

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios de Química**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará



Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P957	Princípios de química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406  1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 540.7
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO	
<i>Karina Carvalho de Souza</i>	
<i>Gabriela Rodrigues dos Santos</i>	
<i>Grazielly Maria Didier de Vasconcelos</i>	
<i>Paulo Henrique Marrocos de Oliveira</i>	
<i>Yêda Medeiros Bastos de Almeida</i>	
<i>Felipe Cunha da Silva Trindade</i>	
<i>Glória Maria Vinhas</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>7</b>
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)	
<i>Heloisa Barbara Rozario Azevedo</i>	
<i>Fabiane De Oliveira Santana</i>	
<i>Paula Hortência Santos Magalhães</i>	
<i>Maria Karoline Silva Souza</i>	
<i>Caio Cezar Neves Kunrath</i>	
<i>Menilde Araújo Silva Bião</i>	
<i>Franco Dani Rico Amado</i>	
<i>Bruno Souza Fernandes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>12</b>
OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA	
<i>Pablo Eduardo Costa dos Santos</i>	
<i>Cristiane Xavier Resende</i>	
<i>Zaine Teixeira Camargo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>19</b>
CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO	
<i>Nívia do Nascimento Marques</i>	
<i>Rosângela de Carvalho Balaban</i>	
<i>Sami Halila</i>	
<i>Redouane Borsali</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2211924064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>32</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECAÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS	
<i>Carlos Bruno Barreto Luna</i>	
<i>Eduardo da Silva Barbosa Ferreira</i>	

*Danilo Diniz Siqueira  
Edcleide Maria Araújo  
Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima  
Nívia do Nascimento Marques  
Marcos Antonio Villetti  
Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim  
Izael Pinho dos Santos  
Victor Soares Pereira  
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal  
Yasmin Carolino da Silva Rosa  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Janice Izabel Druzian  
Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade  
Taynã Isis de S. Santana  
Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis  
Heitor Suyama  
Eduardo Abreu  
Denise Milleo Almeida  
Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	



**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

### **Carlos Bruno Barreto Luna**

Universidade Federal de Campina Grande  
Departamento de Engenharia de Materiais,  
Campina Grande – Paraíba

### **Eduardo da Silva Barbosa Ferreira**

Universidade Federal de Campina Grande  
Departamento de Engenharia de Materiais,  
Campina Grande – Paraíba

### **Danilo Diniz Siqueira**

Universidade Federal de Campina Grande  
Departamento de Engenharia de Materiais,  
Campina Grande – Paraíba

### **Edcleide Maria Araújo**

Universidade Federal de Campina Grande  
Departamento de Engenharia de Materiais,  
Campina Grande – Paraíba

### **Elieber Barros Bezerra**

Universidade Federal de Campina Grande  
Departamento de Engenharia de Materiais,  
Campina Grande – Paraíba

**RESUMO:** Neste estudo, foi avaliado o efeito da incorporação de PP reciclado ( $PP_{Rec}$ ) em blends de poliestireno (PS)/ polipropileno copolímero ( $PP_{Cop}$ ), compatibilizadas com estireno–(etileno/butileno)-estireno (SEBS). As blends foram preparadas, inicialmente, em uma extrusora de rosca dupla corrotacional e, posteriormente, os grânulos extrudados foram moldados por injeção. As misturas foram

avaliadas por reometria de torque, propriedades mecânicas, temperatura de amolecimento Vicat e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Por reometria de torque, verificou-se que as blends melhoraram a processabilidade em comparação ao PS. Os resultados mostraram que houve um aumento na resistência ao impacto, alongamento na ruptura e na temperatura de amolecimento Vicat, em relação ao poliestireno. Entretanto, houve perdas no módulo elástico e na resistência sob flexão. As morfologias obtidas por MEV são típicas de blends imiscíveis, apresentando separação de fases. Os resultados são importantes para a área da reciclagem, podendo levar a uma economia no produto final, uma vez que pode utilizar até 21% de  $PP_{Rec}$ , mantendo boas propriedades.

**PALAVRAS-CHAVE:** poliestireno, polipropileno, polipropileno reciclado, compatibilizante, blends poliméricas.

**ABSTRACT:** In this study, the effect of the incorporation of recycled PP ( $PP_{Rec}$ ) on polystyrene (PS)/polypropylene copolymer blends ( $PP_{Cop}$ ), compatibilized with styrene-(ethylene/butylene)-styrene (SEBS) was evaluated. The blends were initially prepared in a co-rotational twin-screw extruder, and the extruded granules were injection molded. The mixtures were evaluated by torque rheometry,

mechanical properties, Vicat softening temperature and scanning electron microscopy (SEM). The torque rheometry aided in verifying that the blends improved the processability in comparison to the PS. The results showed that there was an increase in impact strength, elongation at break and at Vicat softening temperature, in relation to polystyrene. However, there were losses in the elastic modulus and the flexural strength. The morphologies obtained by MEV are typical of immiscible blends, presenting phase separation. The results are important for the recycling area, which can lead to savings in the final product, since it can use up to 21% of  $PP_{Rec}$ , maintaining good properties.

**KEYWORDS:** polystyrene, polypropylene, recycled polypropylene, compatibilizer, polymer blends.

## 1 | INTRODUÇÃO

O poliestireno (PS) é um termoplástico amplamente utilizado no setor industrial para o desenvolvimento de produtos de consumo, sendo facilmente sintetizado, processado e reciclado. Apresenta resistência à degradação, transparência e baixo custo (CALLEJA *et al.*, 2004; LUNA *et al.*, 2018). Contudo, possui baixa resistência ao impacto e, por isso, dependendo da aplicação, necessita ser tenacificado (COUTINHO *et al.*, 2008). Para contornar esse problema do PS, a principal técnica utilizada pelas indústrias de polímeros tem sido o desenvolvimento de copolímeros ou misturas poliméricas (blendas) (RIBEIRO *et al.*, 2012; LUNA *et al.*, 2015).

A mistura de poliestireno e polipropileno (PP) é uma das mais estudadas, principalmente, pelo alto consumo, baixo custo e relevância tecnológica desses materiais (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Assim, alguns trabalhos foram relatados na literatura (HUNG *et al.*, 2008; THIRTHA *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2011) sobre o desenvolvimento de misturas poliméricas à base de poliestireno e polipropileno, sugerindo boas propriedades.

PARAMESWARANPILLAI *et al.* (2017) estudaram as propriedades mecânicas e a morfologia de blendas binárias (PS/PP) e ternárias (PS/PP/SEBS). Verificou-se que as blendas ternárias, especialmente aquelas com maior concentração de SEBS, exibiram excelente resistência ao impacto, assim como um aumento no alongamento da ruptura. Esse comportamento pode ser correlacionado com a morfologia, que demonstrou que o compatibilizante SEBS melhorou a adesão entre as fases PP e PS. Por outro lado, a resistência à tração tendeu a diminuir, indicando que as blendas tornaram mais flexíveis. Já o módulo de elasticidade foi dependente da concentração, apresentando resultados equiparáveis ao PP puro quando se adiciona teores mais elevados de PS. Os resultados mostraram que, dependendo da concentração, pode-se selecionar a melhor composição para aplicações específicas.

Estudos de misturas de PS/PP e PS/PP/SEBS são encontrados na literatura científica especializada (WANG *et al.*, 2003; DÍAZ *et al.*, 2005; OMONOV *et al.*, 2007; VIRGILIO *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2011), enfatizando, na grande maioria,



as propriedades mecânicas, térmicas, reológicas e morfológicas, sendo amplamente discutidas. Todavia, esses estudos utilizam o polipropileno virgem, não sendo encontrada menção sobre as misturas híbridas de polipropileno com polipropileno reciclado no desenvolvimento de blendas com matriz de poliestireno (PS), configurando, assim, um ponto relevante a ser estudado. Em vista disso, tornam-se justificáveis as pesquisas que avaliem a incorporação de um material pós-consumo (PP reciclado), nas propriedades finais de blendas de PS/PP compatibilizadas.

A prática do reaproveitamento de plásticos é uma técnica consolidada, sendo uma alternativa para reduzir a demanda por matérias-primas petroquímicas, contribuindo, assim, para a preservação dos recursos naturais e para a redução do preço do composto final (LUNA *et al.*, 2017; ARAÚJO & MORALES, 2018; DÍAZ *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2018).

Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar a influência da incorporação de material reciclado pós-consumo de polipropileno (PP), na mistura virgem de PS/PP copolímero compatibilizada com SEBS, visando avaliar as propriedades reológicas, mecânicas, termomecânicas e a morfologia.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Como matriz polimérica, foi utilizado o poliestireno cristal (PS), comercializado com o código U249, densidade de 1,04 g/cm<sup>3</sup> e índice de fluidez de 15 g/10 min, fornecido na forma de pellets e fabricado pela Unigel S.A (Brasil).

Foi utilizado, como fase dispersa, o polipropileno copolímero heterofásico (PP<sub>Cop</sub>), comercializado com o código EP440P, na forma de pellets, densidade de 0,895 g/cm<sup>3</sup> e com índice de fluidez de 17 g/10 min (230°C/2,16 kg), adquirido da Braskem. Foi utilizado, como material reciclado, o polipropileno homopolímero (PP<sub>Rec</sub>), proveniente de recipientes industriais da cidade de Campina Grande-PB.

O copolímero estireno-(etileno-butileno)-estireno (SEBS) foi utilizado como agente compatibilizante, na forma de pó, sob o código G1652, contendo 30% de estireno e índice de fluidez (IF) de 5 g/10 min, fornecido pela Kraton.

### 2.2 Preparação do Polipropileno Reciclado (PP<sub>Rec</sub>)

Inicialmente, os recipientes de polipropileno reciclado (PP<sub>Rec</sub>) foram submetidos ao processo de separação, onde os rótulos de adesivos foram removidos. Os recipientes foram triturados em um moinho de facas, dando origem aos *flakes*. Posteriormente, os *flakes* passaram por uma lavagem com água, visando à retirada dos contaminantes e, subseqüentemente, por um processo de secagem em uma estufa com vácuo por 24h, em temperatura de 60°C.

## 2.3 Preparação das Blendas

As blendas foram misturadas a seco e, posteriormente, processadas em uma extrusora de rosca dupla corrotacional modular, modelo ZSK (D = 18 mm e L/D = 40), da Coperion Werner-Pfleiderer, com temperatura de 190°C em todas as zonas, velocidade de rotação da rosca de 250 rpm e taxa de alimentação controlada de 4 kg/h, com perfil de rosca configurado com elementos de misturas distributivos e dispersivos. Após o processamento das blendas por extrusão, os materiais foram granulados e secos em uma estufa com vácuo por 24h, em temperatura de 60°C. O poliestireno (PS) foi processado e seco nas mesmas condições das blendas. A Tabela 1 ilustra as proporções em massa (%) das composições que foram utilizadas no desenvolvimento das blendas.

Misturas	PS	PP <sub>Cop</sub>	PP <sub>Rec</sub>	SEBS
	(% massa)	(% massa)	(% massa)	(% massa)
PS	100	-	-	-
PS/PP <sub>Cop</sub>	60	40	-	-
PS/PP <sub>Cop</sub> /PPr/SEBS	60	28	7	5
PS/PP <sub>Cop</sub> /PPr/SEBS	60	21	14	5
PS/PP <sub>Cop</sub> /PPr/SEBS	60	14	21	5

Tabela 1 – Composições das blendas com as proporções em massa (%).

Os materiais obtidos por extrusão foram moldados por injeção, em uma injetora Arburg, Modelo Allrounder 207C Golden Edition, para a obtenção de corpos de prova de impacto e flexão, segundo as normas ASTM D256 e ASTM D790, respectivamente. As condições de moldagem foram: perfil de temperatura de 190°C, em todas as zonas; temperatura do molde de 20°C; tempo de resfriamento no molde de 25 s; pressão de injeção e recalque, 1000 e 500 bar, respectivamente.

## 2.4 Caracterização das Amostras

As curvas reológicas foram obtidas em um misturador Haake PolyLab QC, da Thermo Scientific, com rotores do tipo roller, a 190°C, velocidade de rotação dos rotores de 60 rpm, sob atmosfera de ar, durante 10 min.

O ensaio de resistência ao impacto Izod foi realizado em corpos de prova entalhados, segundo a norma ASTM D256, em um aparelho da marca Ceast modelo Resil 5,5 J, operando com martelo de 2,75 J, em temperatura ambiente (~23°C). Os resultados foram analisados com uma média de dez corpos de prova.

Os testes de flexão foram realizados em uma máquina de ensaio universal da marca EMIC DL 2000, segundo a norma ASTM D790, operando em modo de flexão em três pontos, a uma velocidade de 1,6 mm/min, com separação entre os apoios de 40 mm e célula de carga de 2 kN. Os testes foram conduzidos à temperatura ambiente (~23°C) e os resultados analisados com uma média de dez corpos de prova.

O ensaio de temperatura de amolecimento Vicat foi realizado segundo a norma

ASTM D1525, em um equipamento Ceast, modelo HDT 6 VICAT, empregando-se uma taxa de aquecimento de 120°C/h. A temperatura foi determinada após a agulha penetrar 1 mm nos corpos de prova. Os resultados foram analisados com uma média de três corpos de prova.

As análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas na superfície de fratura dos corpos de prova submetidos ao ensaio sob impacto. Utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura, Shimadzu SSX-550 Superscan, a uma voltagem de 15kV, sob alto vácuo. As superfícies de fratura das amostras foram recobertas com ouro.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Reometria de Torque

A Figura 1 ilustra as curvas de torque em função do tempo de processamento para o PS, SEBS, PP copolímero e o PP reciclado. Observa-se que o SEBS apresentou o maior torque e, conseqüentemente, a maior viscosidade, devido ao menor índice de fluidez desse polímero quando comparado aos demais. Para o PS, após a plastificação dos pellets, ocorreu estabilidade do torque com o tempo e com um valor levemente superior ao  $PP_{Cop}$ , o que já era esperado, em decorrência do menor índice de fluidez do PS. Pode-se observar que o  $PP_{Cop}$  apresenta um torque superior ao do  $PP_{rec}$ , sugerindo que a viscosidade e a massa molar do  $PP_{Cop}$  são superiores. Geralmente, quando o material reciclado ( $PP_{Rec}$ ) é submetido ao reprocessamento, sofre cisão de cadeias, provocando redução do peso molecular e, conseqüentemente, reduzindo a sua viscosidade, conforme relatado na literatura (GONZÁLES *et al.*, 1998).

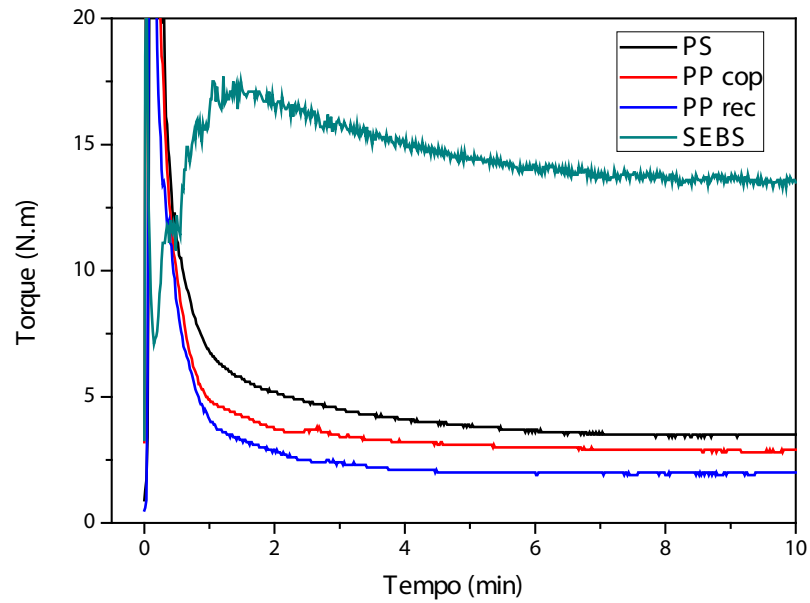


Figura 1 – Curvas de torque em função do tempo de processamento dos polímeros puros.

A Figura 2 ilustra as curvas de torque em função do tempo de processamento para o PS, a blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e as misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

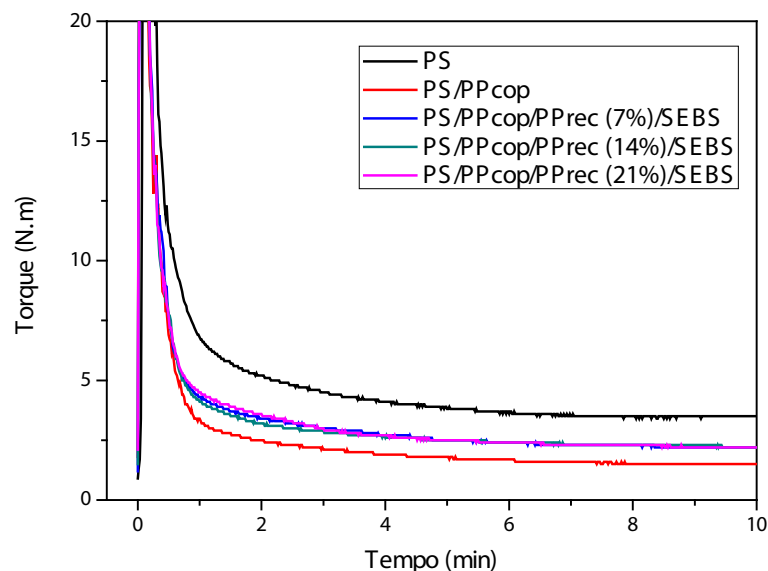


Figura 2 – Curvas de torque em função do tempo de processamento do PS, da blenda binária e das misturas ternárias.

Verifica-se que após 4 min de processo, o torque do PS e das blends tende a ficar praticamente constante, com pequenas oscilações em torno de um valor médio. Esse comportamento indica estabilidade da viscosidade para as condições de processo utilizadas, ou seja, velocidade de 60 rpm e temperatura de 190°C. Constata-se que

o PS apresenta o maior valor de torque, ou seja, uma viscosidade mais alta, quando comparada com as blendas, independentemente de serem compatibilizadas ou não.

É possível observar que as blendas PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub> compatibilizadas com SEBS apresentam um torque superior à blenda não compatibilizada (PS/PP<sub>Cop</sub>) e, conseqüentemente, aumento na viscosidade dos sistemas. O aumento na viscosidade dos sistemas PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub>/SEBS pode ser devido a duas possibilidades: baixo índice de fluidez do SEBS, que impõe maior dificuldade para processar, ou a formação de interações entre os grupos químicos similares, como os blocos de estireno do SEBS com o PS, assim como o etileno/butileno (EB) com o PP (MACAÚBAS *et al.*, 2005). O comportamento das blendas PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub>/SEBS sugere um fortalecimento na interface entre os constituintes dessas blendas, promovendo uma maior compatibilidade, o que será confirmado nos resultados de resistência ao impacto. É importante notar que as blendas ternárias possuem praticamente o mesmo torque no final do processamento, e como o torque é proporcional à viscosidade, pode-se, em primeira aproximação, dizer que apesar das blendas possuírem diferentes teores de PP<sub>Rec</sub>, a viscosidade é similar entre elas.

Na Figura 2, pode-se pontuar ainda que, mesmo aumentando a concentração de material reciclado (PP<sub>Rec</sub>) nas blendas compatibilizadas, não há indícios de degradação, sendo também verificado um aumento na fluidez, auxiliando para melhorar a processabilidade em comparação ao PS.

No gráfico da Figura 3, está registrada a energia consumida em kJ durante os dez minutos de processamento dos materiais.

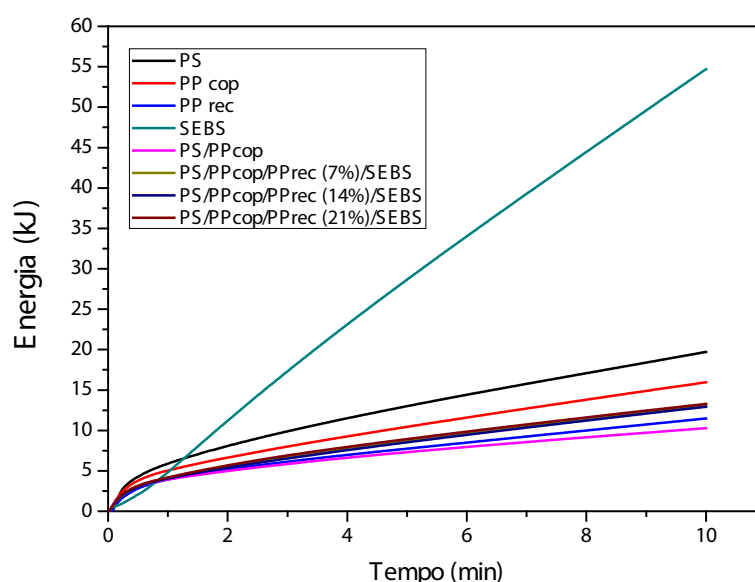


Figura 3 – Variação da energia em função do tempo de processamento dos materiais.

Observa-se que a energia consumida pelo SEBS foi a mais elevada, seguida do poliestireno (PS), devido aos menores índices de fluidez desses polímeros. A energia



consumida pelo  $PP_{Rec}$  foi inferior à do  $PP_{Cop}$ , sugerindo um menor trabalho mecânico para processar o  $PP_{Rec}$ , em decorrência do menor peso molecular desse polímero. A blenda binária apresentou o menor consumo energético para ser processada, possivelmente em decorrência da alta fluidez do  $PP_{Cop}$ , contribuindo, assim, para facilitar o processamento. As blendas ternárias ( $PS/PP_{Cop}/PP_{Rec}/SEBS$ ) apresentaram valores de energia consumida abaixo dos respectivos polímeros puros, com exceção do  $PP_{Rec}$ . É importante constatar que o aumento do teor de material reciclado ( $PP_{Rec}$ ) nas blendas promoveu uma melhora na processabilidade, em relação ao PS. Essa constatação indica que o  $PP_{Rec}$  funciona como um diluente, diminuindo a viscosidade e, conseqüentemente, auxiliando na redução do consumo energético durante o processo. Novamente, dentro da faixa de material reciclado utilizado (7 a 21%), não se verificou diferenças significativas no consumo energético entre as blendas compatibilizadas. Essa averiguação reforça a hipótese de que as blendas ternárias têm viscosidades similares, o que corrobora com as curvas de reometria de torque.

### 3.2 Ensaio de Impacto

A Figura 4 mostra os resultados de resistência ao impacto do PS, da blenda  $PS/PP_{Cop}$  e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

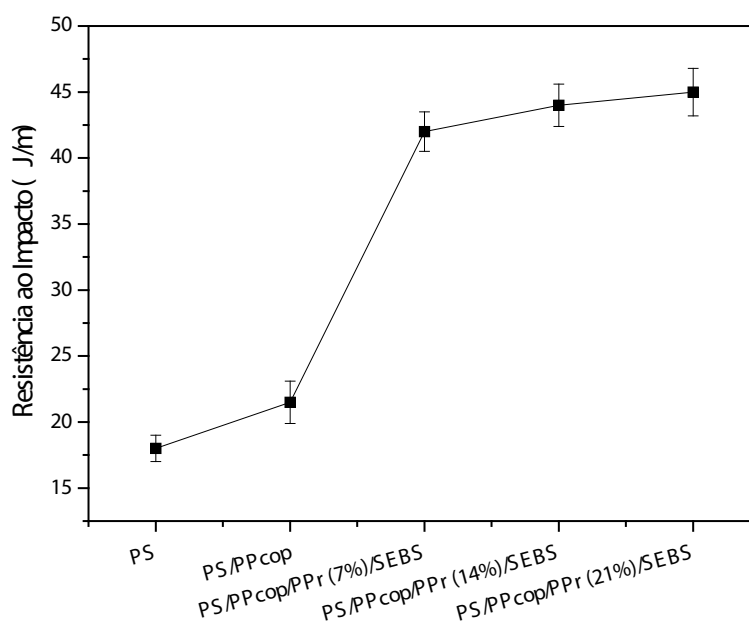


Figura 4 – Resistência ao impacto Izod do PS, da blenda  $PS/PP_{Cop}$  e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

O poliestireno (PS) apresentou baixa resistência ao impacto (18 J/m), o que se deve ao seu comportamento frágil, atribuído principalmente à elevada temperatura de transição vítrea (100°C) que esse polímero apresenta (LUNA *et al.*, 2017). A presença de 40% de  $PP_{Cop}$  na matriz de poliestireno (PS) não resulta em um aumento significativo da resistência ao impacto, somente uma manutenção dos valores da propriedade. Tal

fato é devido à insuficiente adesão entre as duas fases e, conseqüentemente, ao surgimento de microvazios na interface, que resultam em baixa resistência ao impacto (HUNG *et al.*, 2008; WANG *et al.*, 2011).

A resistência ao impacto das blendas compatibilizadas foi bem maior do que a da blenda não compatibilizada (PS/PP<sub>Cop</sub>) e o PS, o que é um indicativo de que houve compatibilização, levando a uma redução na diferença de tensão interfacial entre as fases e, conseqüentemente, no tamanho médio das partículas da fase dispersa (PARAMESWARANPILLAI *et al.*, 2015), resultando no aumento da resistência ao impacto. Isto pode ser corroborado por meio da análise da morfologia.

Deve ser destacado, o comportamento da blenda PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub>/SEBS contendo 21% de PP<sub>Rec</sub>, apresentando resultado de resistência ao impacto expressivo, atingindo valores de 150% de ganho quando comparado ao PS puro. Na faixa de composição investigada de PP<sub>Rec</sub> (7 a 21%), observa-se que as blendas estão dentro da margem de erro experimental, obtendo-se, assim, propriedades de resistência ao impacto comparáveis entre si. Os resultados de resistência ao impacto fortalecem as suposições de que o SEBS esteja atuando como um agente compatibilizante, promovendo uma maior interação entre os segmentos moleculares estirênicos e olefínicos do compatibilizante com as fases presentes na blenda PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub> durante a mistura mecânica, favorecendo uma maior eficiência na transferência de tensões entre as fases, conforme reportado na literatura (MÉLO *et al.*, 2000).

Os resultados de resistência ao impacto, Figura 4, são importantes para a área da reciclagem, ou seja, a incorporação de PP reciclado na produção de blendas PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub>/SEBS poderia levar a uma economia no produto final, uma vez que pode utilizar até 21% de PP<sub>Rec</sub>, mantendo boas propriedades de impacto.

### 3.3 Ensaio de Flexão

A Figura 5 mostra os resultados do módulo elástico sob flexão do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

O poliestireno (PS) apresenta o mais elevado módulo de elasticidade, com valor típico de polímero frágil (ROUABAH *et al.*, 2012). As blendas, independentemente de serem compatibilizadas ou não, reduziram o módulo de elasticidade em relação à amostra referência de PS, indicando uma maior flexibilidade para as blendas. Observa-se ainda que o módulo elástico da blenda binária é levemente superior em relação às blendas compatibilizadas. Nesse caso, a blenda PS/PP<sub>Cop</sub> apresenta maior rigidez entre as blendas, impactando em uma menor distribuição de energia sob impacto, conforme já reportado em trabalho similar (MÉLO *et al.*, 2000; DÍAZ *et al.*, 2005).

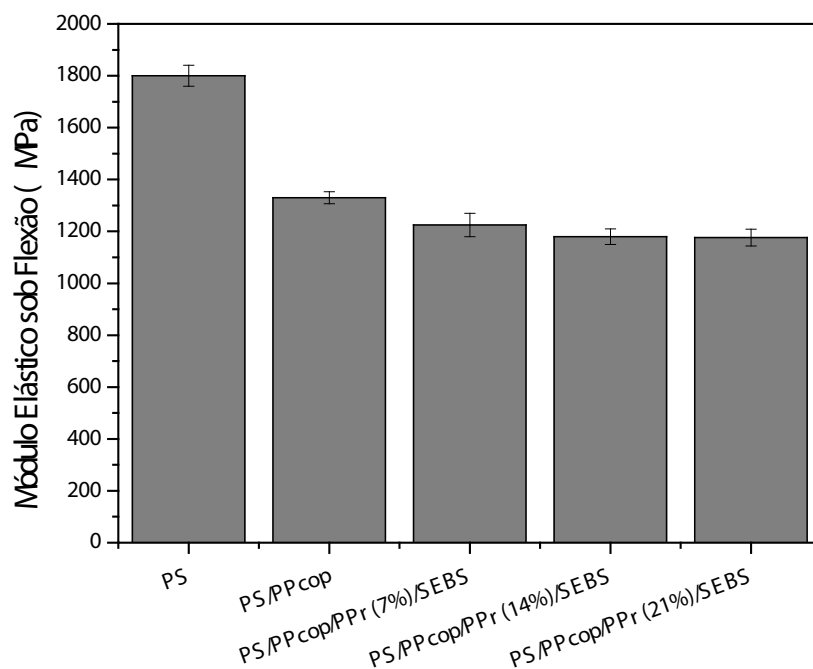


Figura 5 – Módulo elástico do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

Com a adição do SEBS e o aumento do teor de PP<sub>Rec</sub>, verifica-se que os valores do módulo de elasticidade foram bem próximos, apresentando uma diminuição discreta. Nesse caso, na faixa de composições investigada de PP<sub>Rec</sub>, os resultados ficaram dentro da margem de erro experimental. No geral, as blendas compatibilizadas são mais flexíveis do que o PS e a blenda PS/PP<sub>Cop</sub>, e, portanto, resultou em um decréscimo nos valores do módulo elástico. Além disso, à medida que se adiciona o SEBS e o PP<sub>Rec</sub> às blendas, há um efeito de amortização, refletindo nos ganhos verificados na resistência ao impacto.

A Figura 6 mostra os resultados de resistência à tração do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

O poliestireno (PS) apresenta alta resistência sob flexão, típica de polímero vítreo, fazendo necessária uma alta carga de flexão para provocar a ruptura do material. Na Figura 6, observa-se que houve uma redução em todos os valores de resistência à flexão das blendas, em comparação ao PS. Novamente, têm-se indícios que as blendas tornaram-se mais flexíveis, deformando-as em tensões menores. Assim, o ganho na resistência ao impacto das blendas foi acompanhado por uma perda no valor de seu módulo elástico e pela resistência à flexão. Comportamento similar foi verificado na literatura (SAMSUDIN *et al.*, 2003). Em relação às blendas, não se observa diferenças significativas, sendo que as mesmas estão dentro da margem de erro experimental, independentemente de serem compatibilizadas ou não.

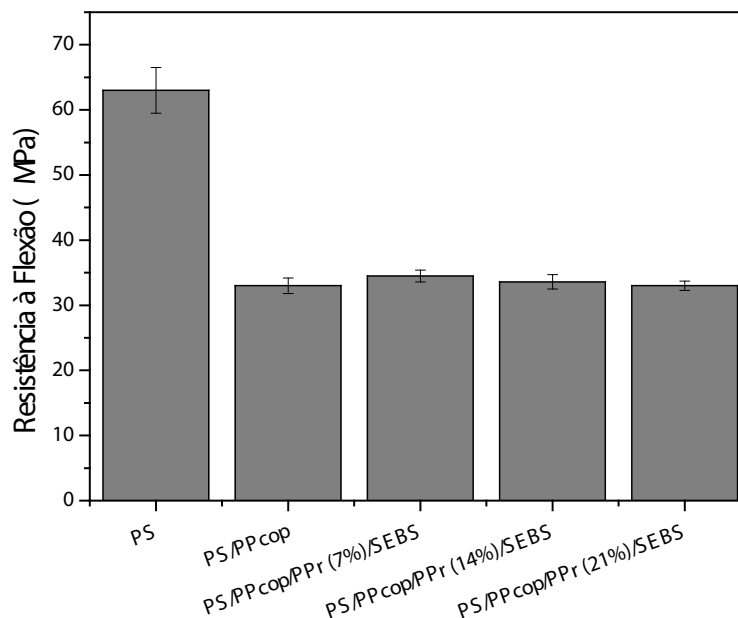


Figura 6 – Resistência sob flexão do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

Tang *et al.* (2001) sugerem que quanto menor for o valor da resistência máxima da mistura durante o ensaio mecânico, mais energia será dissipada pelo material. Essa constatação corrobora com os resultados de resistência ao impacto (Figura 4), ou seja, houve um maior nível de dissipação de energia, reduzindo o valor da resistência à flexão, em comparação ao PS (Figura 6).

A Figura 7 mostra as curvas tensão *versus* deformação do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

Na Figura 7, observa-se que o PS apresenta um comportamento frágil, sem escoamento, com baixo alongamento, porém com elevado valor de resistência. Já a resistência da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> decresceu em comparação ao PS puro, porém o comportamento frágil foi mantido, apresentando baixa deformação e corroborando com os resultados de resistência ao impacto, que foram semelhantes. As blendas compatibilizadas apresentaram um maior nível de deformação em comparação ao PS e à blenda binária, sugerindo um aumento na flexibilidade das blendas PS/PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub>/SEBS, o que confirma a maior capacidade de absorção de energia das blendas compatibilizadas.

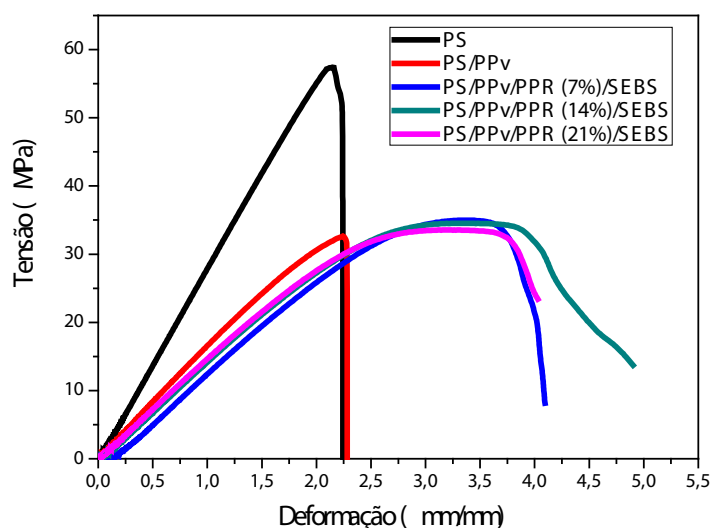


Figura 7 – Curvas tensão *versus* deformação do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

### 3.4 Temperatura de Amolecimento Vicat

A análise termomecânica pode ser utilizada para avaliar a compatibilidade dos sistemas poliméricos de forma semelhante às propriedades mecânicas (ARAÚJO *et al.*, 2004). A temperatura de amolecimento Vicat tem relevância em termos técnicos, servindo como referência em controle de qualidade de materiais poliméricos.

A Figura 8 mostra os resultados de temperatura de amolecimento Vicat do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

A incorporação de um polímero semicristalino como o polipropileno (PP<sub>Cop</sub> e PP<sub>Rec</sub>) em uma matriz termoplástica amorfa (PS), em relação aos modificadores de impacto elastoméricos, tem como vantagem a melhora, ou, pelo menos, o não abaixamento da temperatura de amolecimento Vicat (TAKEMORI *et al.*, 1979; LUNA *et al.*, 2015; BIRUDUGADDA *et al.*, 2016; LUNA *et al.*, 2018). A temperatura de amolecimento Vicat do PS ficou em torno de 86 °C, enquanto um aumento sutil foi observado para a blenda PS/PP<sub>Cop</sub> (88°C). É possível visualizar um aumento discreto na temperatura de amolecimento Vicat das blendas compatibilizadas, em comparação à blenda sem compatibilizante e ao PS. Em termos comparativos, a temperatura Vicat das blendas compatibilizadas foi, em média, 6°C superior à do PS. Os valores observados na temperatura de amolecimento Vicat para essas blendas são muito interessantes do ponto de vista tecnológico, pois eles são superiores ao do PS. Como já foi observado, os valores de resistência ao impacto dessas blendas foram superiores ao encontrado pela matriz de PS, ou seja, apresentaram bom desempenho sob impacto com ganho na estabilidade termomecânica.



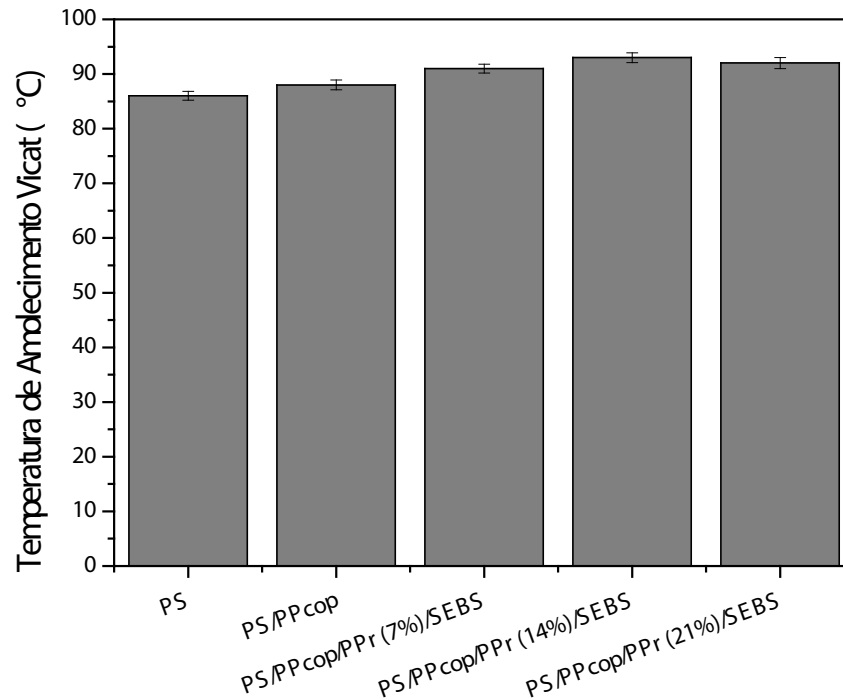


Figura 8 – Temperatura de amolecimento Vicat do PS, da blenda PS/PP<sub>Cop</sub> e das misturas compatibilizadas, em função do teor de material reciclado.

Os resultados de temperatura de amolecimento Vicat das blendas compatibilizadas foram relevantes, uma vez que, quando se considera que a incorporação de um material reciclado (PP<sub>Rec</sub>), com teores de até 21% em massa no PS, contribuiu para aumentar essa propriedade, é confirmado que a mistura híbrida de PP<sub>Cop</sub>/PP<sub>Rec</sub> constitui uma alternativa eficiente para a reciclagem.

### 3.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 9, está apresentada a fotomicrografia da superfície de fratura do PS. Verifica-se, na Figura 9 (a), um aspecto liso e homogêneo, que está associado à natureza frágil desse polímero de baixa resistência ao impacto, corroborando com o resultado da Figura 4.

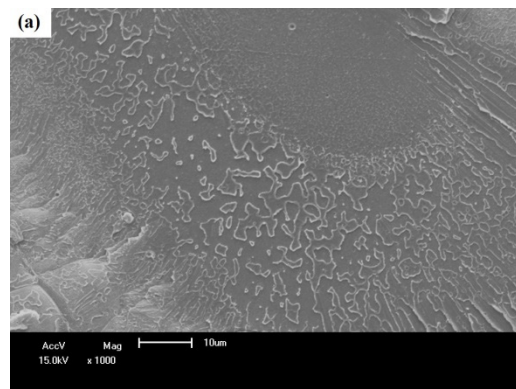


Figura 9 (a) – Fotomicrografia obtida por MEV da superfície de fratura do PS.

A Figura 10 ilustra a fotomicrografia obtida por MEV da superfície de fratura da blenda binária (PS/PP<sub>Cop</sub>), com um aumento de 5000x. Observa-se, para o sistema sem compatibilizante, a formação de uma estrutura bifásica com partículas esféricas e alongadas, de tamanhos variados e dispersas na matriz de PS. Verifica-se, ainda, partículas com interfaces sem nenhum tipo de adesão, sugerindo uma pobre adesão entre a fase dispersa e a fase contínua. A má adesão ocorre devido à alta tensão interfacial existente entre os componentes (TAGHAVI *et al.*, 2017), o que torna a interface com baixa resistência. A incompatibilidade entre o PS e o PP, visualizada por meio da morfologia da superfície de fratura, corrobora os resultados de resistência ao impacto desse sistema, que foram inferiores aos dos sistemas compatibilizados.

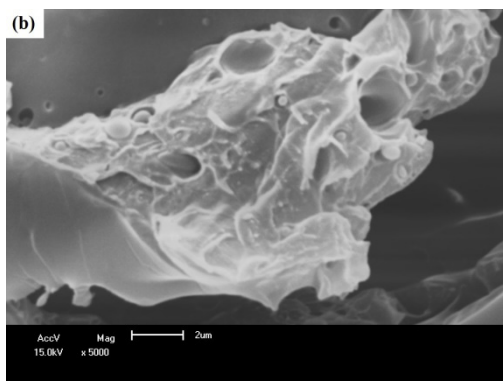


Figura 10 (b) – Fotomicrografia obtida por MEV da superfície de fratura da blenda PS/PP<sub>Cop</sub>.

A Figura 11 ilustra a fotomicrografia obtida por MEV da superfície de fratura das blendas compatibilizadas, com um aumento de 5000x.

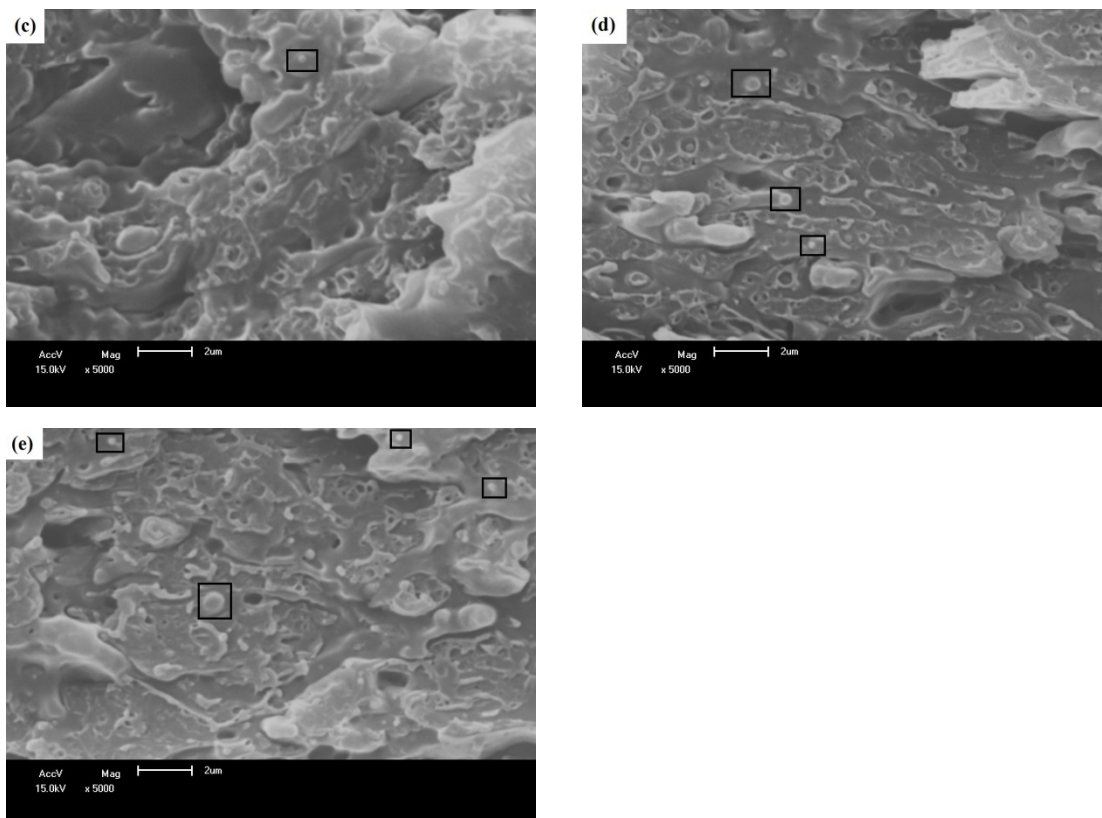


Figura 11 – Fotomicrografias obtidas por MEV da superfície de fratura das blendas

As micrografias de todas as blendas compatibilizadas, Figuras 11 (c,d,e), revelam superfícies típicas de blendas imiscíveis, apresentando separação de fases. Além disso, visualiza-se, em todas as morfologias, aspectos de deformação plástica, ou seja, há claras evidências de um mecanismo de fratura mais dúctil quando comparado à morfologia do PS, corroborando com os resultados de resistência ao impacto.

Pode ser observado, claramente, que ocorreu uma redução no tamanho das partículas dispersas na matriz de PS em comparação à blenda binária, principalmente com o teor de 14% de PP<sub>Rec</sub>. Esse resultado está de acordo com a literatura (CAVANAUGH *et al.*, 1998), pois quando um compatibilizante é adicionado a uma blenda incompatível, a fase dispersa tende a apresentar um refinamento no tamanho das partículas (círculo preto). Esse efeito está relacionado com a migração do compatibilizante para a interface entre as fases presentes na blenda, promovendo uma redução da energia interfacial e evitando o coalescimento das partículas (MÉLO *et al.*, 2000; PENAVAL *et al.*, 2012). A presença do compatibilizante SEBS atuou reduzindo a tensão interfacial e aumentando a adesão, o que é importante para fortalecer a interface e, conseqüentemente, aumentar a eficiência da transferência de tensão (LIBIO *et al.*, 2012). O refinamento do tamanho das partículas, uma melhor dispersão e o aumento da adesão entre o PS e PP foram, provavelmente, os fatores responsáveis pelo aumento das propriedades de impacto.

## 4 | CONCLUSÕES

A incorporação de material reciclado pós-consumo de polipropileno (PP<sub>Rec</sub>), na mistura virgem de PS/PP copolímero compatibilizada com SEBS, é uma solução para o reaproveitamento dos resíduos plásticos industriais. Verificou-se que a adição de PP<sub>Rec</sub> é viável para o desenvolvimento de materiais com boas propriedades de resistência ao impacto, alongamento na ruptura e temperatura de amolecimento Vicat, além de apresentar boa processabilidade, em comparação ao PS. Os resultados indicam que se pode valorizar um material reciclado, contribuindo para minimizar os impactos ambientais e possibilitando o desenvolvimento de materiais que contribuam para um ciclo sustentável.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Braskem pelo fornecimento do polipropileno copolímero, à UFCG pela infraestrutura dos laboratórios, ao MCTI/CNPq e à CAPES/PNPD.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. M., JÚNIOR, E. H., CARVALHO, A. J. F., "Compatibilização de blendas de poliamida 6/ABS usando os copolímeros acrílicos reativos MMA-GMA e MMA-MA. Parte 2: comportamento termomecânico e morfológico das blendas", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 1, pp.22-30, 2004.
- ARAÚJO, L. M. G., MORALES, A. R., "Compatibilization of recycled polypropylene and recycled poly (ethylene terephthalate) blends with SEBS-g-MA", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 28, n. 1, pp.84-91, 2018.
- BIRUDUGADDA, A. K., MADHAV, C. V., BHUKYA, R., "Evaluation and characterization of polystyrene blending with polypropylene by using compatibilizers", In: *8th International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences*, pp. 67-71, Dubai, Jan. 2016.
- CALLEJA, F. J. B., CAGIAO, M. E., ADHIKARI, R., MICHLER, G. H., "Relating microhardness to morphology in styrene/butadiene block copolymer/polystyrene blends", *Polymer*, v. 45, n. 1, pp. 247-254, 2004.
- CAVANAUGH, T. J., BUTTLE, K., TURNER, J. N., NAUMAN, E. B., "The study of various styrene-butadiene copolymers as compatibilisers in bulk blends of polystyrene/polybutadiene", *Polymer*, v. 39, n. 18, pp. 4191-4197, 1998.
- COUTINHO, F. M. B., COSTA, M. P. M., GUIMARÃES, M. J. O. C., SOARES, B. G., "Preparation and characterization of high-impact polystyrene using different types of polybutadiene", *Journal of Applied Polymer Science*, v. 108, n. 1, pp. 406-413, 2008.
- DÍAZ, M. F., BARBOSA, S. E., CAPIATI, N. J., "Improvement of mechanical properties for PP/PS blends by in situ compatibilization", *Polymer*, v. 46, n.16, pp. 6096–6101, 2005.
- DÍAZ, S., ORTEGA, Z., MCCOURT, M., KEARNS, M. P., BENÍTEZ, A. N., "Recycling of polymeric fraction of cable waste by rotational moulding", *Waste Management*, v. 76, n. 6, pp. 199-206, 2018.
- GONZÁLEZ, V. A. G., VELÁZQUEZ, G. N., SÁNCHEZ, J. L. A., "Polypropylene chain scissions and molecular weight changes in multiple extrusion", *Polymer Degradation and Stability*, v. 60, n. 1, p. 33–42, 1998.
- HUNG, C. J., CHUANG, H. Y., CHANG, F. C., "Novel reactive compatibilization strategy on immiscible polypropylene and polystyrene blend", *Journal of Applied Polymer Science*, v. 107, n. 2, pp. 831-839, 2008.
- LIBIO, I. C., GRASSI, V. G., PIZZOL, M. F. D.,NACHTIGALL, S. M. B., "Toughened polystyrene with improved photoresistance: effects of the compatibilizers", *Journal of Applied Polymer Science*, v. 126, n. 1, pp. 179-185, 2012.
- LUNA, C. B. B., SILVA, D. F., ARAÚJO, E. M., OLIVEIRA, A. D., BEZERRA, E.O.T, "Influence of SEBS-MA and SBS compatibilizers on properties and morphology of blends of polystyrene/rubber residue (SBRr) from the footwear industry", *Rem: Int. Eng. J.*, v. 70, n. 2, pp. 193-199, 2017.
- LUNA, C. B. B., SILVA, D. F., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A., OLIVEIRA, A. D., "Comportamento reológico, mecânico, termomecânico e morfológico de blendas de poliestireno/resíduos de calçados com diferentes granulometrias", *Tecnol. Metal. Mater. Miner.*, v. 14, n. 3, p. 219-226, 2017.
- LUNA, C. B. B., SILVA, D. F., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A., OLIVEIRA, A. D., "Estudo do comportamento mecânico, termomecânico e morfológico de misturas de poliestireno/composto de borracha reciclada (SBR)", *Matéria (Rio J.)*, v. 20, n. 2, pp. 322-334, 2015.
- LUNA, C. B. B., SILVA, D. F., BASÍLIO, S. K. T., ARAÚJO, E. M., SILVA, A. L., BEZERRA, A.

F. C., “Desenvolvimento de blendas poliméricas visando à tenacificação dos polímeros: uma revisão”, *Semin., Ciênc. Exatas Tecnol.*, v. 36, n. 1, pp. 67-80, 2015.

LUNA, C. B. B., SIQUEIRA, D. D., ARAÚJO, E. M., MORAIS, D. D. S., BEZERRA, E. B., “Toughening of polystyrene using styrene-butadiene rubber (SBRr) waste from the shoe industry”, *Rem: Int. Eng. J.*, v. 71, n. 2, pp. 253-260, 2018.

MACAÚBAS, P. H. P., DEMARQUETTE, N. R., DEALY, J. M., “Nonlinear viscoelasticity of PP/PS/SEBS blends”, *Rheologica Acta*, v. 44, n. 3, p. 295–312, 2005.

MÉLO, T. J. A., CARVALHO, L. H., CALUMBY, R. B., BRITO, K. G. Q., D’ALMEIDA, J. R. M., SPIETH, E., “Propriedades mecânicas e morfologia de uma blenda polimérica de PP/HIPS compatibilizada com SEBS”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 2, pp.82-89, 2000.

OLIVEIRA, R. V. B., FERREIRA, C. I., PEIXOTO, L. J. F., BIANCHI, O., SILVA, P. A., DEMORI, R., SILVA, R. P., VERONESE, V. B., “Mistura polipropileno/poliestireno: um exemplo da relação processamento-estrutura-propriedade no ensino de polímeros”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 23, n.1, pp. 91-96, 2013.

OMONOV, T. S., HARRATS, C., MOLDENAERS, P., GROENINCKS, G., “Phase continuity detection and phase inversion phenomena in immiscible polypropylene/polystyrene blends with different viscosity ratios”, *Polymer*, v. 48, n. 20, pp. 5917-5927, 2007.

PARAMESWARANPILLAI, J., JOSEPH, G., CHELLAPPAN, R. V., ZAHAKARIAH, A. K., HAMEED, N., “The effect of polypropylene-graft-maleic anhydride on the morphology and dynamic mechanical properties of polypropylene/polystyrene blends”, *Journal of Polymer Research*, v. 22, n. 2, pp. 11-11, 2015.

PARAMESWARANPILLAI, J., JOSEPH, G., JOSE, S., HAMEED, N., “Phase morphology, thermomechanical, and crystallization behavior of uncompatibilized and PP-g-MAH compatibilized polypropylene/polystyrene blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n. 24, pp. 1-11, 2015.

PARAMESWARANPILLAI, J., JOSÉ, S., SIENGCHIN, S., HAMEED, N., “Phase morphology, mechanical, dynamic mechanical, crystallization, and thermal degradation properties of PP and PP/PS blends modified with SEBS elastomer”, *International Journal of Plastics Technology*, v.21, n. 1, pp.79-95, 2017.

PENAVA, N. V., REK, V., HOURA, I. F., “Effect of EPDM as a compatibilizer on mechanical properties and morphology of PP/LDPE blends”, *Journal of Elastomers & Plastics*, v. 45, n. 4, pp. 391-403, 2012.

RIBEIRO, V. F., JÚNIOR, N. S. D., RIEGEL, I. C., “Estudo da Recuperação das propriedades de poliestireno de alto impacto (HIPS) através da incorporação de borracha termoplástica tipo estireno-butadieno-estireno (SBS)”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 22, n. 2, pp. 186-192, 2012.

ROUABAH, F., DADACHE, D., HADDAOUI, N., “Thermophysical and mechanical properties of polystyrene: influence of free quenching”, *International Scholarly Research Network*, v. 20, n. 2, p. 1-8, 2012.

SAMSUDIN, S. A., HASSAN, A., MOKHTAR, M., JAMALUDIN, S. M. S., “Effect of SEBS on impact strength and flexural modulus of polystyrene/polypropylene blends”, *Jurnal Teknologi*, v. 39, n. A, pp. 35–44, 2003.

TAGHAVI, S. K., SHAHRAJABIAN, H., HOSSEINI, H. M., “Detailed comparison of compatibilizers MAPE and SEBS-g-MA on the mechanical/thermal properties, and morphology in ternary blend of recycled PET/HDPE/MAPE and recycled PET/HDPE/SEBS-g-MA”, *Journal of Elastomers & Plastics*, v. 50, n. 1, pp. 13-35, 2017.

- TAKEMORI, M. T., "Towards an understanding of the heat distortion temperature of thermoplastics", *Polymer Engineering and Science*, v. 19, n. 15, pp. 1104-1109, 1979.
- TANG, C. Y., TSUI, C. P., SHEN, W., LI, C. C., PENG, L. H., "Modelling of non-linear stress-strain behaviour of HIPS with craze damage in tensile loading-unloading process", *Polymer Testing*, v. 20, n. 1, pp. 15-27, 2001.
- THIRTHA, V., LEHMAN, R., NOSKER, T., "Effect of additives on the composition dependent glass transition variation in PS/PP blends", *Journal of Applied Polymer Science*, v. 107, n. 6, pp. 3987-3992, 2008.
- VIRGILIO, N., AURÉLE, C. M., FAVIS, B. D., "Novel self-assembling close-packed droplet array at the interface in ternary polymer blends", *Macromolecules*, v.42, n. 9, pp. 3405-3416, 2009.
- WANG, D., LI, Y., XIE, X. M., GUO, B. H., "Compatibilization and morphology development of immiscible ternary polymer blends", *Polymer*, v. 52, n. 1, pp. 191-200, 2011.
- WANG, Y. H., CHEN, Y. H., RODRIGUE, D., "Production of thermoplastic elastomers based on recycled PE and ground tire rubber: morphology, mechanical properties and effect of compatibilizer addition", *International Polymer Processing*, v. 33, n. 4, pp. 525-534, 2018.
- WANG, Y., XIAO, Y., ZHANG, Q., GAO, X. L., FU, Q., "The morphology and mechanical properties of dynamic packing injection molded PP/PS blends", *Polymer*, v. 44, n. 5, pp. 1469-1480, 2003.
- WU, Y., JING, S., GU, Q., LI, B. "Morphological evolution of polypropylene/polystyrene blends in a twin-screw extruder", *Journal of Applied Polymer Science*, v. 119, n. 4, pp. 1970-1977, 2011.



## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Carmen Lúcia Voigt:** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-422-1

