

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 $\alpha-AL_2O_3$ 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

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

Data de aceite: 08/01/2020

Amanda Ramos Aragão Melo

Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro

José Carlos Dutra Filho

Instituto SENAI de Inovação em Biossintéticos

Maria Inês Bruno Tavares

Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO: As nanopartículas inorgânicas, como o óxido de zinco, geralmente agregam importantes funcionalidades e melhorias à matriz polimérica. Entretanto se considerarmos o Poli (ácido láctico) (PLA) esse efeito pode ser oposto, acelerando a degradação do PLA. Foi investigado a influência de baixas concentrações de ZnO (0,1, 0,5 e 1%mm) no PLA preparado na mini-extrusora Haake Minilab, através das técnicas de Difração de Raio X (DRX), Análise termogravimétrica (TGA), Calorimetria diferencial de varredura (DSC), Reologia e Ressonância magnética nuclear no domínio do tempo (RMN-TD). Observou-se com os resultados a dependência da estabilidade térmicas e das características reológicas com a concentração de ZnO no PLA, sendo a técnica de NMR relevante na descrição da mobilidade

molecular dos nanocompósitos, corroborando os dados obtidos por DRX.

PALAVRA-CHAVE: óxido de zinco, poli(ácido láctico), nanocompósito

CHARACTERIZATION OF PLA/ZNO NANOCOMPOSITE BY RHEOLOGY AND TD- NMR

ABSTRACT: Inorganic nanoparticles, such as zinc oxide, usually add new properties and enhancements to the polymer matrix. However, these effects in Poly (lactic acid) (PLA) may be the opposite, accelerating PLA degradation. The influence of ZnO low concentrations (0.1, 0.5 and 1% ww) on PLA prepared in Minilab Haake Mini-extruder was investigated, then analyzed by X ray diffraction (XRD), Thermogravimetric analysis (TGA), Differential scanning calorimetry (DSC), Rheology and Time domain nuclear magnetic resonance (TD-NMR). The results showed that the thermal stability and rheological characteristics were dependent on ZnO concentration, and the TD-NMR is relevant to describe the molecular mobility of nanocomposite, corroborating the data obtained by XRD.

KEYWORDS: zinc oxide, poly(lactic acid), nanocomposite

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por produtos sustentáveis, juntamente com o desenvolvimento de novas matérias-primas de origem biológica e a crescente restrição do uso de polímeros oriundos das petroquímicas favorecem o aumento de interesse por biopolímeros e polímeros biodegradáveis. Decerto, os biopolímeros competem em mercado com os polímeros tradicionais, apesar de apresentarem certas limitações, tal como a estreita janela de processamento, sensibilidade a umidade e temperatura e propriedades mecânicas inferiores ao dos polímeros convencionais (AURAS, R., LIM, L. T., SELKE, S. E. M., & TSUJI, 2014; CASTRO-AGUIRRE *et al.*, 2016; MURARIU *et al.*, 2015). Com intuito de contornar essas desvantagens é que os compósitos/nanocompósitos poliméricos vem sendo estudados (ANŽLOVAR; KRŽAN; ŽAGAR, 2018; BAGHERIASL *et al.*, 2016; GORRASI *et al.*, 2014; JING *et al.*, 2015; MURARIU *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2015) a metallic oxide nanofiller, that is, ZnO, has been dispersed into PLA without detrimental polyester degradation yielding PLA/ZnO nanocomposites directly suitable for producing films and fibers. The nanocomposites were produced by melt-blending two different grades of PLA with untreated ZnO and surface-treated ZnO nanoparticles. The surface treatment by silanization proved to be necessary for avoiding the decrease in molecular weight and thermal and mechanical properties of the filled polyester matrix. Silane-treated ZnO nanoparticles yielded nanocomposites characterized by good mechanical performances (tensile strength in the interval from 55 to 65 MPa, assim como as blendas poliméricas (AHMADZADEH; BABAEI; GOUDARZI, 2018; AHMED *et al.*, 2016) e o uso de aditivos, como os extensores de cadeia (AL-ITRY; LAMNAWAR; MAAZOUZ, 2015; MURARIU *et al.*, 2015; NAJAFI; HEUZEY; CARREAU, 2012).

O poli(ácido láctico) (PLA) teve sua primeira aplicação na área médica, nos anos 60, em implantes e dispositivos médicos. Na aplicação automotiva as fibras de PLA têm sido empregadas em tapetes e em outros detalhes mais rebuscados, como em decoração. Também tem sido utilizado em embalagens (copo de iogurte, filme *shrinkage*, garrafas para água e sucos), bem como, em objetos usados em alimentos (potes plásticos usados em micro-ondas) (GORRASI *et al.*, 2014), e na “plasticultura”, seu uso tem crescido bastante nos últimos 5 anos. Existem ainda aplicações em filtro de cigarro, impressão 3D e em tintas (CASTRO-AGUIRRE *et al.*, 2016; NONATO *et al.*, 2019).

Como nanopartícula (NP), os óxidos metálicos vêm ganhando atenção em diversas pesquisas, tais como engenharia de embalagens e medicina, dentre estes, destaca-se o óxido de zinco (ZnO) por sua elevada pureza e, sobretudo, sua característica não tóxica, sendo aprovado pelo FDA (US Food and Drug Administration), atividade biocida, baixo custo e propriedade de bloquear radiação ultravioleta (AHMED *et al.*, 2016; AURAS, R., LIM, L. T., SELKE, S. E. M., & TSUJI, 2014; MURARIU *et al.*, 2011). Todavia é imprescindível que as NP tenham alguma afinidade com a matriz polimérica para exercer sua função; do contrário as propriedades não serão desempenhadas,

podendo ainda o polímero ter outras propriedades comprometidas, tal como as propriedades mecânicas. Além disso, em casos bem específicos as NP apresentam efeitos indesejáveis, tal como favorecer a reação de despolimerização, em particular o efeito do ZnO no PLA (ABE et al., 2004; MURARIU et al., 2011).

Nesse sentido, foi avaliado o nível de dispersão do óxido de zinco no PLA amorfo, avaliando as alterações na morfologia do material através das técnicas (DRX, TGA e DSC) e correlacionando esses resultados com a reologia e a RMN no domínio do tempo. Os nanocompósitos foram obtidos em uma mini extrusora dupla rosca, com tempo de mistura de 5 min, e avaliou-se a influência das proporções de 0,1, 0,5 e 1% mm.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O poli (ácido láctico), grade 4060D, foi comprado da *Nature Worke* as nanopartículas de óxido de zinco foram obtidas da *Sigma-Aldrich* de tamanho <100nm. Os materiais não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento prévio.

2.1 METODOLOGIA

Os nanocompósitos PLA e ZnO foram preparados na mini extrusora Haake Minilab, dupla-rosca, modo contra rotacional, a 180 °C, 50 rpm e tempo de mistura de 5 minutos. As nanopartículas foram incorporadas à matriz de PLA nas proporções de 0.1, 0.5 e 1% m/m. Ambos os materiais foram previamente secos em estufa a vácuo a 70°C durante 12h.

2.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As análises foram realizadas no Difratorômetro de raios X Rigaku, modelo Ultima IV, operando com tensão e corrente de 40Kv e 30 mA, respectivamente. A fonte de emissão de raios X foi CuK α comprimento de onda em 1,542 Å. Os dados foram coletados na faixa de 2 θ igual a 2.5° a 40°, com passo de 0.01°/s.

2.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Avaliou-se a estabilidade térmica dos nanocompósitos no equipamento TA Instruments- modelo TGA Q-50, sob atmosfera inerte, taxa de aquecimento de 10°C/min na faixa de temperatura de 30°-700°C.

2.4 CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA

A temperatura de transição vítrea (T_g) foi obtida do equipamento *Instruments* Q.1000 sob o fluxo de N₂ de 50 ml/min, com a taxa de aquecimento de 5°C/min, na faixa de 10 oC a 200 oC.

2.5 REOLOGIA

As propriedades viscoelásticas do material foi estudada em regime de cisalhamento oscilatório no reômetro da TA *Instruments* AR 2000, utilizando a geometria de placas paralelas ($d= 25\text{mm}$ e $\text{gap}= 1\text{mm}$) em atmosfera inerte. As medidas foram feitas dentro do regime viscoelástico linear, sendo aplicada 5% de deformação a 190°C .

2.6 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR NO DOMÍNIO DO TEMPO

Para avaliar alterações na estrutura química e na dinâmica molecular do PLA com a adição do óxido de zinco foi estudado os tempos de relaxação dos núcleos de hidrogênio (1H) através da espectroscopia de ressonância magnética nuclear no estado sólido. As medidas foram feitas no equipamento de RMN Resonance Maran Ultra 0,54 T. A frequência de observação do núcleo de 1H foi de 23 MHz, empregando a técnica de inversão recuperação.

3 | RESULTADOS

3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A análise de DRX do PLA puro e dos nanocompósitos permitiu acompanhar alterações na morfologia do material que pode ser promovida pela presença do ZnO. De acordo com o difratograma apresentado na Figura 1 o PLA puro apresenta um halo na faixa de 2θ igual 10° até 27° , característica típica de materiais amorfos (GORRASI; PANTANI, 2013). É atribuído ao ZnO os picos em $2\theta= 31,7^{\circ}$, $34,4^{\circ}$ e $36,2^{\circ}$ que são correlacionados a estrutura hexagonal (*wurtzite*) (AHMED et al., 2016). O incremento de 0.1%mm de ZnO não promoveu mudanças na morfologia do material, aumentando a proporção de ZnO para 0.5 e 1%mm é possível notar o aparecimento dos picos característicos do zinco, localizados na mesma posição que o ZnO puro. Isto é um indício que a força cisalhante não foi capaz de promover a dispersão da NP na matriz polimérica, sendo assim a partir da concentração 0.5%mm pode ser esperado a presença de aglomerados. Em trabalho semelhante, Anzlov (2017) confirmou a presença de aglomerados de ZnO (1%mm) no PLA através da microscopia eletrônica de varredura, assim como observado por Ahmed e colaboradores (2016) ao prepararem filmes de PLA/PEG e ZnO pela metodologia *casting*. Foi visto que a intensidade dos picos característicos do ZnO presente no nanocompósito correlaciona-se diretamente com a proporção de NP incrementada na matriz, similarmente foi relatado pelo grupo de pesquisa de Jayaramudu (2014).

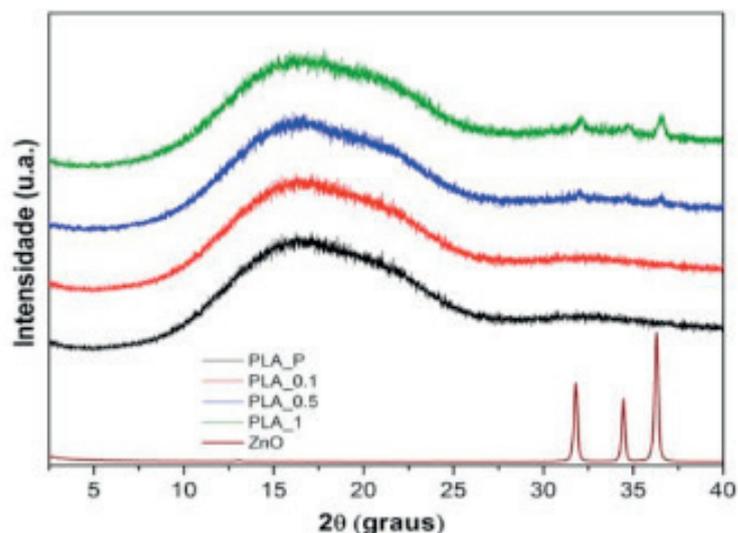


Figura 1. Difratograma do PLA puro e dos nanocompósitos PLA/ZnO

3.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A estabilidade térmica dos nanocompósitos encontra-se exibidas na curva de degradação e na derivada em função da temperatura nas Figura 2a e 2b, respectivamente. A adição da NP reduziu a estabilidade térmica do PLA em até 61 °C quando adicionado 1%mm de ZnO, conforme dados mostrados na Tabela 1. Importante mencionar que o óxido de zinco possui alta estabilidade térmica, sem apresentar variação na perda de massa na faixa de 25° a 700 °C. Durante a degradação térmica do PLA ocorreram cisões aleatórias na cadeia principal, dentre elas estão relacionadas as reações de hidrólise, eliminação-cis e intermolecular e intramolecular transesterificação; e reações de despolimerização (AURAS, R., LIM, L. T., SELKE, S. E. M., & TSUJI, 2014). Em estudos anteriores é relatado que o zinco residual pode catalisar as reações de degradação do PLA, reduzindo a temperatura inicial de degradação do PLA (ABE *et al.* , 2004; ANŽLOVAR; KRŽAN; ŽAGAR, 2018; JAYARAMUDU *et al.* , 2014; LIZUNDIA *et al.*, 2017; MURARIU *et al.* , 2011; NONATO *et al.* , 2019; PANTANI; TURNG, 2015)f. Na Figura 1b foi observado que há uma relação de dependência com a concentração de NP e o aumento na taxa de perda de massa. É reportado na literatura que presença de resíduos metálicos oriundos dos catalisadores utilizados nas reações de polimerização do ácido láctico influenciam a estabilidade térmica, basicamente os catalisadores formados por estanho, alumínio e zinco (ABE *et al.* , 2004; AURAS, R., LIM, L. T., SELKE, S. E. M., & TSUJI, 2014).

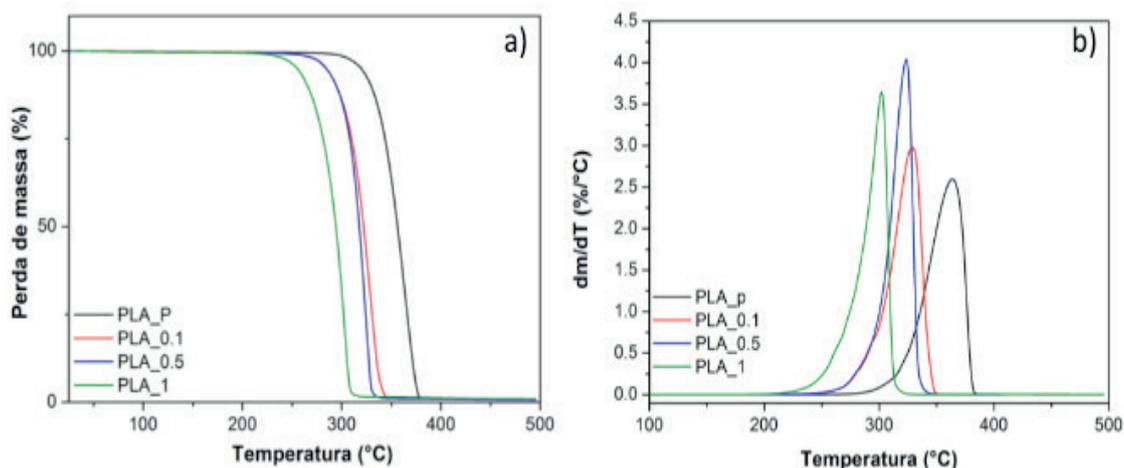


Figura 2. Curva de TGA a) e DTG b) do PLA puro e dos nanocompósitos PLA/ZnO

O PLA é muito suscetível a degradação térmica e a reações hidrólises que podem ocorrer durante o processo de extrusão. Confrontando os dados de TGA com os dados de Lizundia e colaboradores (2017), que obtiveram nanocompósitos de PLA/ZnO pelo método *casting*, empregando o uso do ultrassom para dispersar as nanopartículas, em ambos os trabalhos foi registrado o decréscimo na estabilidade térmica com o aumento da concentração de ZnO. O uso do ultrassom para dispersar fibras de ZnO no PLA pode causar cisão na cadeia de PLA, como observado por Nonato e colaboradores (2019). Portanto, pode ser considerado que as forças de cisalhamento durante a extrusão não acentuaram o efeito de degradação do PLA.

Amostra	T _{5%} (°C)	T _{10%} (°C)	T _{pico} (°C)	T _g (°C)
PLA	319	328	364	59
PLA_0.1	285	294	328	59
PLA_0.5	283	295	324	58
PLA_1	255	267	302	57

Tabela 1. Dados retirados da análise TGA (T_{5%}, T_{10%}, T_{pico}) e DSC (T_g)

T_{5%}- temperatura correspondente a perda de 5% de massa

T_{10%}- temperatura correspondente a perda de 10% de massa

T_{pico}- temperatura máxima retirada da DTG

Murariu e demais pesquisadores (2011) investigou o efeito catalítico do ZnO na degradação térmica preparando nanocompósito de PLA com ZnO sem tratamento superficial e outro modificado superficialmente com grupamentos silanos (ZnOs). A estabilidade térmica do PLA foi reduzida na presença de ambas as partículas, sendo esse efeito menor pronunciado para o ZnOs devido as diferentes interações entre PLA e NP modificada. Foi proposto pelo grupo de pesquisa de Lizundia (2017) que o óxido de zinco interage com oxigênio da ligação éster do PLA promovendo as diferentes

reações de despolimerização. Além da possibilidade de modificação superficial, é possível usar extensor de cadeia, como apresentado no trabalho de Pantani (2015), no qual obteve-se melhorias na estabilidade térmica ao adicionar na formulação PLA/ZnO Joncryl® devido ao aumento da massa molar do PLA.

A estabilidade térmica também foi investigada em condições isotérmicas, a 190 °C, durante 35 minutos. Não houve grandes alterações na estabilidade térmica dos nanocompósitos, como exibido na Figura 3, exceto para composição de 1% mm de ZnO que próximo de 10 min começou a perder massa, portanto para essa concentração o efeito de despolimerização e as reações de transesterificação foram mais pronunciadas quando comparadas aos outros sistemas. O mesmo comportamento foi observado pelo grupo Murariu (2011) à medida que aumentou a porcentagem de ZnO.

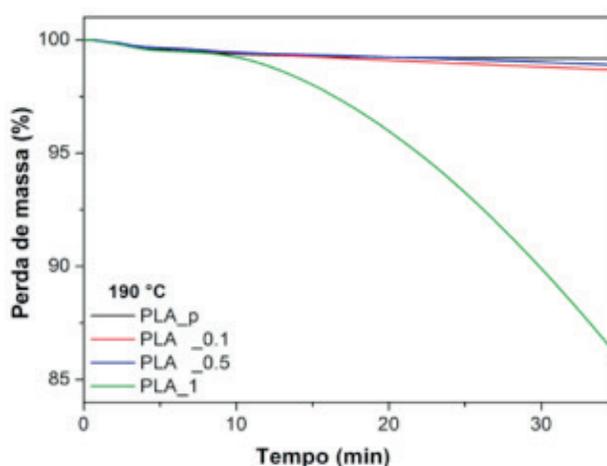


Figura 3. Curva de degradação isotérmica a 190 °C do PLA puro e dos nanocompósitos de PLA/ZnO

3.3 CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA

Na Figura 4 foi representado a segunda curva de aquecimento do PLA puro e dos nanocompósitos. Como foi visto nos resultados de DRX e confirmado pela análise de DSC, o PLA é amorfo e não apresenta nenhum pico referente a cristalização, e nem a presença da NP foi capaz de induzir cristalinidade no PLA. A adição de ZnO no PLA não alterou significativamente a transição vítrea (T_g), houve um leve deslocamento para menores temperaturas, como apresentado na Tabela 1. A massa molar do polímero interfere diretamente na T_g (ABE et al., 2004), uma vez que há o aumento na mobilidade das cadeias poliméricas devido ao aumento do volume livre gerado pelos terminais de cadeias dos oligômeros resultantes da ação do ZnO (GORRASI; PANTANI, 2013; NONATO et al., 2019), ambos os fatores contribuem para esse leve deslocamento no valor da T_g . Em contrapartida, Ahmed e colaboradores (2016) relatou um aumento no valor da T_g após a adição do ZnO a blenda de PLA/PEG (polietileno glicol), desse modo as NPs restringiram o movimento das cadeias poliméricas por terem efeito nucleante. Em outro estudo semelhante, foi atribuído pelos autores à não alteração nos valores

de T_g a restrição a mobilidade do PLA semicristalino causado pelo zinco e a ausência de quebra de cadeia que podem ocorrer durante a obtenção dos nanocompósitos (LIZUNDIA et al., 2016; NONATO *et al.*, 2019). O grupo de Pantani (2013) observou que esse comportamento é característico para materiais envelhecidos fisicamente.

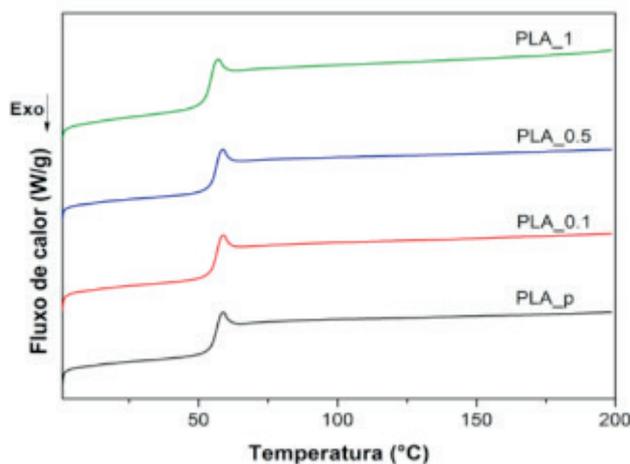


Figura 4. Curvas de DSC para o PLA puro e para os nanocompósitos de PLA/ZnO.

3.4 REOLOGIA

A viscosidade complexa (η^*), o módulo elástico (G') e viscoso (G'') em função da frequência estão exibidas na Figura 5 a e b, respectivamente. Essas propriedades medidas dentro do Regime viscoelástico linear fornecem informações sobre a estrutura dos materiais (AHMED *et al.*, 2016; BAGHERIASL *et al.*, 2016; JING *et al.*, 2015; NAJAFI; HEUZEY; CARREAU, 2012). As curvas de viscosidade do PLA e do PLA_0.1 foram similares, em seguida diminuiu para os nanocompósitos contendo 0.5 e 1% de ZnO. No entanto, todas as curvas de viscosidade complexa apresentaram o platô Newtoniano a baixas frequências, em sequência o decréscimo da viscosidade, exibindo o comportamento *shear thinning*.

A viscosidade foi sensivelmente alterada pela massa molar e por interações polímero-nanopartícula e polímero-polímero (NAJAFI; HEUZEY; CARREAU, 2012). O PLA_0.1 apresentou curvas de viscosidade semelhante ao do PLA, mesmo com a diminuição da estabilidade térmica vista no TGA. Portanto, sugere-se assim que houve interações entre as fases PLA e ZnO, sendo estas responsáveis por restringir a mobilidade do polímero. À medida que a concentração de óxido de zinco aumentou a η^* decresce, sendo esse efeito mais pronunciado para PLA_1, corroborando os dados de TGA e ao que foi relacionado por outros autores (MURARIU *et al.*, 2011). As cisões aleatórias que ocorrem no polímero resultam em cadeias menores e diferentes tamanhos, ampliando a mobilidade da cadeia de polímero ao passo que o nível de *entanglements* diminuem, logo as cadeias de PLA resistem menos ao cisalhamento, portanto escoam mais facilmente quando comparado ao PLA puro (AHMADZADEH; BABAEI; GOUDARZI, 2018; CHIMANOWSKY JUNIOR; DUTRA FILHO; TAVARES,

2017). O grupo de Murariu (2015) obtiveram resultados semelhantes para nanocompósito de PLA/ZnO, porém ao acrescentar Joncryl® à formulação a η^* aumentou devido ao aumento na massa molar, a mesma tendência foi observada por Najafi (2012), no qual a viscosidade complexa do PLA aumentou de aproximadamente de 10^3 para 10^5 Pa.s. Ahmed e demais pesquisadores (2016) atribui o decréscimo na viscosidade a baixa dispersão/distribuição do óxido de zinco no PLA/PEG, efeito ampliado pelo aumento gradual da concentração de NP.

Na Figura 5b os módulos de armazenamento e de perda aumentam com o aumento da frequência, e a baixas frequências o PLA e os nanocompósitos apresentam comportamento típico da zona terminal. Nessa região a resposta viscoelástica é dada em função da estrutura dos nanocompósitos (ZHANG *et al.*, 2015), assim pode-se afirmar que as propriedades mecânicas não foram melhoradas quando comparada ao do polímero puro, como nas curvas contendo 0.1 e 0.5 %mm de ZnO. A baixas frequências, as alterações na massa molar do PLA_1 influenciaram diretamente no declínio em G' e G'' uma vez que as cadeias poliméricas relaxaram mais quando comparado ao PLA puro.

Correlacionando os resultados acima com o de estabilidade térmica a 190°C , a estabilidade térmica do PLA_1.0 decai rapidamente após 10 min, enquanto os demais nanocompósitos e PLA puro permanecem constante, indicando que nessa concentração o efeito catalítico sobre a degradação é maior, favorecendo o aumento na mobilidade das cadeias poliméricas (AHMADZADEH; BABAEI; GOUDARZI, 2018).

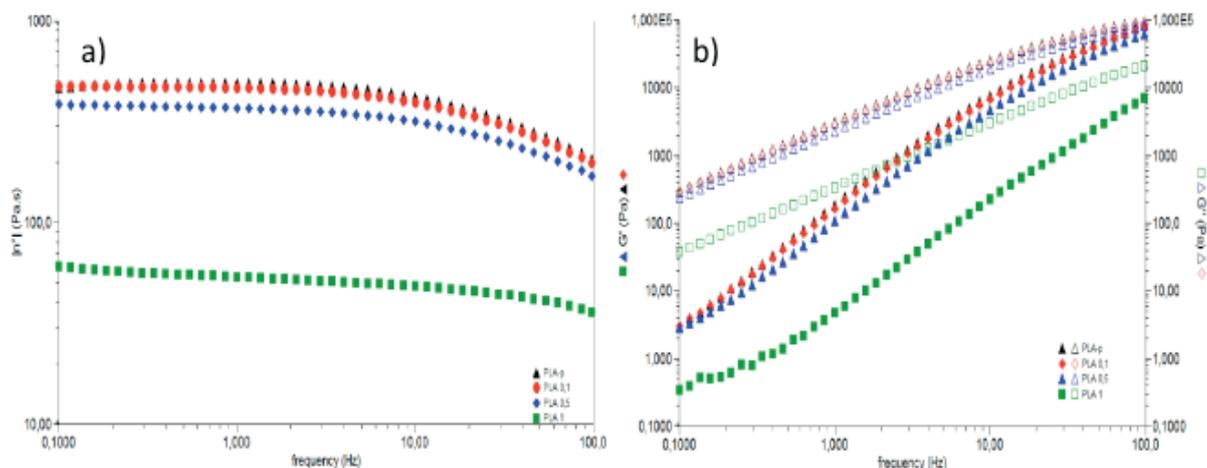


Figura 5. Propriedades reológicas do PLA e PLA/ZnO

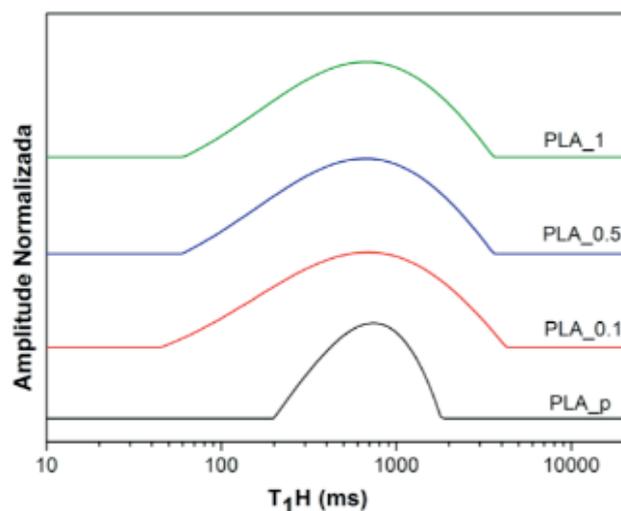
3.5 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR NO DOMÍNIO DO TEMPO

A Ressonância magnética nuclear no estado sólido é uma importante ferramenta na investigação dos materiais poliméricos a nível molecular, salientando o simples preparo da amostra e o fato de a técnica ser não-destrutiva, potencializando o seu uso (BESGHINI; MAURI, 2019). O processo de relaxação longitudinal do núcleo ^1H ou relaxação spin-rede (com constante de tempo T_1), envolve a transferência de energia

dos spins para as vizinhanças (rede), alterando o equilíbrio térmico dos spins, que varia em função da sua organização molecular e interações com os seus vizinhos; permitindo assim obter informações sobre a mobilidade molecular (mobilidade molecular), a qual está vinculada aos tipos e forças de interações existentes entre os componentes do nanocompósito e, por consequência nas mudanças na morfologia do polímero.

Na Figura 6 exibe-se a curva de domínio do PLA e PLA/ZnO, essas curvas fornecem informações importantes sobre a homogeneidade e heterogeneidade dos materiais, a primeira revela-se na forma de domínios definidos e únicos; e a segunda com domínios mais alargados e com a presença de mais de um domínio (BRITO; SEBASTIÃO; TAVARES, 2015). O PLA puro possui a base da curva de domínio mais definida quando comparada aos nanocompósitos, já que a morfologia e as interações são ditadas somente pelas interações entre PLA-PLA. Em contrapartida, a mobilidade molecular dos nanocompósitos foram alteradas, uma vez que novas interações foram criadas, como PLA-ZnO, PLA-PLA e ZnO-ZnO, contribuindo para dispersão das nanopartículas e por consequência a geração de uma heterogeneidade das amostras, como visto nas curvas de domínio mais alargadas (DE BUSTAMANTE MONTEIRO *et al.*, 2012).

As curvas de domínio não evidenciam alterações significativas à medida que foi aumentada a concentração de ZnO no PLA. No entanto, para o PLA_0.1 foi constatado maior heterogeneidade quando comparado aos demais nanocompósitos, eventualmente devido ao maior nível das interações PLA-ZnO. A presença do ZnO em menores quantidades tende a interagir mais com o PLA quando confrontado com os sistemas PLA_0.5 e PLA_1, como apresentado nos resultados de DRX as NP tendem a se aglomerarem. Conforme os dados de TGA e reologia, outro ponto a ser considerado é a redução da massa molar e a interferência das cadeias menores de PLA resultantes do processo de degradação promovida pelo ZnO, que favorecem a heterogeneidade do sistema. Alterações como essa na mobilidade molecular foi acompanhada durante a reciclagem do nanocompósito a base de poliestireno e argila (CHIMANOWSKY JUNIOR; DUTRA FILHO; TAVARES, 2017).



4 | CONCLUSÃO

Nanocompósitos a base de PLA e ZnO foram preparados na mini extrusora dupla-rosca e caracterizados por DRX, TGA, DSC, Reologia e RMN no domínio do tempo. Através dessas técnicas conclui-se que o cisalhamento imposto durante o processo de extrusão não foi capaz de dispersar bem o óxido de zinco, como visto por DRX o aparecimento dos picos característicos do ZnO nas composições de 0,5 e 1%mm. Corroborando o DRX, os dados de reologia em conjunto com os dados de RMN mostraram que não houve aumento das propriedades mecânicas do PLA e nem boas interações PLA-NP, uma vez que não foram obtidos sistemas homogêneos. Ademais a estabilidade térmica mostrou-se dependente da concentração de ZnO, sem que a T_g do material fosse significativamente alterada.

REFERÊNCIAS

ABE, H. et al. **Thermal degradation processes of end-capped poly(L-lactide)s in the presence and absence of residual zinc catalyst.** *Biomacromolecules*, v. 5, n. 4, p. 1606–1614, 2004.

AHMADZADEH, Y.; BABAEI, A.; GOUDARZI, A. **Assessment of localization and degradation of ZnO nano-particles in the PLA / PCL biocompatible blend through a comprehensive rheological characterization.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 158, p. 136–147, 2018.

AHMED, J. et al. **Mechanical, structural and thermal properties of Ag-Cu and ZnO reinforced polylactide nanocomposite films.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 86, p. 885–892, 2016.

AL-ITRY, R.; LAMNAWAR, K.; MAAZOUZ, A. **Biopolymer Blends Based on Poly (lactic acid): Shear and Elongation Rheology/Structure/Blowing Process Relationships.** p. 939–962, 2015.

ANŽLOVAR, A.; KRŽAN, A.; ŽAGAR, E. **Degradation of PLA/ZnO and PHBV/ZnO composites prepared by melt processing.** *Arabian Journal of Chemistry*, v. 11, n. 3, p. 343–352, 2018.

AURAS, R., LIM, L. T., SELKE, S. E. M., & TSUJI, H. **Poly (Lactic Acid) Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications.** [s.l.: s.n.].

BAGHERIASL, D. *et al.* **Shear rheology of polylactide (PLA)–cellulose nanocrystal (CNC) nanocomposites.** *Cellulose*, v. 23, n. 3, p. 1885–1897, 2016.

BESGHINI, D.; MAURI, M. applied sciences **Time Domain NMR in Polymer Science** : From the Laboratory to the Industry. 2019.

BRITO, L. M.; SEBASTIÃO, P. J. O.; TAVARES, M. I. B. **NMR relaxometry evaluation of nanostructured starch-PLA blends.** *Polymer Testing*, v. 45, p. 161–167, 29 jun. 2015.

CASTRO-AGUIRRE, E. et al. *Poly (lactic acid) — Mass production , processing , industrial applications , and end of life* ☆. 2016.

CHIMANOWSKY JUNIOR, J. P.; DUTRA FILHO, J. C.; TAVARES, M. I. B. **Nuclear magnetic resonance as a powerful tool for evaluation of intermolecular interaction: Correlation with**

rheological measurements of recycled nanocomposite. *Polymer Testing*, v. 63, p. 417–426, 2017.

DE BUSTAMANTE MONTEIRO, M. S. D. S. *et al.* **Inorganic-organic hybrids based on poly (ϵ -Caprolactone) and silica oxide and characterization by relaxometry applying low-field NMR.** *Materials Research*, v. 15, n. 6, p. 825–832, nov. 2012.

GORRASI, G. *et al.* **PLA/halloysite nanocomposite films: Water vapor barrier properties and specific key characteristics.** *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 299, n. 1, p. 104–115, 2014.

GORRASI, G.; PANTANI, R. **Effect of PLA grades and morphologies on hydrolytic degradation at composting temperature: Assessment of structural modification and kinetic parameters.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 98, n. 5, p. 1006–1014, 2013.

JAYARAMUDU, J. *et al.* **Structure and properties of highly toughened biodegradable polylactide/ZnO biocomposite films.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 64, p. 428–434, 2014.

JING, Z. *et al.* **Rheology and crystallization behavior of PLLA/TiO₂-g-PDLA composites.** *Polymers for Advanced Technologies*, v. 26, n. 5, p. 528–537, 2015.

LIZUNDIA, E. *et al.* **Physical aging and mechanical performance of poly(l-lactide)/ZnO nanocomposites.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 133, n. 45, p. 1–7, 2016.

LIZUNDIA, E. *et al.* **Towards the development of eco-friendly disposable polymers: ZnO-initiated thermal and hydrolytic degradation in Poly (L- lactide)/ZnO nanocomposites.** *Dalton Transactions*, v. 47, n. 23, p. 7634–7639, 2017.

MURARIU, M. *et al.* **High-performance polylactide/ZnO nanocomposites designed for films and fibers with special end-use properties.** *Biomacromolecules*, v. 12, n. 5, p. 1762–1771, 2011.

MURARIU, M. *et al.* **Current progress in the production of PLA-ZnO nanocomposites: Beneficial effects of chain extender addition on key properties.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n. 48, 1 dez. 2015.

NAJAFI, N.; HEUZEY, M. C.; CARREAU, P. J. **Poly(lactide (PLA) -clay nanocomposites prepared by melt compounding in the presence of a chain extender.** v. 72, p. 608–615, 2012.

NONATO, R. C. *et al.* **Nanocomposites of PLA containing ZnO nanofibers made by solvent cast 3D printing: Production and characterization.** *European Polymer Journal*, 2019.

PANTANI, R.; TURNG, L.-S. **Manufacturing of advanced biodegradable polymeric components.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n. 48, p. n/a-n/a, 20 dez. 2015.

ZHANG, H. *et al.* **Preparation, characterization and properties of PLA/TiO₂ nanocomposites based on a novel vane extruder.** *RSC Advances*, v. 5, n. 6, p. 4639–4647, 2015.

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 lático) 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

