

# AVALIAÇÃO DE COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA COM MICROPARTÍCULA DE COBRE SINTETIZADAS DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS

Tiago Pereira Socci <sup>1</sup>; Viviane Tavares de Moraes <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professora do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo:** *No cenário atual, a busca por um material com propriedades sanitizantes vem ganhando cada vez mais espaço na área da saúde, indústria e acadêmica. Desta forma, o uso de compósitos de matriz polimérica se tornou alvo da maior parte das pesquisas e a carga que apresentou melhores resultados foi a de nanopartícula de prata, porém ela apresenta um custo muito elevado. A fim de minimizar os custos propõe-se como potencial substituto dela a utilização da nanopartícula de cobre por também apresentar propriedades bactericidas. Além disso, o cobre é abundantemente presente nos resíduos de equipamento eletroeletrônicos (REEs) e a sua recuperação é próxima de 100%, o que viabiliza toda a cadeia de reciclagem dos REEs. Desta forma, foi avaliado o comportamento mecânico de compósitos de matriz de polipropileno (PP) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno) com incorporação de cobre metálico em pó antes da utilização das nanopartículas de cobre, pois elas são difíceis de serem obtidas, além de terem um custo elevado. Desta forma, a partir da definição das melhores condições pode-se fazer a simulação com nanopartículas de cobre.*

## Introdução

No cenário atual da indústria, além da procura constante na melhora dos processos visando um aumento da produtividade, competitividade e qualidade, o objetivo de se desenvolver processos industriais voltados a diminuição da contaminação biológica vem recebendo cada vez mais destaque pela imprensa e indústria. Isto ocorre em diversas áreas, mas na indústria de polímeros esta é uma preocupação constante, pelo uso dos polímeros como embalagens de alimentos e por eles durarem muito tempo na natureza, sendo possíveis vetores de doenças quando contaminados com microrganismos, como bactérias, fungos e vírus (Padula e Cuervo, 2004).

Foi sugerido por Kojima et al. (1993) o desenvolvimento de compósitos afim de que haja uma contribuição de cada fase na propriedade final do compósito. Segundo Kojima et al. (1993), os metais se destacaram dos demais materiais na procura pelo reforço ideal do compósito pelas suas propriedades antibactericidas. Além disso, eles foram usados em tamanho nanométrico pelas mudanças das propriedades que este tamanho acarreta, segundo Arcuri (2017), devido aos seguintes aspectos:

- Para uma mesma quantidade de material, à medida que se diminui o seu tamanho, há um aumento da relação superfície/volume. Este é um dos fatores responsáveis por novas propriedades físicas e químicas.
- A diminuição do tamanho para um mesmo volume/ massa de material faz com que ocorra um aumento da área superficial das partículas.
- Isto provoca um grande aumento da energia superficial e, em consequência, da reatividade das partículas, o que, por exemplo, provoca um aumento na atividade catalítica de alguns materiais.
- Nesta dimensão nanométrica, o comportamento da matéria começa a ser dominado por efeitos quânticos, responsáveis por novas propriedades óticas, elétricas e magnéticas dos nanomateriais.

Portanto, com o grande avanço nos estudos na área das nanopartículas, pode-se vislumbrar a formação de um nanocompósito de matriz polimérica com propriedades

sanitizantes a partir da adição das nanopartículas de metais com propriedades sanitizantes, sintetizadas por via aquosa (Berni Neto, 2008). Desta forma, segundo Berni Neto (2008), foram estudados diversos metais os quais possuem propriedades sanitizantes e como resultado obteve-se a seguinte escala de toxicidade contra micro-organismos: Ag > Hg > Cu > Cd > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn >.

O material que mais se destacou foi a prata. Isso ocorreu, segundo Pinto (2017), pelo uso conhecimento de suas propriedades antibactericidas há milhares de anos, sendo usada pelos gregos e romanos como antibiótico, por exemplo. Esta propriedade bactericida ocorre pela afinidade da prata com grupos funcionais como o enxofre e o fósforo que são presentes em grande quantidade nas células bacterianas (Caldas, 2017). Além disso, quando a prata é usada na forma de nanopartícula, seu potencial germicida é melhorado e a sua incorporação é realizada de forma mais fácil (Pinto, 2017). Desta forma, nanopartícula de prata mostra melhor propriedade bactericida se comparada a prata metálica graças a sua dispersão homogênea nas matrizes poliméricas que pode prover um melhor contato com os microrganismos (Toker, 2013).

Como compósitos de matriz polimérica com nanopartícula de prata possui características bactericidas, além de estar sendo amplamente estudada na indústria alimentícia como matéria prima para a produção de embalagens, também tem chamado atenção na área médica. Segundo Pinto (2017), atualmente, a maior aplicação da prata/nanoprata na área médica é na prevenção de infecções locais recorrentes e de longo prazo, como queimaduras, feridas traumáticas e úlceras diabéticas, além de revestimento de cateteres e outros dispositivos implantados no corpo.

Outras áreas beneficiadas pelo uso da nanopartícula de prata são as dos sensores químicos, MEV (microscópio eletrônico de varredura), biossensores e outros aparelhos por ela possuir uma ampla faixa de absorção de luz visível; tecidos antibactericidas para máscaras e colchões, e que quando aplicados em matriz polimérica aumentam sua resistência mecânica, além de fornecer menos atrito e desgaste na superfície do material, entre outras. Contudo a concentração dessas nanopartículas, seu formato e a sua dispersão ainda estão sobre constante estudo, pois precisam ser avaliadas para não resultarem em materiais com potenciais falhas mecânicas.

Mesmo com todos os benefícios, a nanopartícula de prata apresenta um custo elevado se comparado com outros metais que também apresentam essas propriedades antibactericidas e, como alternativa do seu uso, a nanopartícula de cobre é uma ótima opção, segundo Ribeiro (2019), porque ela também tem propriedades antibactericidas elevadas até mesmo em teores baixos como de 1%, além de possuir uma origem nacional e um custo mais baixo. Além disso, o cobre é muito presente nos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) e, desta forma, pode ser obtido nanopartículas de cobre a partir desses REEEs.

De acordo com Yamane et al. (2011), os REEEs são resíduos gerados pelo descarte de equipamentos, como computadores e celulares, ocasionados pelo mau funcionamento ou pela tecnologia ter se tornado obsoleta e o número desses resíduos vem crescendo cada vez mais com o passar dos anos pelo avanço gradativamente maior da tecnologia. Um bom exemplo desse aumento está pelo fato de em 2014 a média de REEEs estava em torno de 20 a 25 megatoneladas ao ano (Moraes et al., 2014) e em 2017 foram geradas 41,8 megatoneladas (Kumar et al., 2017).

Esse aumento na geração de resíduos é muito preocupante por diversos aspectos para a saúde humana e ao meio ambiente, mas o principal, segundo Rodrigues (2007), é pela presença de materiais tóxicos em sua composição, como metais tóxicos e gases de efeito estufa, e uma vez que os REEEs são tratados e reciclados a sua presença em aterros diminui e, portanto, reduz o risco de contaminação contribuindo para a proteção ambiental. Além disso, esse aumento causa também um perigo muito grande para a sustentabilidade ambiental uma vez que com a produção aumentando os recursos ambientais usados para a produção desses equipamentos

eletroeletrônicos também aumenta, gerando ainda mais resíduos descartados em aterros e lixões.

As placas de circuito impresso (PCIs) são lâminas de compósitos com uma ou mais camadas de cobre com a função de realizar o contato entre componentes elétricos, como resistores, circuitos integrados, transistores, diodos, capacitores e componentes magnéticos (Ladou et al., 2006). Sua presença é de aproximadamente 3 a 5% dos REEes (Kaya, 2016) e são encontradas em quase todos os equipamentos elétricos e eletrônicos, sendo normalmente compostas por polímeros, cerâmicas e metais. Entretanto, de acordo com Moraes et al. (2014), as PCIs de aparelhos de televisão, computadores e celulares apresentam uma diferença muito significativa em sua composição e, portanto, a porcentagem de cada material recuperado em cada um será diferente. Por exemplo, as PCIs dos telefones celulares têm seu peso dividido em 63% metais, 24% cerâmicas e 13% polímeros; já as de computadores possuem 45% metais, 24% polímeros e 28% cerâmica (Yamane et al., 2011).

Quanto aos materiais metálicos presentes nas PCIs, existem 3 principais tipos, segundo Moraes et al. (2014), sendo eles: metais preciosos (ouro, prata, paládio e platina); metais base (cobre, alumínio, níquel, estanho, zinco e ferro); e metais tóxicos (mercúrio, berílio, índio, chumbo, cádmio, arsênio, antimônio). As placas de circuito impressos de celulares, que possuem 63% em massa de metais, têm a presença dos metais dividida em 36% cobre; 12,5% ferro; 6,2% estanho; 2,9% zinco; 1,5% chumbo; 0,5% alumínio; 0,1% bário; 0,05% cálcio e 0,05% prata (Moraes, 2011). Atualmente a maioria dos processos de recuperação tem como objetivo os metais preciosos, como ouro e prata, pelo seu alto valor agregado, mas sua concentração não chega a 1% da massa total dos REEes (Moraes et al., 2014). Um material com muito mais potência de recuperação dos REEes é o cobre pela sua grande presença em massa nas PCIs.

Os métodos de reciclagem de placas de circuito impresso englobam, segundo Moraes (2011), a desmontagem, beneficiamento e refino que são, respectivamente, a separação seletiva dos materiais tóxicos dos demais, a utilização de processos específicos para concentrar os materiais e a real separação deles. Esses processos podem ser divididos também em mecânico, pirometalúrgico e hidrometalúrgico.

Os processos mecânicos mais convencionais são (Moraes, 2011; Chaves, 1999): a moagem, que consiste na redução do tamanho a fim de liberar materiais presentes em minérios, resíduos e sucatas a partir da influência mecânica; separação magnética, que separa os materiais de acordo com suas características quanto ao seu campo magnético sendo focado no beneficiamento do minério e retirada dos materiais de sucatas; separação eletrostática, concentra minérios que apresentam condutividade elétrica ou não; classificação granulométrica, separação de partículas pelo seu tamanho a partir da passagem delas por um ou mais peneiras.

O processamento pirometalúrgico consiste em utilizar de altas temperaturas para processar os materiais, mas isso é desvantajoso para o tratamento de PCI pela grande presença de polímeros que quando submetidos a degradação térmica podem formar substâncias tóxicas (Moraes, 2011).

O processo hidrometalúrgico se baseia na operação de lixiviação que seria a dissolução de matéria pela ação de soluções aquosas ou agentes lixiviantes a fim de avaliar seus aspectos termodinâmicos (Jackson, 1986). Depois dessa etapa, comumente utiliza-se outras técnicas hidrometalúrgicas para favorecer a seletividade dos materiais (Moraes, 2011). Por meio dos resultados obtidos por Moraes (2011), pode-se observar que com o processo de lixiviação com ácido sulfúrico em meio oxidante e pH 0,5 a 75°C após 2 horas de lixiviação, promove uma recuperação de 99% de cobre ao final do processo, o que corresponde a 32kg de cobre para cada 100kg de PCI.

Desta forma, a obtenção de cobre para a síntese de nanopartículas se torna um insumo importante, uma vez que seu custo está diretamente ligado a logística e recuperação do metal, que se encontra em abundância nos eletroeletrônicos. Uma vez que o processo de recuperação

de cobre para síntese de nanopartículas gera um produto de alto valor agregado com muitas aplicações, toda a cadeia de reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos se torna viável economicamente.

Quanto aos polímeros com maior potencial junto nas nanopartículas de cobre, se tem o polipropileno (PP) por ele ser um dos polímeros mais utilizados para a fabricação de embalagem de alimentos, suprimentos médicos, produtos de consumo (eletrodomésticos, brinquedos, malas etc.) e películas plásticas e, portanto, alvo para a aplicação das nanopartículas; outro polímero é o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) por ser largamente utilizado em superfícies de veículos, computadores, brinquedos e impressão 3D. A avaliação das propriedades mecânicas, da morfologia e o estudo da incorporação das nanopartículas nas matrizes são essenciais para se comparar a matriz natural com os compósitos e, dessa forma, verificar tanto suas aplicações na engenharia quanto na medicina.

Os ensaios mecânicos são métodos usados para mensurar uma série de propriedades mecânicas do material com o foco de compreender seu comportamento de trabalho e suas vantagens são que ao mesmo tempo consegue dispor de um alto desempenho e segurança ele possui um baixo custo, ou seja, possui um excelente custo-benefício. O principal ensaio é o de tração o qual consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente à amostra, ao mesmo tempo em que são medidas as variações na sua dimensão com o objetivo de determinar a partir da curva de tensão-deformação, desta forma gerado os valores do limite de resistência, deformação na ruptura e módulo de elasticidade do material.

## **Material e Método**

O processo de incorporação de cobre metálico em pó na matriz de PP e ABS foi testado antes da utilização das nanopartículas de cobre, a fim de avaliar o desempenho mecânico do compósito, pois as nanopartículas de cobre são difíceis de serem obtidas, além de terem um custo elevado. Desta forma, a partir da definição das melhores condições pode-se fazer a simulação com nanopartículas de cobre.

Para a formação das amostras, foram usados o polipropileno RT400NAQ e o ABS 750SW e suas propriedades são representadas, respectivamente, pela Figura 1 e pela Figura 2.

Figura 1 – Características Polipropileno RT400NAQ

**Polipropileno RT400NAQ**

Descrição:  
Copolímero Randômico

O RT400NAQ é um copolímero randômico de propeno e eteno de alto índice de fluidez. É indicado para processo de moldagem por injeção. Esta resina apresenta boa processabilidade, alta produtividade, excepcional transparência e brilho e bom balanço rigidez/impacto.

Aplicações:  
Injeção de Peças de Alta Transparência e Parede Fina

Processos:  
Moldagem por Injeção

**Propriedades de Controle**

Característica	Método	Unidades	Valores
Índice de Fluidez (230°C/2,16kg)	D 1238	g/10 min	40

**Propriedades Típicas<sup>a)</sup>**

Característica	Método	Unidades	Valores
Densidade	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,902
Módulo de Flexão Secante a 1%	D 790	MPa	1050
Resistência à Tração no Escoamento	D 638	MPa	30
Alongamento no Escoamento	D 638	%	14
Dureza Rockwell (Escala R)	D 785	-	83
Resistência ao Impacto Izod a 23°C	D 256	J/m	40
Resistência ao Impacto Izod a -20°C	D 256	J/m	20
Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 MPa	D 648	°C	83
Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820 MPa	D 648	°C	49
Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N	D 1525	°C	127
Opacidade	D 1003	%	18

a) Ensaios em corpo de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101. NB = No Break.

Figura 2 - Características ABS 750SW

KUMHO  
PETROCHEMICAL

beyond  
the best

**Technical Data Sheet ( ASTM )**

**ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)**

**ABS 750SW**

**Features** Super white, Easy flow, Medium impact strength  
**Applications** Electronics, Household appliances, Miscellaneous goods

Physical	Test Method	Value
Density	ASTM D792	1.04 g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Index (220°C, 10kg)	ASTM D1238	38 g/10min
Mold Shrinkage	ASTM D955	0.5 ~ 0.8 %
Water absorption	ASTM D570	- %

Mechanical	Test Method	Value
Tensile Strength	ASTM D638	485 kgf/cm <sup>2</sup> (6,790) (psi)
Elongation	ASTM D638	15 %
Flexural Strength	ASTM D790	720 kgf/cm <sup>2</sup> (10,080) (psi)
Flexural Modulus	ASTM D790	24,500 kgf/cm <sup>2</sup> (347,900) (psi)
Izod Impact Strength(3.2mm, 23°C)	ASTM D256	24 kgf/cm/cm (4,4) (ft-lb/in)
Izod Impact Strength(6.4mm, 23°C)	ASTM D256	20 kgf/cm/cm (3,7) (ft-lb/in)
Rockwell Hardness(R scale)	ASTM D785	109

Thermal	Test Method	Value
Heat Deflection Temperature(1&6kgf/cm <sup>2</sup> )	ASTM D648	85 °C (185) (°F)
Vicat Softening Temperature(5kg, 50°C/h)	ASTM D1525	95 °C (203) (°F)

Flammability	Test Method	Value
Flame Rating - UL (1.6mm)	UL 94	HB

A fim de separa as porcentagens de cobre a serem misturadas nas matrizes, foram pesadas porcentagens de cobre utilizando uma balança de laboratório nas proporções apresentadas pela Figura 4 e, na tentativa de se obter uma melhor incorporação do cobre metálico em pó nas matrizes poliméricas, foram feitas amostras com as mesmas porcentagens

de cobre com e sem um compatibilizador chamado fusabond N416, com as especificações técnicas mostradas na Figura 3.

Figura 3 – Especificações técnicas fusabond N416

**DuPont Packaging & Industrial Polymers**  
The miracles of science™

**DuPont™ Fusabond® N416**

**Fusabond® resins Product Data Sheet**

**Description**  
Product Description: Fusabond® N416 is a chemically modified ethylene elastomer.

**Restrictions**  
Material Status: Commercial, Active  
Availability: Globally

**Typical Characteristics**  
Uses: Polymer Modifier  
Applications: Polyamide Modification

**Typical Properties**

Physical	Nominal Values	Test Method(s)
Density (g)	0.869 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1792 ISO 1183
Melt Flow Rate (280°C/2.16kg)	23 g/10 min	ASTM D1238 ISO 1133

Thermal	Nominal Values	Test Method(s)
Melting Point (DSC)	43°C (109°F)	ASTM D3418 ISO 3146
Freezing Point (DSC)	17°C (63°F)	ASTM D3418

**Processing Information**  
General: Maximum Processing Temperature: 285°C (545°F)

**FDA Status Information**  
Fusabond N416 resin conforms with the Code of Federal Regulations, Title 21, Paragraph 175.105, covering the use of adhesive adhesives in composite packages for food use. This regulation describes adhesives which may be safely used as components of articles intended for use in packaging, transporting or holding food. This regulation requires that either (1) the adhesive is separated from the food by a functional barrier, or (2) the quantity of adhesive which contacts food or aqueous foods does not exceed the trace amounts at the seams or edges. Customers should satisfy themselves that the food contact material is serving as a functional barrier to the adhesive.

**Safety & Handling**  
As with any hot material, care should be taken to protect the hands and other exposed parts of the body when working with molten polymer.

At temperatures above 285°C (545°F), these resins can evolve low concentration ratios of fumes. When resins are overheated, more extensive decomposition may occur. Because fumes produced during exposure to high temperatures may be combustible, exposure of overheated resin to atmospheric oxygen should be avoided if possible. Adequate local ventilation should be provided to remove the fumes from the work area.

Disposal of scrap material presents no special problems, and may be accomplished by incineration or by incineration by a properly operated incinerator. Disposal should comply with local, state, and federal regulations. Resin pellets can be a slipping hazard. Loose pellets should be swept or promptly to prevent falls.

For more detailed information on the safe handling and disposal of these resins, a Product Safety Bulletin and OSHA Material Safety Data Sheets can be obtained from the Regional Office serving you.

**Read and Understand the Material Safety Data Sheet (MSDS) before using this product**

**Regional Centres**  
DuPont operates in more than 70 countries. For help finding a local representative, please contact one of the following regional customer contact centers:

Americas	Asia Pacific	Europe / Middle East / Africa
DuPont Company, BMP28-2215 Lancaster Pike & Route 141 Wilmington, DE 19855 U.S.A. Telephone +1 302-774-1161 Toll-free (USA) 800-628-6208, ext. 6 Fax +1 302-355-4056	DuPont China Holding Co., Ltd. Shanghai Branch 389 Keyuan Road, Bldg. 11 Changyang Hi-Tech Park Pudong New District, Shanghai P.R. China (Postcode: 201203) Telephone +86 21 3862 2888 Fax +86 21 3862 2889	DuPont de Nemours Int'l, S.A. 2, Chemin du Pavillon Box 50 CH-1218 Le Grand Saconnex Genève, Switzerland Telephone +41 22 717 51 11 Fax +41 22 717 51 00

DuPont do Brasil, S.A.  
Ilumina Inspeccuro, 506  
06454-080 Barueri, SP Brasil  
Telephone +55 11 4168 8000  
Fax +55 11 4168 8738

<http://fusabond.dupont.com>

The data listed here fall within the normal range of properties, but they should not be used to establish specification limits nor used alone as the basis of design. The DuPont Company assumes no obligations or liability for any advice, furnished or for any results obtained with respect to this information. All such advice is given and accepted at the buyer's risk. The disclosure of information herein is not a license to operate under or a recommendation to infringe any patent of DuPont or others. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual reactor conditions, DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information.

CAUTION: Do not use DuPont materials in medical applications involving implantations in the human body or contact with internal body fluids or tissues unless the material has been produced from DuPont under a written contract that is consistent with DuPont policy regarding medical applications and expressly acknowledges the contemplated use. For further information, please contact your DuPont representative. You may also request a copy of DuPont (PDU) Regarding Medical Applications H-50102-3 and DuPont CAUTION Regarding Medical Applications H-50102-1.

Copyright © 2009 DuPont. The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™, and trademarks designated with TM are registered trademarks or trademarks of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.

This data sheet is reflective as of 01/11/2010 1:23PM and supersedes all previous versions.

01/11/2010 1:23PM. Copyright: E.I. du Pont de Nemours and Company, Inc. 1 of 3

Figura 4 – Composição das amostras testadas

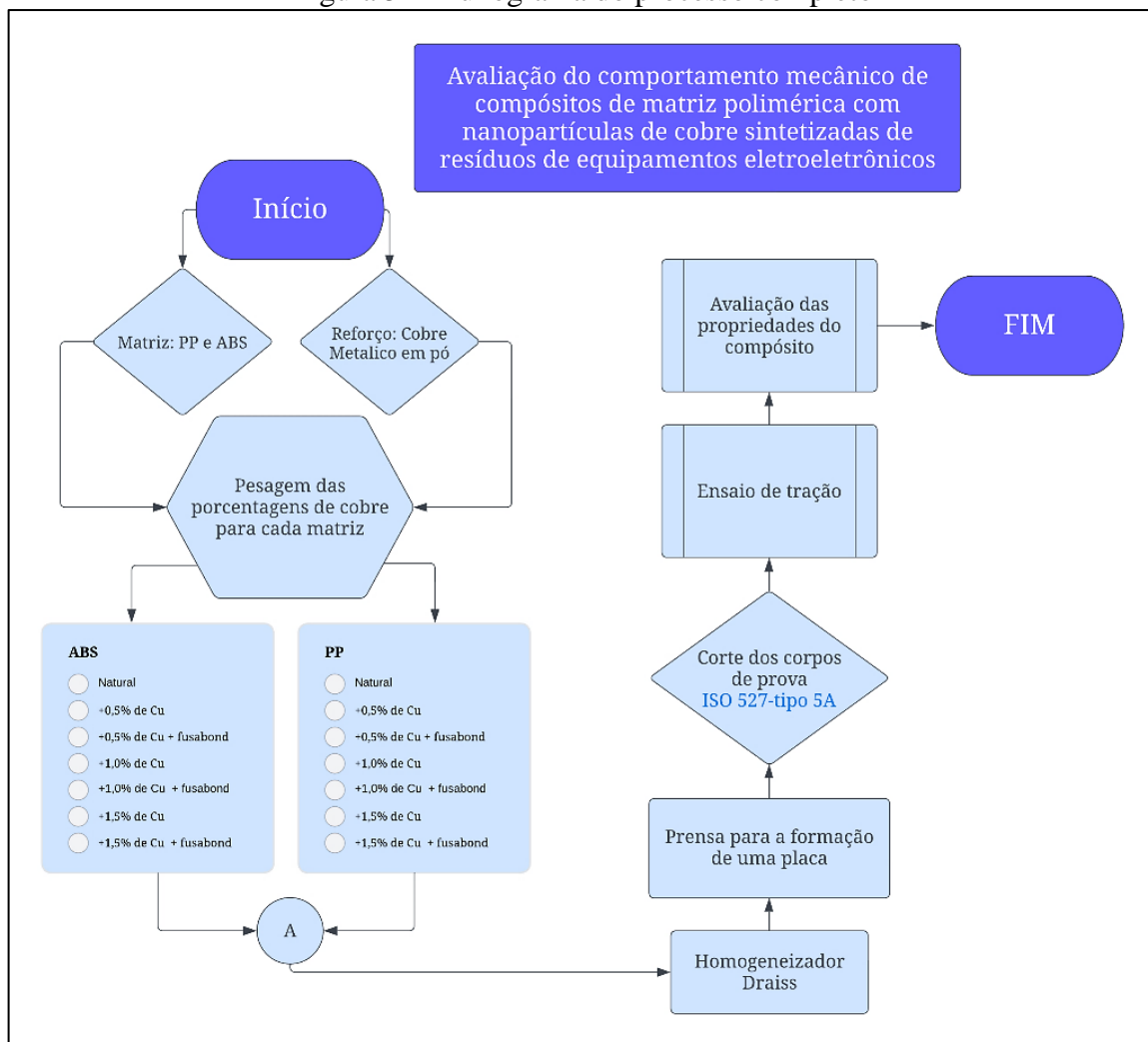
Polipropileno (PP)	Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)
Natural	Natural
0,5 % de cobre	0,5 % de cobre
0,5 % de cobre + fusabond	0,5 % de cobre + fusabond
1,0 % de cobre	1,0 % de cobre
1,0 % de cobre + fusabond	1,0 % de cobre + fusabond
1,5 % de cobre	1,5 % de cobre
1,5 % de cobre + fusabond	1,5 % de cobre + fusabond

Após a pesagem, as amostras foram levadas para um homogeneizador termocinético – “Drais” para a preparação do compósito. Esse equipamento funciona basicamente em 3 etapas, sendo elas: a moagem das partículas gerada pelo choque entre os materiais, as pás do eixo e a camisa de mistura; a alta “turbulência” e choque das partículas; e a plastificação ou fusão. Além disso, esse equipamento apresenta um sistema preciso de controle da temperatura de processamento evitando assim a possível degradação dos materiais.

Em seguida, o compósito foi colocado em uma prensa para a formação de uma placa e depois foram cortados corpos de prova seguindo as normais da ISO 527 – tipo 5. Com esses corpos de prova formados foram realizados os ensaios de tração para verificar se os compósitos formados apresentam comportamentos mecânicos melhores ou não do que os polímeros naturais.

Para melhor visualização do projeto como um todo, foi realizada a representado de toda a linha de raciocínio e os métodos usados de forma resumida a partir do fluxograma apresentado na Figura 5.

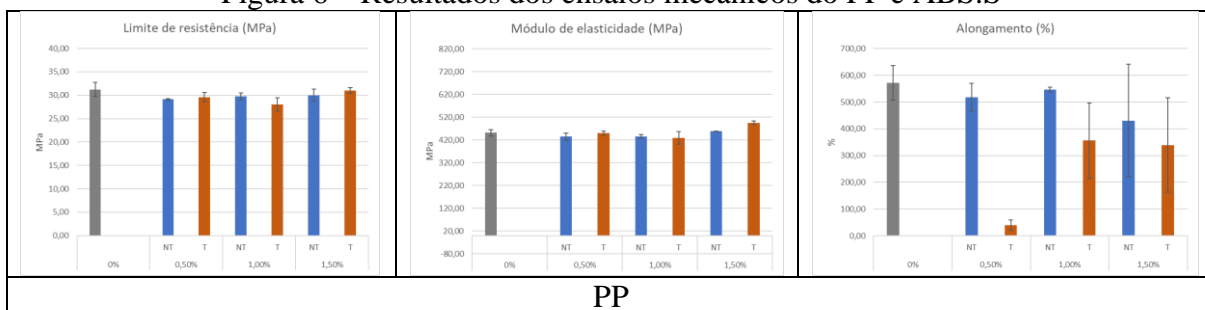
Figura 5 – Fluxograma do processo completo

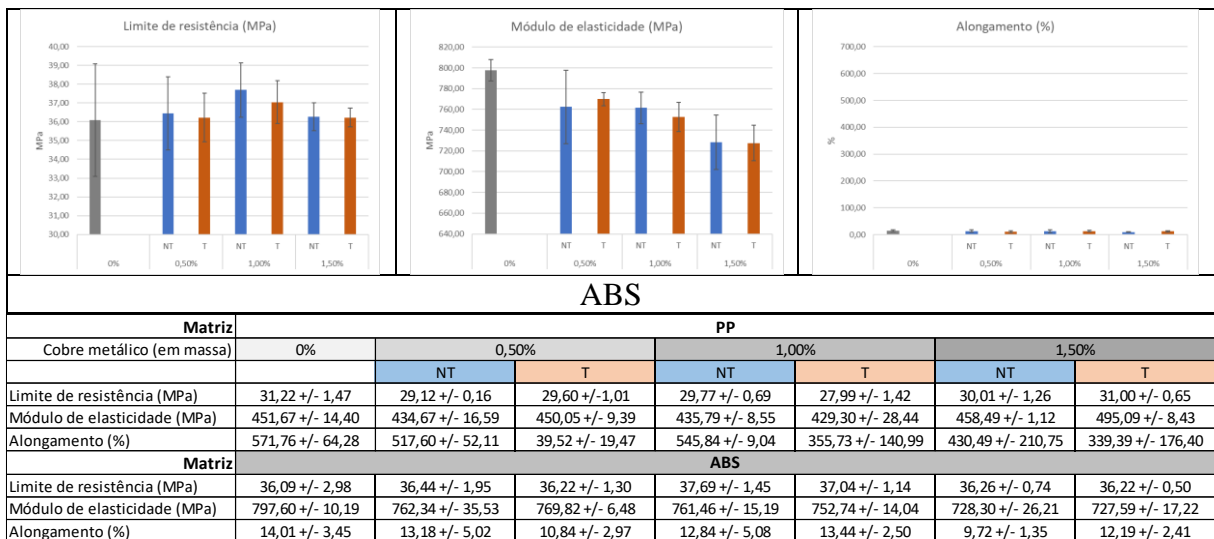


## Resultados e Discussão

A partir do estudo teórico e dos resultados obtidos experimentalmente da criação de um compósito de matriz polimérica (PP e ABS) com baixas porcentagens de massa de reforço de pó de cobre metálico pode-se obter os resultados apresentados pela Figura 6, onde NT e T representam, respectivamente, as amostras sem e com compatibilizante.

Figura 6 – Resultados dos ensaios mecânicos do PP e ABS.S





Segundo Dalpiaz (2006), as partículas inorgânicas minerais usadas como carga induzem, na matriz, concentrações de tensões e, com uma maior concentração de tensões, tende a reduzir a resistência à tração do material. Desta forma, constata-se a partir da Figura 6 que o PP apresentou uma leve queda no limite de resistência, enquanto o ABS não mostrou quase nenhuma variação. Isso ocorreu devido ao fato, segundo Dalpiaz (2006), da resistência do polímero com carga inorgânica mineral não depender somente da forma, do percentual de carga e dos parâmetros de processos de fabricação do componente, mas também da dispersão das partículas e da adesão carga/matriz.

Quanto ao módulo de elasticidade e o alongamento, observa-se a partir da Figura 6 que tanto o PP como o ABS apresentaram uma queda significativa nos dois aspectos e, desta forma, pode-se dizer que esses compósitos apresentaram uma característica menos rígida. Entretanto, segundo Dalpiaz (2006), um dos principais efeitos da adição de cargas minerais em polímeros é o aumento do módulo de elasticidade, pois a taxa de rigidez depende do tipo e da anisotropia da carga e, como o cobre apresenta um módulo de elasticidade muito superior, ou seja, é mais rígido que os polímeros, o módulo de elasticidade do compósito tende a aumentar. Está diferença provavelmente da teoria com a prática possivelmente ocorre devido à baixa aderência da carga em relação a matriz.

Analisando o limite de resistência a tração e o alongamento mostrado pelo PP e o ABS da Figura 1 e Figura 2 comparado ao apresentado pelos testes na Figura 6, pode-se observar que como os resultados foram muito próximos o material usado para os ensaios é o mesmo do indicado.

Além disso, nota-se a partir da Figura 6 que as amostras de compósitos com matriz de PP com adição do compatibilizante apresentaram uma melhora sutil em seu limite de resistência a tração e um leve aumento no seu módulo de elasticidade, o que levou a uma queda do alongamento. Assim, pode-se dizer que ele agregou positivamente nas propriedades do material, melhorando sua rigidez e, desse modo, apresenta uma característica mais próxima do esperado para um compósito polimérico com carga de partículas minerais inorgânicas (Dalpiaz, 2006).

Por outro lado, a adição do fusabond nos compósitos de matriz polimérica de ABS não realizou sua função corretamente, pois apesar de ter uma leve melhora no limite de resistência a tração, tanto o módulo de elasticidade diminuiu como o alongamento diminuíram. Desta forma, o material apresentou um comportamento menos rígido e mais frágil, ou seja, diferente do esperado para esse tipo de compósito (Dalpiaz, 2006).

## Conclusão



A partir do estudo comparativo das propriedades mecânicas dos polímeros naturais PP e ABS com e sem a adição de carga de cobre metálico em pó e do fusabond foi possível identificar a variação do limite de resistência, módulo de elasticidade e do alongamento apresentado dos materiais testados.

A adição da carga de cobre tanto no PP como no ABS não foi muito impactante para as propriedades mecânicas dos compósitos desenvolvidos, ou seja, apresentaram poucos impactos no limite de resistência a tração, módulo de elasticidade e alongamento do material. Assim, como o objetivo é formar um filme bactericida, pode-se dizer que o experimento foi um sucesso por garantir que não houve-se interferências nas propriedades mecânicas finais do material.

A presença do fusabond ajudou na adesão da carga de cobre metálico em pó no PP, mas não foi adequada para o ABS. Nota-se isso a partir da análise da rigidez do material que deveria aumentar à medida que se acrescenta cargas de cobre metálico em pó.

## Referências Bibliográficas

ARCURI, Arline Sydneia Abel (2017) **Nanotecnologia, Covid-19 E Trabalhadores**: Nanotecnologia, Sociedade E Meio Ambiente. Rio Grande do Sul: Fundação de Amparado à Pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul.

BERNI NETO, Elias Antonio; RIBEIRO, Caue; ZUCOLOTTI, Valtencir (2008) Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. São Carlos, SP  
BUZZETTI, Paulo Henrique Maciel, et al. (2013) **Polímero Aditivado com Nanopartículas de Prata para Aplicação em Materiais Antimicrobianos**. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, nº 12, Florianópolis. Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Chaves, A. P.; Peres, A. E. C. (1999) *Teoria e prática do tratamento de minérios: britagem, peneiramento e moagem*. Signus. São Paulo.

Caldas, M. P. K. (2017) *Síntese de nanopartículas de prata a partir da reciclagem de placas de circuito impresso*, p. 154. Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Escola Politécnica da USP, São Paulo.

Dalpiaç, G. (2006). Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno. Porto Alegre

Ladou, J. (2006) Printed circuit board industry. *International journal of hygiene and environmental health*, v. 209, n. 3, p. 211–9.

Lustosa, E. C. D. B., Menezzi, C. H. S. D., Luz, S. M. D., Raabe, J., Jesus, L. C. C. D., Leão, R. M., & Zattera, A. J. (2020). *Propriedades térmicas de compósitos de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) e fibras de celulose modificadas com nanopartículas de sílica (SiO<sub>2</sub>)*, 25. Rio de Janeiro.

Moraes, V. T. D.; Espinosa, D. C. R.; Lucena, L. (2014) *Gestão de resíduos eletroeletrônicos: uma abordagem prática para a sustentabilidade*. 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier Editora Ltda.

Moraes, V. T. D. (2011) *Recuperação de metais a partir do processamento mecânico e hidrometalúrgico de placas de circuito impresso de celulares obsoletos*, p. 135. São Paulo, Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da USP.

Padula, M.; Cuervo, M. (2004) *Legislação de embalagem para contrato com alimentos: MERCOSUL e outros países Latino-americanos*. Polímeros, v.14, n. 1, p. E8-E13. São Carlos.

Pinto, V. R. S. (2017) QUESTÕES POSTAS PELO USO INTENSIVO DA NANOPRATA. *NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE*, p. 79. Rio Grande do Sul.

Ribeiro, V. F. (2019). *Desenvolvimento de compósitos antimicrobianos a base de Sebs/PP aditivados com partículas de cobre*. Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rodrigues, A. C. (2007) *Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil*. São Paulo, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Metodista de Piracicaba.

Souza, R.; Silva, G.W.L.; de Moraes, V.T. (2018) *Obtenção de nanopartículas de cobre para a indústria automotiva*. São Caetano do Sul, Instituto Mauá de Tecnologia.

Jackson, E. (1986). *Hydrometallurgical extraction and reclamation*, p. 29-39. Ellis Horwood Limited, New York.

KOJIMA, Y.; USUKI, A.; KAWASUMI, M. et al. (1993) Mechanical Properties of Nylon 6-Clay Hybrid. *Journal of Materials Research*, Pittsburgh, v. 8, n. 5, p. 1185-1189.

Toker, RD; Kayaman-Apohan, N. İ. LHAN; Kahraman, M. V. (2013) UV-curable nano-silver containing polyurethane based organic–inorganic hybrid coatings. *Progress in Organic Coatings*, 76 (9), 1243-1250.

Yamane, L. H., de Moraes, V. T., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2011). Recycling of WEEE: characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers. *Waste Management*, 31(12), 2553-2558.