

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MATERIALS ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MATERIALS ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied materials engineering / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-861-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.615222801>

1. Materials engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia dos materiais é o ramo da engenharia que trata dos materiais como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos, reunindo estudos científicos e aplicações práticas para a obtenção de novos materiais que são fundamentais para o desenvolvimento da sociedade, pois propiciam maior segurança e a qualidade de vida no uso cotidiano de veículos, máquinas e estruturas como edifícios, pontes e viadutos.

Porém, não basta criar um novo material, há necessidade de compreender suas propriedades como dureza, resistência ao calor e à corrosão que permitem sua aplicação em diversas áreas da indústria, bem como seu processo de produção.

A presente obra “Collection: Applied materials engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia de materiais em polímeros descartáveis, manufatura aditiva com aços de baixo carbono de baixa liga, caracterização de filmes de titânio, determinação de coeficientes de fricção em materiais médicos, desfosforação do ferro-gusa, inibidores de corrosão em materiais metálicos, inibidores poliméricos de hidratos de gás, microgeis de acrilamida e amido enxertado como doadores de óxido nítrico e a usinabilidade de ligas refratárias.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS DO TIPO DE TPE E DO TEOR DE COMPATIBILIZANTE NA PROCESSABILIDADE DE BLENDS DE PLA/TPES EM MISTURADOR DE CÂMARA INTERNA

Giordano Pierozan Bernardes
Nathália da Rosa Luiz
Ruth Marlene Campomanes Santana
Maria Madalena de Camargo Forte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228011>

CAPÍTULO 2..... 14

EVALUATION OF HIGH STRENGTH LOW ALLOY CARBON STEEL PRODUCED WITH WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY AND ITS POSSIBLE APPLICATION IN THE OIL AND GAS SECTOR

Alexis Van Wesemael
Luciana Iglésias Lourenço Lima
Ronaldo de Faria Antunes
Bertrand Maillon
Xavier Gostiaux
Laurent Faivre

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228012>

CAPÍTULO 3..... 27

CARACTERIZAÇÃO FOTOCRÔMICA E FOTOCATALÍTICA DE FILMES DE TiO₂ OU DE TiO₂ MISTURADOS A DOIS DIFERENTES PRECURSORES DE TUNGSTÊNIO

Luana Góes Soares da Silva
Annelise Kopp Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228013>

CAPÍTULO 4..... 45

DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN EN MEDIAS MEDICAS DE COMPRESIÓN

Elvira Cruz Osorio
Mónica Cristina Cortés Martínez
Martínez Estela Flores Gómez
José Alberto Cortés Martínez
Laura Patricia Sandoval Florín
Claudia Hernández Hernández
Rocío Garrido Adame
Teresa Ramírez Rodríguez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228014>

CAPÍTULO 5..... 54

ESTUDO DA INFLUENCIA DA MASSA DE ESCÓRIA E DO BANHO NA DESFOSFORAÇÃO

DE FERRO GUSA ATRAVÉS DE TERMODINMICA COMPUTACIONAL

Anna Paula Littig Berger
Daniela Bahiense de Oliveira
Cynara Christ Klippel
Camila Santos Scopel
Felipe Faridn Grillo
José Roberto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228015>

CAPÍTULO 6..... 67

INIBIDORES DE CORROSÃO DA LINHA VERDE: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Daniel Víctor Carlos de Noronha
Jardel Dantas da Cunha
Andréa Francisca Fernandes Barbosa
Antônio Robson Gurgel
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228016>

CAPÍTULO 7..... 85

METODOLOGIA DE TRIAGEM RÁPIDA PARA AVALIAÇÃO DE POTENCIAIS INIBIDORES POLIMÉRICOS DE HIDRATOS DE GÁS

Kelly Cristine da Silveira
Elizabeth Fernandes Lucas
Colin D. Wood

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228017>

CAPÍTULO 8..... 94

MICROGEIS DE ACRILAMIDA E AMIDO ENXERTADO COM DOADORE DE NO

Regiane da Silva Gonzalez
Lucas Toshitaka Yatsugafu Longo
Mylene Ardenghi de Lima
Amanda Ardenghi dos Santos
Giovanna Conrado Quadros
Thais Oliveira da Silva
Thais Tiemi Tomiyama
Lucas Umberto Desante Lopes
Ana Paula Peron
Aldo Eloizo Job

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228018>

CAPÍTULO 9..... 105

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS PARA A BAIXA USINABILIDADE DO INCONEL 718 COM FOCO NO PROCESSO DE FRESAMENTO

Luís Fillipe Lopes Torres
Gabriel de Paiva Silva
Geovanna Diniz Mendonça
Déborah de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6152228019>

SOBRE O ORGANIZADOR.....	116
ÍNDICE REMISSIVO.....	117

AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS DO TIPO DE TPE E DO TEOR DE COMPATIBILIZANTE NA PROCESSABILIDADE DE BLENIDAS DE PLA/TPE EM MISTURADOR DE CÂMARA INTERNA

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 14/10/2021

Giordano Pierozan Bernardes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
(UNIOESTE) – Centro de Engenharias e
Ciências Exatas (CECE) - Campus Foz do
Iguaçu
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9100356128690886>

Nathália da Rosa Luiz

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS) – Departamento de Engenharia de
Materiais (DEMAT) – Laboratório de Materiais
Poliméricos (LAPOL)
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/6895465680293098>

Ruth Marlene Campomanes Santana

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS) – Departamento de Engenharia de
Materiais (DEMAT) – Laboratório de Materiais
Poliméricos (LAPOL)
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0920196032137472>

Maria Madalena de Camargo Forte

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS) – Departamento de Engenharia de
Materiais (DEMAT) – Laboratório de Materiais
Poliméricos (LAPOL)
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/5920715598402579>

RESUMO: Poli (ácido láctico) (PLA) é um dos mais relevantes e estudados polímeros biodegradáveis em vista de seu elevado módulo elástico, biocompatibilidade e obtenção de fontes renováveis. Entretanto, suas baixas absorção de impacto e deformação na ruptura limitam seu emprego em várias aplicações onde normalmente polímeros *commodities* são usados. Uma das alternativas para balancear módulo-absorção de custo e reduzir o custo do PLA é através da mistura com elastômeros termoplásticos (TPEs), formando blendas poliméricas, as quais muitas vezes são aditivadas com agentes compatibilizantes (AgC) para melhorar a interação entre as fases. A etapa de processamento é um dos pontos críticos na produção de uma blenda, afetando a formação da fase dispersa, seu tamanho e sua distribuição na matriz. Nesta pesquisa foram averiguadas as influências do tipo TPE e da presença de AgC na processabilidade de blendas de PLA/poliuretano termoplástico (TPU) e PLA/elastômero de etileno (EE) sem e com o compatibilizante terpolímero etileno-acrilato de butila-metacrilato de glicidila (EBG). As blendas PLA/TPEs foram preparadas nas proporções mássicas de 10 e 30% em misturador de câmara interna, sendo as blendas PLA/TPEs (70/30) aditivadas com 5%EBG, e a blenda PLA/TPU (70/30) aditivada com os teores com 2,5 e 7,5%EBG. Resultados mostraram que a presença de TPU elevou o torque (e, conseqüentemente, a viscosidade) do PLA em todos os teores avaliados, enquanto EE reduziu o torque, indicando possível plastificação do PLA. A adição de EBG aumentou o torque e a viscosidade das blendas PLA/TPE, sobretudo

nas blendas PLA/TPU, devido a uma mais intensa interação intermolecular. O torque estabilizado das blendas PLA/TPU foi praticamente o mesmo para teores de até 5%EBG, enquanto 7,5%EBG aumentou este parâmetro, o que sugeriu uma interação intermolecular mais intensa entre as cadeias de PLA-TPU e uma possível melhor dispersão dos componentes desta blenda para esta formulação.

PALAVRAS-CHAVE: PLA, TPE, compatibilizante, misturador de câmara interna.

EVALUATION OF TPE TYPE AND COMPATIBILIZER AGENT CONTENT INFLUENCES ON PLA/TPES BLENDS PROCESSABILITY IN INNER CHAMBER MIXER

ABSTRACT: Poly (lactic acid) (PLA) is one of the most relevant and studied biodegradable polymers in reason of its high elastic modulus, biocompatibility, and is obtained from renewable resources. However, PLA's low impact absorption and elongation at break hinder its use in application normally commodities polymers are employed. One alternative to balance modulus-impact absorption and to decrease PLA cost is to blend it with thermoplastic elastomers (TPEs), forming polymer blends, which usually require the use of compatibilizer agents (AgCs) to increase phase interaction. The processing step is one of the critical points during blend preparation, affecting the dispersive phase formation, size, and distribution over the matrix. In this research, PLA/thermoplastic polyurethane (TPU) and PLA/ethylene elastomer (EE) blends with and without ethylene-butyl acrylate-glycidyl methacrylate (EBG) terpolymer compatibilizer agent were prepared and evaluated regarding the influence of TPE type and AgC presence on PLA/TPE blends processability. PLA/TPEs blends were prepared in 10% and 30%-weight proportions in an internal mixer chamber, in which PLA/TPEs 70/30 blends were mixed with 5%EBG, which PLA/TPU 70/30 blends were also mixed with 2.5 and 7.5%EBG. TPU presence increased PLA torque (and, consequently, viscosity) for all TPU content evaluated, while EE reduced PLA torque, indicating a probable plasticization of PLA. EBG incorporation rose PLA/TPE blends' torque and viscosity, especially for PLA/TPU, which was attributed to a stronger intermolecular interaction. PLA/TPU blends' steady torque was practically the same for EBG content up to 5% w/w, while 7.5%EBG increased this parameter, suggesting a more intense intermolecular interaction between PLA-TPU chains and a possible better polymer blend component dispersion for this formulation.

KEYWORDS: PLA, TPE, compatibilizer, inner chamber mixer.

1 | INTRODUÇÃO

O poli (ácido láctico) (PLA) é um dos mais importantes polímeros biodegradáveis estudados (Farah *et al.*, 2016), em vista de sua obtenção a partir de fontes naturais (Jamshidian *et al.*, 2010), elevada rigidez (deformação na ruptura é inferior a 10%) (Sangeetha *et al.*, 2018), biodegradabilidade (Kfoury *et al.*, 2013) e considerável fragilidade devido à sua temperatura de transição vítrea (T_g) estar acima da temperatura ambiente (55-56°C) (Krishnan *et al.*, 2016). Comumente o PLA é tenacificado através de blendas poliméricas (Shi *et al.*, 2017) para reduzir seu elevado custo e melhorar o balanço rigidez-absorção de impacto, sendo os principais representantes elastômeros (Detyothin *et al.*,

2013) e polímeros biodegradáveis flexíveis (Li *et al.*, 2014). Dentre as diversas opções, destacam-se elastômeros poliolefinicos (Feng *et al.*, 2013) copolímeros etileno-éster (Zhang *et al.*, 2016), poliuretano termoplástico (Liu *et al.*, 2016), poli(*e*-caprolactona) (PCL) (Navarro-Baena *et al.*, 2016), poli (succinato de butileno) (PBS) (Luzi *et al.*, 2016) e poli (butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) (Arruda *et al.*, 2015).

A formação de uma blenda polimérica e de suas fases é afetada pelas características de seus componentes, como fração volumétrica, tensão interfacial, módulo e viscosidade, bem como por aspectos ligados ao processamento, como a taxa de cisalhamento empregada (Steinmann, Gronski, Friedrich, 2001). Dentre estes, para blendas imiscíveis, a tensão interfacial exerce grande influência na formação da morfologia da blenda (Wang *et al.*, 2006). Mahumuda *et al.* (2019) avaliaram as transições térmicas de blendas PLA/TPU, observando que o aumento do teor de TPU de 0 para 50% na matriz de PLA resultou em blendas em que TPU formou fases separadas e arredondadas na matriz de PLA, as quais cresceram em tamanho com o aumento do %TPU. Zhao, Huang e Zhang (2015) avaliaram o comportamento mecânico e a morfologia de blendas PLA/TPU 80/20 compatibilizadas com 4,4-diisocianato de difenilmetano (MDI), notando que a adição de 0,8%MDI aumentou a deformação na ruptura da blenda de cerca de 139,8 para próximo de 392,4%, com as partículas de TPU mais bem aderidas à matriz de PLA segundo as micrografias de fratura.

Em termos de miscibilidade, blendas poliméricas são classificadas em imiscíveis, parcialmente miscíveis e totalmente miscíveis e esta classificação também é refletida na morfologia e na T_g da blenda. De acordo com Zeng, Li e Du (2015), blendas completamente miscíveis apresenta morfologia homogênea e apenas uma T_g (situada entre as T_gs dos componentes). Uma blenda parcialmente miscível apresenta separação de fases, em que cada uma das fases apresenta uma pequena porção da outra dissolvida em seu domínio e 2 T_gs (referentes a cada componente). Uma blenda totalmente imiscível possui morfologia com partículas de tamanho não-uniforme e pobre adesão das fases, com a T_g dos componentes sendo praticamente invariante com a proporção entre estes. Muitas blendas, devido à baixa afinidade química entre seus componentes, são modificadas pela agente compatibilizante (AgC), adição de baixos teores de um 3° polímero, tratamento de interface ou dos componentes por radiação ou mistura reativa (Uthaipan *et al.*, 2017), cuja finalidade é aumento da adesão interfacial e conseqüente melhora da interação entre as fases. Jiang *et al.* (Jiang *et al.*, 2014) avaliaram a compatibilização de blendas PLA/poli (tereftalato de etileno glicol) (PETG) 80/20 por PLA *graftizado* com anidrido maleico (PLA-g-AM), observando que presença de PLA-g-AM refinou as partículas de PETG na matriz de PLA e aumentou a deformação na ruptura da blenda PLA/PETG 80/20 de 8,2 para 28,7% após a adição de 3%PLA-g-AM.

Blendas poliméricas podem muitas vezes ser preparadas por extrusão, injeção ou por *casting* (dissolução dos componentes por um solvente ou mistura de solventes em comum). Alternativamente, o uso de misturadores de câmara interna é uma opção de baixo custo e

de rápida operação, demandando pouca quantidade de amostra por batelada (Canedo *et al.*, 2014). Neste processo, podem-se extrair informações relacionadas ao comportamento reológico e da processabilidade da amostra através da mudança da temperatura de massa, torque e energia mecânica específica (EME) em função do tempo. Estes parâmetros podem ser relacionados, inclusive, a informações de viscosidade, taxa e tensão de cisalhamento e interações intermoleculares entre os componentes da blenda.

Em trabalho anterior (Bernardes *et al.*, 2019) procurou-se analisar como a EME (total de energia transferida dos rotores para mistura da blenda, em uma certa temperatura) se relacionava com a viscosidade e as propriedades de interface de blendas PLA/elastômero termoplástico (TPE). Na pesquisa, foram caracterizadas blendas PLA/TPU e PLA/elastômero de etileno (EE) sem e com compatibilizante terpolímero etileno-acrilato de butila-metacrilato de glicidila (EBG). As blendas com TPU, independentemente de EBG, tiveram maior viscosidade e EME e mais baixa tensão interfacial em comparação com as blendas de PLA/EE. Como sequência a esta investigação, o presente trabalho tratará sobre como o teor/tipo de TPE, bem como o teor de EBG afeta a processabilidade do PLA em câmara de mistura interna e como os dados de processabilidade podem ser relacionados a viscosidade e propriedades de interface de blendas PLA/TPEs sem e com EBG.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os polímeros utilizados nesta pesquisa, bem como dados de suas propriedades físicas, reológicas, térmicas, estão listados na Tabela 1.

Polímero	Densidade (g/cm ³)	IF (g/10 min)	T _g (°C)	T _m (°C)	Empresa
Poli (ácido láctico) (PLA)	1,24	35*	60	170	NatureWorks
Poliuretano termoplástico base éster aromático (TPU)	1,20	2*	-37	162	Huntsmann
Elastômero de etileno (EE)	0,87	23**	-45	43	DuPont
Terpolímero etileno-acrilato de butila-metacrilato de glicidila (EBG)	0,94	12*	-45	74	DuPont

*Condição: 190°C/2,16 kg // **Condição: 280°C/2,16 kg.

Tabela 1. Informações técnicas das propriedades físicas, reológicas e térmicas de PLA, TPEs e EBG

2.2 Preparação das blendas PLA/TPE em misturador interno

PLA, EBG e TPU foram aquecidos a 50°C durante 24h para remoção de umidade,

enquanto EE foi aquecido a 30°C pelo mesmo intervalo de tempo. Os componentes das blendas PLA/TPE foram pesados em balança analítica e misturados por agitação mecânica em um recipiente antes de serem adicionados ao misturador de câmara interna. Todas as formulações possuíram massa igual a 60 g. A preparação das blendas foi feita em um misturador de câmara interna Haake (modelo Haake Rheodrive 7 Rheomix OS; volume da câmara interna: 60 cm³) a 190°C por 8 min, com velocidade de rotação dos rotores a 60 rpm. As formulações das blendas PLA/TPE se encontram na Tabela 2:

Nomenclatura da amostra	PLA/TPU/EBG (%)	PLA/EE/EBG (%)
PLA	100/0/0	100/0/0
PLA1T	90/10/0	-
PLA3T	70/30/0	-
PLA3T-2C	67,5/30/2,5	-
PLA3T-5C	65/30/5	-
PLA3T-7C	62,5/30/7,5	-
PLA1E	-	90/10/0
PLA3E	-	70/30/0
PLA3E-5C	-	65/30/5

Tabela 2. Nomenclatura e composição mássica das amostras estudadas

2.3 Processabilidade de PLA e blendas PLA/TPEs

A avaliação da processabilidade do PLA e blendas PLA/TPEs foi feita através das determinações dos torques máximo ($M_{m\grave{a}x}$) e estabilizado (M_{est}) (estimado pela média aritmética entre os valores de torque medidos entre 4 e 8 min) das curvas torque x tempo de mistura.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No artigo anterior (Bernardes *et al.*, 2019), discutiu-se que a estrutura química dos meros de PLA e de TPU, as quais apresentam grupamentos polares (éster, no caso do PLA, e isocianato e polioliol, no caso do TPU) resultariam em uma mais intensa interação intermolecular, o que favoreceria uma tendência à aproximação das macromoléculas destes polímeros. Em contrapartida, a comparação entre os meros de PLA e EE (este contendo uma cadeia principal do tipo hidrocarbônica) sugeriu que estes 2 polímeros não apresentariam interações intermolecular intensas, e, conseqüentemente, suas macromoléculas se aproximariam menos. A adição de EBG, por ser um terpolímero que apresenta estrutura apolar (cadeias etilênicas) e polar (estruturas de acrilato e metacrilato), aumentaria a interação entre as macromoléculas de PLA-TPE, independentemente da

natureza química do TPE estudado. Estas hipóteses foram confirmadas pelos resultados de tensão interfacial (a 25°C e a 190°C), viscosidade (a 190°C) e Energia Mecânica Específica (EME) (a 190°C) das blendas PLA/TPE sem e com EBG. PLA/TPU tiveram menor tensão interfacial (portanto maior interação entre suas cadeias) e mais alta viscosidade e EME, especialmente com o uso de EBG. Em contrapartida, o emprego de EBG na blenda PLA/EE gerou pequena redução na tensão interfacial desta blenda e menor aumento na EME, indicando que a interação intermolecular não aumentou consideravelmente.

As curvas de torque em função do tempo de mistura para as blendas PLA/TPU e PLA/EE são mostradas na Figura 1, enquanto a Tabela 3 apresenta os resultados de torque máximo ($M_{\text{máx}}$) e torque estabilizado (M_{est}) de PLA e blendas PLA/TPE (sem e com EBG). As Figs. 1a e 1c apresentam a curva de torque em todo o período de mistura para as blendas PLA/TPU e PLA/EE, enquanto as Figs. 1b e 1d mostram o intervalo de tempo de mistura onde o torque apresentou pequena variação de seus valores (sendo considerado aproximadamente estável) para as mesmas blendas.

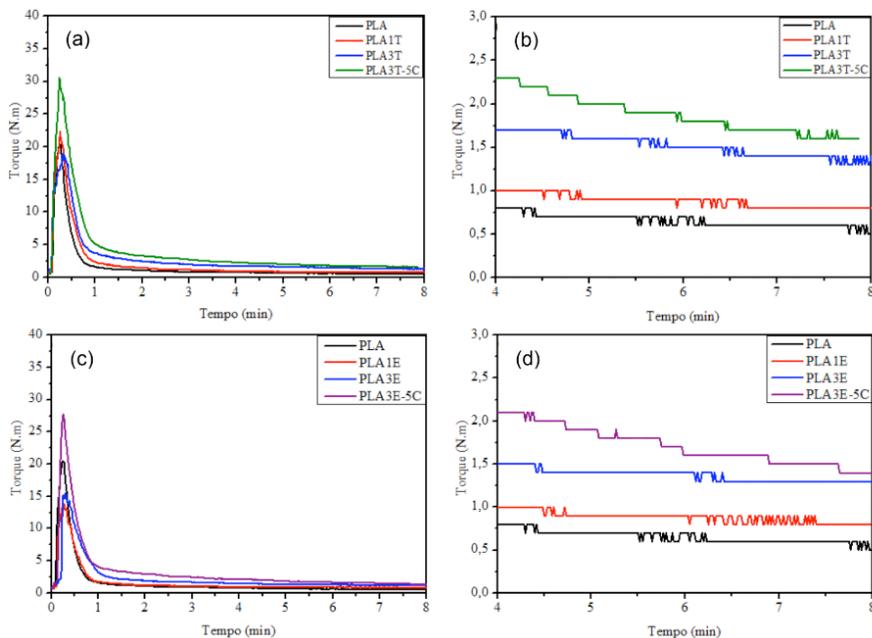


Figura 1: Curvas de torque vs. tempo e magnificadas na região de torque estável das blendas PLA/TPU (a,b) e PLA/EE (c,d).

Amostra	$M_{\text{máx}}$ (N.m)	M_{est} (N.m)
PLA	20,5	0,62
PLA1T	22,3	0,85
PLA3T	19,0	1,42
PLA3T-2C	31,8	1,72
PLA3T-5C	30,5	1,72
PLA3T-7C	29,8	2,00
PLA1E	13,9	0,85
PLA3E	15,5	1,35
PLA3E-5C	27,7	1,52

Tabela 3. Valores dos torques máximo e estabilizado do PLA e das blendas PLA/TPEs

A curva torque versus tempo de mistura é caracterizada por 2 regiões bastante distintas com base no torque máximo. Uma vez que o torque depende do esforço que os rotores precisariam fazer para misturar a amostra, pode-se associar esta grandeza de processamento à viscosidade da amostra, a qual também é uma medida da resistência ao fluxo. Na região entre $t = 0$ e $M = M_{\text{máx}}$, a amostra é gradualmente amolecida pelo calor enquanto sofre cisalhamento dos rotores, o que resulta na deformação elástica dos grânulos e na dissipação de energia devido à atrito e deformação plástica. Consequentemente, o torque cresce com o tempo, o que poderia também ser explicado pelos maiores valores de viscosidade, uma vez que o polímero ainda não se encontra no estado fundido. A 2ª porção da curva (após $M = M_{\text{máx}}$ e até o final do processamento) é caracterizado pelo material se encontrar completamente no estado fundido, escoando devido à deformação imposta pelo rotor e pela redução da viscosidade (Canedo e Alves, 2015). Observa-se, nesta região, que após um certo intervalo de tempo, o torque apresenta uma pequena variação com o tempo, sendo considerado, por aproximação, como estável.

TPU apresentou um índice de fluidez muito inferior ao do PLA (Tab. 1), indicando que este TPE apresente maior viscosidade do que o PLA. Uma vez que PLA-TPU apresentaram mais intensa interação intermolecular, seria também esperado que os valores de torque das blendas PLA-TPU até $M = M_{\text{máx}}$ fossem maiores do que o PLA puro. Entretanto, conforme as curvas de torque da Fig. 1a apontam, a adição de TPU teve pouca interferência no torque de mistura do PLA, corroborado pelos valores de $M_{\text{máx}}$ de PLA e blendas PLA/TPU e pela similaridade das curvas. Uma possível explicação para este resultado inesperado pode ser atribuída ao intervalo de fusão do PLA e TPU, uma vez que estes polímeros apresentam pico de fusão em 170 °C e 162 °C (respectivamente) e que ambos os polímeros apresentam baixa cristalinidade, o que resultaria em ambos serem fundidos em um intervalo de tempo próximo. Em contrapartida, a Fig. 1b indicou que o torque estabilizado (M_{est}) das blendas de PLA/TPU foi maior comparativamente ao PLA puro (especialmente a blenda contendo 30%TPU). Este resultado também vai ao encontro do observado nas curvas

de viscosidade x taxa de cisalhamento no trabalho anterior (Bernardes *et al.*, 2019), em que a adição de TPU aumentou gradativamente a viscosidade das blendas PLA/TPU em contraste ao PLA puro. O aumento do torque estabilizado em blendas com outros tipos de TPEs também foi identificado na pesquisa de Aróstegui e Nazábal (2003) sobre blendas poli (tereftalato de butileno) (PBT)/copolímero etileno-metacrilato de glicidila (EGMA), em que a blenda PBT/EGMA 80/20 apresentou torque estabilizado em 12 N.m em comparação à aproximadamente 2. N.m do PBT puro.

Apesar da mais baixa interação intermolecular entre PLA-EE (com base na tensão interfacial PLA-EE) (Bernardes *et al.*, 2019), a adição de EE resultou em menores valores de torque para as blendas PLA-EE no intervalo entre $t = 0$ e $M = M_{\text{máx}}$ (Fig. 1c), implicando que o EE possa ter tido um papel similar a um plastificante localizado entre as cadeias do PLA. Uma possível justificativa para este comportamento é atribuída aos diferentes estados físicos dos dois polímeros durante o processamento da blenda, uma vez que EE já se encontrava fundido ($T_{\text{m, EE}} \sim 43$ °C) enquanto o PLA se encontrava ainda no estado sólido. Desta forma, uma vez que EE apresentou menor viscosidade (por estar no estado amorfo fundido) comparado ao PLA (maior viscosidade por estar em transição de estado sólido para amorfo fundido), isto resultaria na blenda PLA/EE ter menores valores de torque comparado ao PLA. Em contrapartida, na região entre $M_{\text{máx}}$ até o final do tempo de mistura, PLA e EE encontraram-se fundidos, favorecendo uma maior homogeneização dos polímeros, resultando em aumento de M_{est} das blendas PLA/EE comparado ao PLA puro. Este resultado pode ser explicado pelo fato do IF de EE ser menor do que o de PLA (Tab. 1), indicando que este TPE seja mais viscoso do que o PLA. Desta forma, no processamento da blenda, a incorporação de EE faz com que as cadeias do PLA sofram maior oposição ao escoamento comparado ao PLA puro. Um resultado similar foi também reportado por Bijarimi *et al.* (2017) em sua pesquisa sobre blendas de PLA/polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), em que 10%PEBDL reduziu o torque máximo de PLA de 44 para 35 N.m, enquanto o torque estabilizado da blenda PLA/PEBDL 90/10 foi maior do que o do PLA puro.

A presença de EBG nas blendas PLA/TPE 70/30 resultou em maiores valores de torque em todo o período de mistura, conforme apontado pelos valores de $M_{\text{máx}}$ e M_{est} , indicando que este aditivo também aumentou a viscosidade destas blendas. EBG apresenta pico de fusão abaixo do PLA ($T_{\text{m, EBG}} \sim 73$ °C), implicando que as macromoléculas deste AgC tenham maior mobilidade durante o processamento das blendas PLA/TPE, favorecendo a interação entre as macromoléculas de PLA-EBG e EBG-TPE. Diferentemente da presença de EE, o uso de EBG não promoveu plastificação das blendas PLA/TPE, confirmado pelo aumento dos valores de torque de mistura em todo o intervalo de mistura. Uma justificativa para esta diferença pode ser atribuída aos mais baixos valores de tensão interfacial entre EBG-PLA e EBG-TPEs e maiores valores de Energia Mecânica Específica (EME) (Bernardes *et al.* 2019), os quais indicaram que EBG tenha promovido maior aproximação

das macromoléculas e diminuição a mobilidade destas durante o processamento das blendas. Agrawal *et al.* (2008) reportaram resultado similar ao avaliar a compatibilização de blendas poliamida 6 (PA6)/polietileno de alta densidade (PEAD) com terpolímero etileno-acrilato de metila-metacrilato de glicidila (EMAGMA). Os autores observaram que o uso de 10%EMAGMA aumentou o torque para homogeneizar os componentes da blenda PA6/PEAD devido a uma possível reação química entre os grupos epóxi de EMAGMA com os grupos amina ou carboxila da PA6.

Independentemente do tipo de TPE utilizado e/ou da presença de 5%EBG, não houve aumento ou diminuição brusca do torque de mistura após o torque máximo no intervalo de 4-8 min (região onde o torque apresentou valores aproximadamente estabilizados). Estes resultados sugeriram que as blendas PLA/TPE (sem e com 5%EBG) não tenham sofrido degradação durante o processamento ou reações químicas entre seus componentes, resultados também relatados nas pesquisas de De Araújo *et al.* (2019) sobre blendas de PLA/copolímeros etileno-éster e Lima *et al.* (2016) sobre blendas de PLA/estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS).

Na Figura 2 são mostradas as curvas de torque em função do tempo de mistura de blendas PLA/TPU com diferentes teores de EBG (a) e a região de valores de torque estável (b).

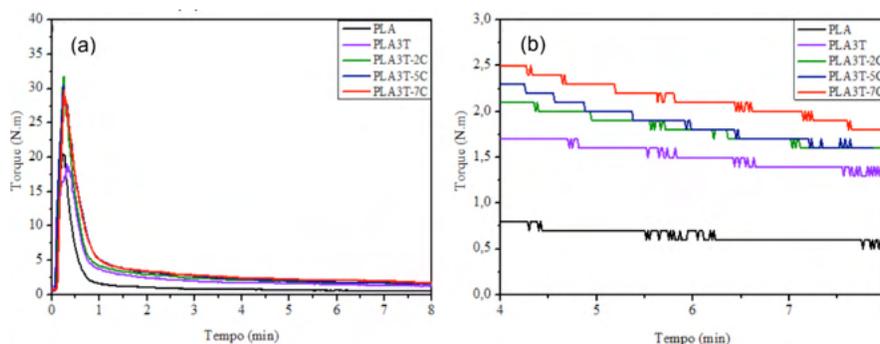


Figura 2: Curvas de torque vs. tempo (a) e magnificadas na região de torque estável das blendas PLA3T-C (b)

A presença de EBG, independentemente do teor usado, resultou em aumento dos valores de torque em todo o intervalo avaliado (Fig. 2a), corroborado pelos valores de torque máximo e estável (Tab. 3). A comparação entre os perfis das curvas PLA/TPU indicou que EBG tenha afetado o processo de transformação de estado físico destes polímeros, uma vez que os valores de torque foram maiores comparado à blenda PLA3T sem EBG. A pequena diferença entre os valores de $M_{m\acute{a}x}$ para todas as blendas PLA/TPU contendo EBG sugeriu que a presença deste aditivo teve maior influência na processabilidade do que o teor em si.

Avaliando o intervalo entre M_{\max} e o período final de mistura (Fig. 2b), observou-se que as blendas PLA3T-2C e PLA3T-5C apresentaram valores de torque estabilizado muito similares (Tab. 3), o que poderia ser um indicativo de que teores até 5%EBG resultem em pequena mudança na viscosidade de blendas PLA/TPU 70/30 devido a um similar nível de interação intermolecular entre PLA-EBG-TPU. Em contrapartida, o uso de 7,5%EBG aumentou o torque estabilizado da blenda PLA/TPU 70/30, o que poderia ser explicado por uma mais forte interação intermolecular entre PLA-EBG-TPU, favorecendo a aproximação das cadeias de PLA e TPU e aumentando a viscosidade da blenda. Hou e Qu (2019) encontraram resultado similar ao avaliar a compatibilização de blendas PLA/PCL 90/10 com EMAGMA, em que o uso de 4 pcr EMAGMA aumentou o torque estabilizado da blenda PLA/PCL de 7,5 para 8,5 N.m, enquanto 10 pcr EMAGMA aumentou o torque estabilizado de 7,5 para aproximadamente 9,2 N.m.

Analisando o tempo de processamento das blendas PLA/TPU compatibilizadas com EBG, não foram observados novos picos de torque ou redução súbita de torque. Estes resultados sugeriram que o uso de EBG, dentro dos valores avaliados nesta pesquisa, possa não ter promovido reações químicas entre este compatibilizante e PLA e TPU, tampouco ter induzido degradação das blendas PLA/TPU.

4 | CONCLUSÃO

A processabilidade das blendas PLA/TPEs sem e com o agente compatibilizante EBG foi avaliada através da análise da curva torque em função do tempo de mistura. Observou-se que a combinação de fatores tipo e teor de TPE afetou o torque das blendas PLA/TPE, sendo esta combinação também influenciada pela presença de EBG.

O uso de EE, sobretudo em 10%EE, reduziu o torque da blenda PLA/EE, indicando que este TPE possa ter atuado como um plastificante localizado para as cadeias de PLA durante o início do processamento. O teor de TPU praticamente não influenciou o início do processamento das blendas PLA/TPU, mas resultou em maiores valores de torque estabilizando em comparação ao PLA puro.

O uso de EBG aumentou os valores de torque das blendas PLA/TPE em todo o tempo de processamento, o que foi atribuído a uma mais intensa interação intermolecular entre PLA-EBG-TPE. Teores de até 5%EBG praticamente não influenciaram os valores de torque das blendas PLA/TPU 70/30 compatibilizadas. O uso de 7,5%EBG aumentou o torque estabilizado da blenda PLA/TPU, sendo atribuído a uma mais forte interação intermolecular entre PLA-EBG-TPU e uma maior viscosidade da blenda.

A estabilidade das blendas PLA/TPE sem e com EBG também foi avaliada durante o processamento, não tendo sido identificados aumentos ou diminuições bruscos de torque, indicando que possivelmente não houve reações químicas entre PLA, EBG e TPEs e redução de massa molar dos componentes das blendas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida, Rede de Saneamento e Abastecimento de Água, Sistema Brasileiro de Tecnologia (RESAG-SIBRATEC) pelo auxílio financeiro, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelos recursos obtidos na SIBRATEC - Projeto Redes de Prestação de Serviços Tecnológicos, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pela bolsa de iniciação científica, à DuPont pela doação de EE e EBG e à Prisma Montelur pela doação de TPU.

REFERÊNCIAS

Agrawal, P. *et al.* **Reometria de Torque, Propriedades Mecânicas e Morfologia de Blendas Compatibilizadas de PA6/PEAD.** *Polímeros*, v. 18, nº 2, p. 152-157, 2008. DOI: 10.1590/S0104-14282008000200013.

Aróstegui, Asier; Nazábal, Jon. **Supertoughness and Critical Interparticle Distance Dependence in Poly(butylene terephthalate) and Poly(ethylene-co-glycidyl methacrylate) Blends.** *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, v. 41, p. 2236-2247, 2003. DOI: 10.1002/polb.10582.

Arruda, L.C. *et al.* **Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends.** *Polymer Testing*, v. 43, p. 27-37, 2015. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2015.02.005.

Bernardes, G.P. *et al.* **Rheological behavior and morphological and interfacial properties of PLA/TPE blends.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 136, nº 38, 47962, 2019. DOI: 10.1002/app.47962.

Bijarimi, M. *et al.* **Toughening effect of liquid natural rubber on the morphology and thermo-mechanical properties of the poly(lactic acid) ternary blend.** *Polymer Bulletin*, v. 74, nº 8, p. 3301-3317, 2017. DOI: 10.1007/s00289-016-1889-7.

Canedo, E.L. *et al.* **Engineering modeling of laboratory internal mixer.** 72th Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers (ANTEC), Las Vegas, Nevada, EUA, 2014.

Canedo, Eduardo Luis; Alves, Tatianny Soares. **Minicurso: Processamento de Polímeros no Misturador Interno.** I Workshop Norte-Nordeste de CFD Aplicada À Engenharia e Ciências Correlatas. Campina Grande, Paraíba, Junho 2015.

De Araújo, J.P. *et al.* **Combined effect of copolymers and of the mixing sequence on the rheological properties and morphology of poly(lactic acid) matrix blends.** *Materials Chemistry and Physics*, v. 237, p. 121818, 2019. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2019.121818.

Detyothin, S. *et al.* **Reactive functionalization of poly(lactic acid), PLA: Effects of the reactive modifier, initiator and processing conditions on the final grafted maleic anhydride content and molecular weight of PLA.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 98, p. 2697-2708, 2013. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.10.001.

Farah, Shady; Anderson, Daniel G.; Langer, Robert. **Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications - A comprehensive review.** *Advanced Drug Delivery Reviews*, v. 107, p. 367-392, 2016. DOI: 10.1016/j.addr.2016.06.012.

Feng, Y. *et al.* **High impact poly(lactic acid)/poly(ethylene octene) blends prepared by reactive blending.** *Polymer Engineering and Science*, v. 53, n° 2, p. 389-396, 2013. DOI: 10.1002/pen.23265.

Hou, Ao-Lin; Qu, Jin-Ping. **Super-Toughened Poly(lactic Acid) with Poly(ϵ -caprolactone) and Ethylene-Methyl Acrylate-Glycidyl Methacrylate by Reactive Melt Blending.** *Polymers*, v. 11, p. 771, 2019. DOI: 10.3390/polym11050771.

Jamshidian, M. *et al.* **Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies.** *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 9, p. 1-20, 2010. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x.

Jiang, W.-R. *et al.* **Morphology, interfacial and mechanical properties of polylactide/poly(ethylene terephthalate glycol) blends compatibilized by polylactide-g-maleic anhydride.** *Materials & Design*, v. 59, p. 524-531, 2014. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.03.016.

Kfoury, G. *et al.* **Recent advances in high performance poly(lactide): from “green” plasticization to super-tough materials via (reactive) compounding.** *Frontiers in Chemistry*, v. 1, Article 32, p. 1-46, 2013. DOI: 10.3389/fchem.2013.00032.

Krishnan, S. *et al.* **Toughening of Poly(lactic Acid): An Overview of Research Progress.** *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, v. 55, n° 15, p. 1623-1652, 2016. DOI: 10.1080/03602559.2015.1098698.

Li, X. *et al.* **Highly toughened polylactide with novel sliding graft copolymer by in situ reactive compatibilization, crosslinking and chain extension.** *Polymer*, v. 55, p. 4313-4323, 2014. DOI: 10.1016/j.polymer.2014.06.045.

Lima, J.C.C. *et al.* **Efeito do teor do copolímero SEBS no comportamento reológico da blenda PLA/SEBS.** *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 11, n° 1, p. 10-17, 2016. ISSN: 1809-8797.

Liu, Z. *et al.* **Remarkably Enhanced Impact Toughness and Heat Resistance of poly(L-Lactide)/Thermoplastic Polyurethane Blends by Constructing Stereocomplex Crystallites in the Matrix.** *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 4, p. 111-120, 2016. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00816.

Luzi, F. *et al.* **Production and characterization of PLA/PBS biodegradable blends reinforced with cellulose nanocrystals extracted from hemp fibres.** *Industrial Crops and Products*, v. 93, p. 276-289, 2016. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.01.045.

Mahmuda, M.S. *et al.* **Miscibility, Morphology and Mechanical Properties of Compatibilized Poly(lactic Acid)/Thermoplastic Polyurethane Blends.** *Materials Today: Proceedings*, v. 17, p. 778-786, 2019. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.06.362.

Navarro-Baena, I. *et al.* **Design of biodegradable blends based on PLA and PCL: From morphological, thermal and mechanical studies to shape memory behaviour.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 132, p. 97-108, 2016. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.037.

Sangeetha, V.H. *et al.* **State of the Art and Future Prospectives of Poly(Lactic Acid) Based Blends and Composites.** *Polymer Composites*, v. 39, n° 1, p. 81-101, 2018. DOI: 10.1002/pc.23906.

Shi, Y.-D. *et al.* **Morphology, rheological and crystallization behavior in thermoplastic polyurethane toughed poly(L-lactide) with stereocomplex crystallites.** *Polymer Testing*, v. 62, p. 1-12, 2017. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2017.06.013.

Steinmann, Sandra; Gronski, Wolfram; Friedrich, Christian. **Cocontinuous polymer blends: influence of viscosity and elasticity ratios of the constituent polymers on phase inversion.** *Polymer*, v. 42, n° 15, p. 6619-6629, 2001. DOI: 10.1016/S0032-3861(01)00100-8.

Uthaipan, N. *et al.* **Investigation of surface properties and elastomeric behaviors of EPDM/EOC/PP thermoplastic vulcanizates with different octene contents.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 134, n° 21, 44857, 2017. DOI: 10.1002/app.44857.

Wang, J.S. *et al.* **Polyurethane/Polyolefin Blends: Morphology, Compatibilization and Mechanical Properties.** *Polymers & Polymer Composites*, v. 14, n° 1, p. 1-11 2006. DOI: 10.1177/096739110601400101.

Zeng, Jian-Bing; Li, Kun-Ang; Du, An-Ke. **Compatibilization strategies in poly(lactic acid)-based blends.** *RSC Advances*, v. 5, 32546, 2015. DOI: 10.1039/c5ra01655j.

Zhang, Z.-x. *et al.* **Crystallization controlled shape memory behaviors of dynamically vulcanized poly(L-lactide)/poly(ethylene vinyl acetate) blends.** *Polymer Testing*, v. 51, p. 82-92, 2016. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2016.03.003.

Zhao, Fei; Huang, Han-Xiong; Zhang, Shui-Dong. **Largely toughening biodegradable poly(lactic acid)/thermoplastic polyurethane blends by adding MDI.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n° 48, 2015. DOI: 10.1002/app.42511.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço carbono de baixa liga 14
Aço carbono de baixa liga e alta resistência 14
Agente compatibilizante 3, 10

B

Blenda polimérica 3

C

Citotoxicidade 95, 96, 103
Corrosão 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 106

D

Desfosforação 54, 55, 56, 57, 59, 62, 63, 64, 65, 66
Doadores de óxido nítrico 94, 96, 101

E

Elastômero termoplástico 4
Extratos vegetais 67, 69, 70, 75, 79, 80

F

Ferramentas de cerâmica 105, 110, 111, 113
Ferro-gusa 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 66
Filme de óxido de Titânio - TiO₂ 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 59
Fotocatálise 27, 32, 39, 41
Fotocromismo 27
Fresamento 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114

H

Hidratos de gás 85, 86, 91

I

Inconel 718 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115
Inibidores da linha verde 67, 69
Inibidores de corrosão 67, 69, 70, 74, 75, 76, 79, 81, 82
Inibidores de hidratos de gás 85

Inibidores poliméricos 85, 87

Inibidores sintéticos 67

M

Manufatura aditiva 14, 15

Manufatura aditiva por arco elétrico - WAAM 14

O

Óxido nítrico 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104

P

Poli (ácido láctico) - PLA 1, 2, 4

Poliuretano termoplástico 1, 3, 4

Pré-tratamento de ferro-gusa 55, 56

Propriedades mecânicas 11, 15, 68, 73, 105, 106, 112

Protocolo de alto rendimento 85

R

Resfriamento criogênico 105, 111

S

Spin-coating 27, 28, 30, 31

T

Termodinâmica computacional 54, 57, 63, 66

Testes não destrutivos 15

Tratamento térmico 15, 29, 33, 34, 35, 41, 42, 73, 105, 112, 113

Trióxido de Tungstênio - WO₃ 27

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MATERIALS ENGINEERING


Ano 2022

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MATERIALS ENGINEERING


Ano 2022