaffolds: Engineering soft tissues. **Biomedical**

Materials, v. 3, n. 3, p. 034002, 2008.

LIU, W.; THOMOPOULOS, S.; XIA, Y. Electrospun nanofibers for regenerative medicine. **Advanced Healthcare Materials**, v. 1, n. 1, p. 10–25, 2012.

MAKRIS, E. A.; HADIDI, P.; ATHANASIOU, K. A. The knee meniscus: Structure–function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. **Biomaterials**, v. 32, n. 30, p. 7411–7431, out. 2011.

MCDERMOTT, I. D.; MASOUROS, S. D.; AMIS, A. A. Biomechanics of the menisci of the knee. **Current Orthopaedics**, v. 22, n. 3, p. 193–201, 2008.

MI, S. et al. A novel electrospinning setup for the fabrication of thickness-controllable 3D scaffolds with an ordered nanofibrous structure. **Materials Letters**, v. 160, p. 343–346, 2015.

MICKIEWICZ, P. et al. X-ray microtomography-based measurements of meniscal allografts. **Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research**, v. 101, n. 3, p. 319–324, 2015.

MOULTON, S. G. et al. Surgical Techniques and Outcomes of Repairing. **Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery**, v. 32, n. 9, p. 1919–1925, 2016.

PARK, S. H. et al. Creation of a Hybrid Scaffold with Dual Configuration of Aligned and Random Electrospun Fibers. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 4, p. 2826–2832, 2016.

PARK, S. H.; YANG, D. Y. Fabrication of aligned electrospun nanofibers by inclined gap method. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 120, n. 3, p. 1800–1807, 2011.

PETERSEN, W.; TILLMANN, B. Collagenous fibril texture of the human knee joint menisci. **Anatomy and Embryology**, v. 197, n. 4, p. 317–324, 1998.

PILLAY, V. et al. A Review of the Effect of Processing Variables on the Fabrication of Electrospun Nanofibers for Drug Delivery Applications. **Journal of Nanomaterials**, v. 2013, p. 1–22, 2013.

RENEKER, D. H.; YARIN, A. L. Electrospinning jets and polymer nanofibers. **Polymer**, v. 49, n. 10, p. 2387–2425, maio 2008.

REZAKHANIHA, R. et al. Experimental investigation of collagen waviness and orientation in the arterial adventitia using confocal laser scanning microscopy. **Biomechanics and Modeling in Mechanobiology**, v. 11, n. 3–4, p. 461–473, 2012.

RONGEN, J. J. et al. Biomaterials in search of a meniscus substitute. **Biomaterials**, v. 35, n. 11, p. 3527–3540, abr. 2014.

SHIMOMURA, K. et al. Meniscal repair and regeneration: Current strategies and future perspectives. **Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma**, v. 9, n. 3, p. 247–253, jul. 2018.

TRZECIAK, T. et al. Application of cell and biomaterial-based tissue engineering methods in the treatment of cartilage, menisci and ligament injuries. **International Orthopaedics**, v. 40, n. 3, p. 615–624, 14 mar. 2016.

VAN DER STRAETEN, C. et al. Meniscal allograft transplantation does not prevent or delay progression of knee osteoarthritis. **PLoS ONE**, v. 11, n. 5, p. 1–14, 2016.

WANG, X.; DING, B.; LI, B. Biomimetic electrospun nanofibrous structures for tissue engineering. **Materials Today**, v. 16, n. 6, p. 229–241, 2013.

WU, S. H.; QIN, X. H. Uniaxially aligned polyacrylonitrile nanofiber yarns prepared by a novel modified electrospinning method. **Materials Letters**, v. 106, p. 204–207, 2013.

XIE, J. et al. Radially aligned, electrospun nanofibers as dural substitutes for wound closure and tissue regeneration applications. **ACS Nano**, v. 4, n. 9, p. 5027–5036, 2010.

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

