



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

Tiago Pereira Socci¹, Gabriela Hernandez Tumkus¹, Susana Marraccini Giampietri Lebrão³, Guilherme Wolf Lebrão³, Juliana Cordeiro Ribeiro², Viviane Tavares Moraes^{3*}

1 – Graduando, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

2 – Departamento de Engenharia Química, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

3- Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Praça Mauá, n1 – São Caetano do Sul – SP, CEP 09580-900

Autor viviane.moraes@maua.br

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 com adição de nanopartículas de prata se tornou alvo da maior parte das pesquisas, contudo se trata de um material de elevado custo. A fim de minimizar os custos propõe-se como potencial substituto da prata a utilização da nanopartícula de cobre por também apresentar propriedades bactericidas. Além disso, o cobre é abundantemente presente nos resíduos de equipamento eletroeletrônicos (REEEs) e a sua recuperação é próxima de 100%, o que viabiliza toda a cadeia de reciclagem dos REEEs. 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, através de ensaio de tração, onde se avaliou o limite de resistência; módulo de elasticidade e o alongamento. A dosagem de cobre nas matrizes de PP e ABS foram realizadas em homogeneizador termocinético seguidas de processo de injeção dos copos de prova. As dosagens de cobre utilizadas foram 0,5%; 1,0% e 1,5% em ambas as matrizes estudadas. Também foram estudadas as mesmas dosagens de agente compatibilizante de cobre com as matrizes poliméricas, onde o agente compatibilizante foi adicionado no homogeneizador termocinético, juntamente com a carga. Os resultados mostraram que em todas as dosagens de cobre tanto na matriz de PP quanto na matriz de ABS houve alteração das propriedades mecânicas do compósito e que a adição de agente compatibilizante não alterou a resistência mecânica e o módulo de elasticidade, mas reduziu o alongamento do compósito de matriz de polipropileno.

Palavras-chave: *nanocobre, REEE, sustentabilidade.*

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 ⁽¹⁾.

Foi sugerido por Kojima et al. (1993) ⁽²⁾ o desenvolvimento de compósitos afim de que haja uma contribuição de cada fase na propriedade final do compósito. 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, devido aos seguintes aspectos ⁽³⁾:

- 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 ⁽⁴⁾. Desta forma 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 > ⁽⁴⁾.

O material que mais se destacou foi a prata. Isso ocorreu, pelo uso conhecimento de suas propriedades antibactericidas há milhares de anos, sendo usada pelos gregos e romanos como antibiótico, por exemplo ⁽⁵⁾. 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 ⁽⁶⁾. 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 ⁽⁵⁾. 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 ⁽⁶⁾.

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. 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 ⁽⁵⁾.

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 ⁽⁷⁾.

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, 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 ⁽⁸⁾.

De acordo com Yamane et al. (2011) ⁽⁹⁾, 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 ⁽¹⁰⁾ e em 2017 foram geradas 41,8 megatoneladas ⁽¹¹⁾.

Esse aumento na geração de resíduos é muito preocupante por diversos aspectos para a saúde humana e ao meio ambiente, mas o principal, 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 ⁽¹²⁾. 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 ⁽¹³⁾. Sua presença é de aproximadamente 3 a 5% dos REEEs ⁽¹⁴⁾ e são encontradas em quase todos os equipamentos elétricos e eletrônicos, sendo normalmente compostas por polímeros, cerâmicas e metais. Entretanto, 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 ⁽¹⁵⁾. 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 ^(9, 10).

Quanto aos materiais metálicos presentes nas PCIs, existem 3 principais tipos, sendo eles ⁽¹⁰⁾: 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 ⁽¹⁰⁾. 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 ⁽¹⁰⁾. 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 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 ⁽¹⁰⁾.

Os processos mecânicos mais convencionais são: a moagem, que consiste na redução do tamanho afim 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 ⁽¹⁰⁾.

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 ⁽¹⁰⁾.

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. Depois dessa etapa, comumente utiliza-se outras técnicas hidrometalúrgicas para favorecer a seletividade dos materiais ⁽¹⁰⁾. 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 ⁽¹⁰⁾.

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 ^(16, 17).

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.

MATERIAIS E MÉTODOS

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.

A fim de separa as porcentagens de cobre a serem misturadas nas matrizes, foram pesadas porcentagens de cobre 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 Tabela 1.

Tabela 1. Composição das amostras testadas.

Matriz	Carga	Compatibilizante	Sigla
PP e ABS	0%	Não tratado - sem compatibilizante	NT
	0,5%	Não tratado - sem compatibilizante	NT
		Tratado - com compatibilizante	T
	1,0%	Não tratado - sem compatibilizante	NT
		Tratado - com compatibilizante	T
	1,5%	Não tratado - sem compatibilizante	NT
		Tratado - com compatibilizante	T

Após a pesagem, as amostras foram levadas para um homogeneizador termocinético 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 representação de toda a linha de raciocínio e os métodos usados de forma resumida a partir do fluxograma apresentado na Figura 1.

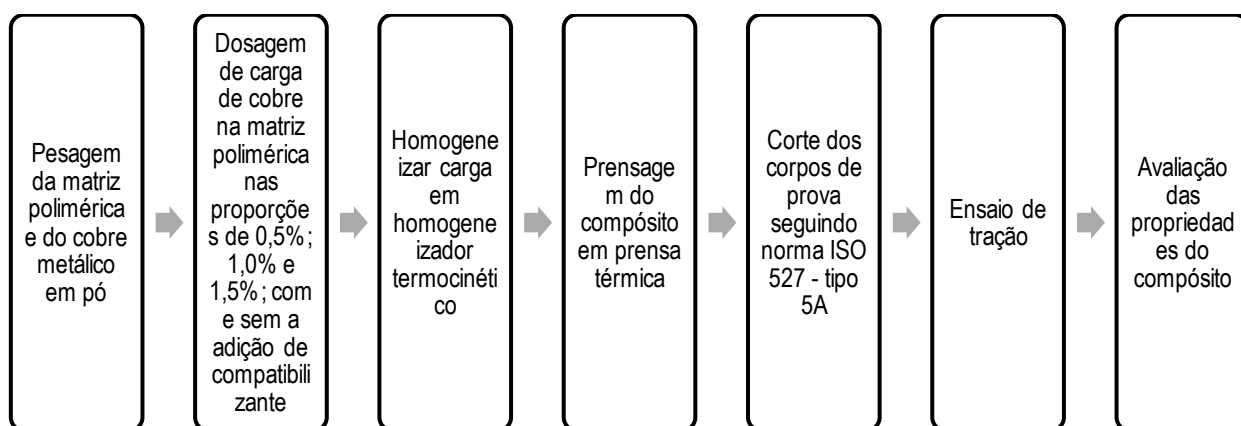


Figura 1. Fluxograma simplificado.

O processamento e as etapas de caracterização seguiram rota específica apresentada na Figura 1.

O ensaio mecânico realizado foi o de tração, onde pode-se obter o limite de resistência; módulo de elasticidade e alongamento dos compósitos avaliados.

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 na Tabela 2, representados graficamente na Figura 2, onde NT representa amostra não tratada e portanto se agente compatibilizante e T representa amostra com tratamento, isto é com compatibilizante.

Tabela 2. Resultados com os valores dos ensaios mecânicos do PP e ABS

Matriz	PP						
Cobre metálico (em massa)	0%	0,50%		1,00%		1,50%	
		NT	T	NT	T	NT	T
Limite de resistência (MPa)	31,22 +/- 1,47	29,12 +/- 0,16	29,60 +/- 1,01	29,77 +/- 0,69	27,99 +/- 1,42	30,01 +/- 1,26	31,00 +/- 0,65
Módulo de elasticidade (MPa)	451,67 +/- 14,40	434,67 +/- 16,59	450,05 +/- 9,39	435,79 +/- 8,55	429,30 +/- 28,44	458,49 +/- 1,12	495,09 +/- 8,43
Alongamento (%)	571,76 +/- 64,28	517,60 +/- 52,11	39,52 +/- 19,47	545,84 +/- 9,04	355,73 +/- 140,99	430,49 +/- 210,75	339,39 +/- 176,40
Matriz	ABS						
Limite de resistência (MPa)	36,09 +/- 2,98	36,44 +/- 1,95	36,22 +/- 1,30	37,69 +/- 1,45	37,04 +/- 1,14	36,26 +/- 0,74	36,22 +/- 0,50
Módulo de elasticidade (MPa)	797,60 +/- 10,19	762,34 +/- 35,53	769,82 +/- 6,48	761,46 +/- 15,19	752,74 +/- 14,04	728,30 +/- 26,21	727,59 +/- 17,22
Alongamento (%)	14,01 +/- 3,45	13,18 +/- 5,02	10,84 +/- 2,97	12,84 +/- 5,08	13,44 +/- 2,50	9,72 +/- 1,35	12,19 +/- 2,41

As partículas inorgânicas 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 2 que o PP apresentou uma leve queda no limite de resistência, enquanto o ABS não mostrou quase nenhuma variação^(16, 17). Isso ocorreu devido à 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^(16, 17).

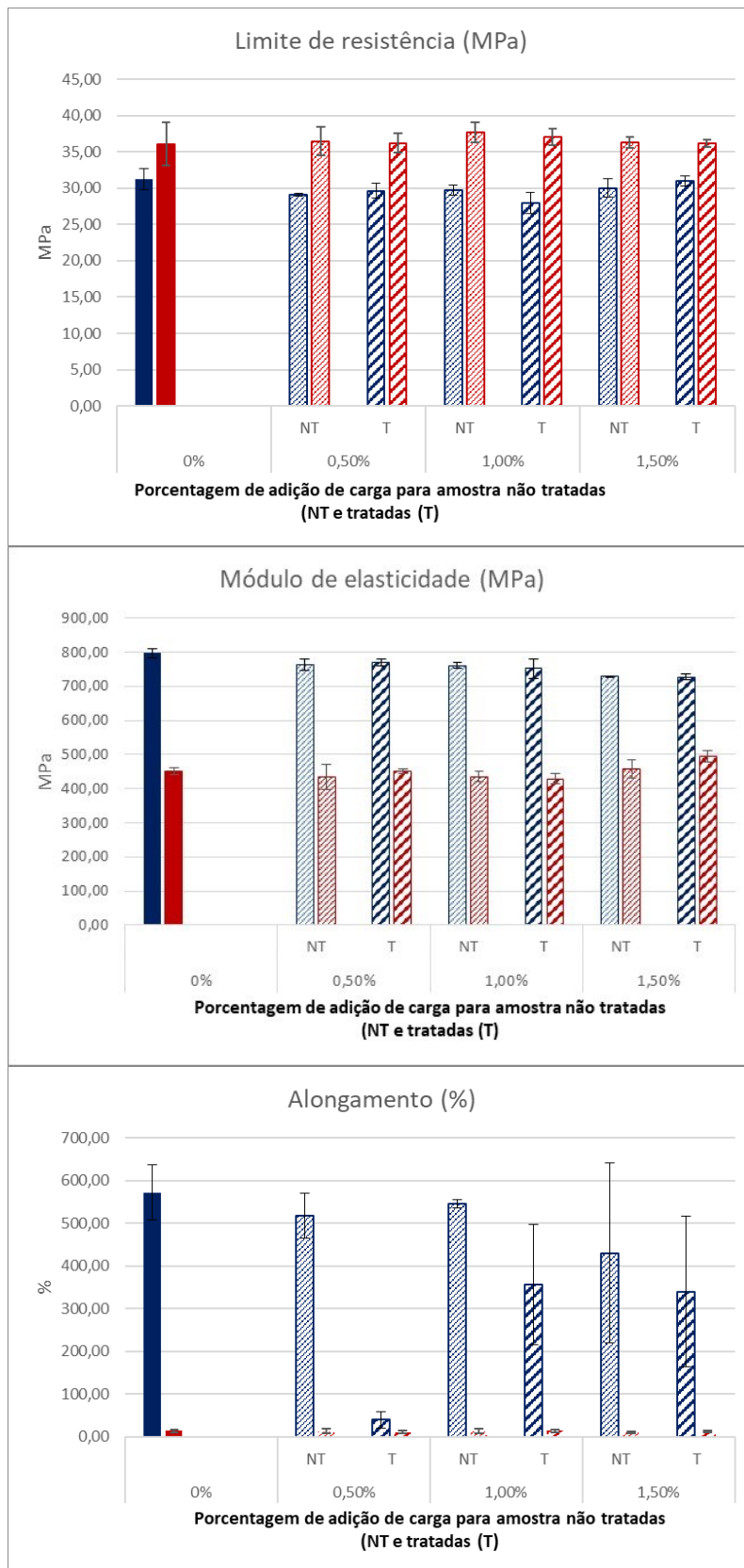


Figura 3. Resultados dos ensaios mecânicos do ABS

Quanto ao módulo de elasticidade e o alongamento, observa-se a partir da Figura 2 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 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 ^(16, 17, 18). Esta 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 do PP e o ABS na ficha técnica comparado ao apresentado pelos testes na Figura 2, 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 2 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 ^(16, 17, 18).

Por outro lado, a adição do compatibilizante 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 ^(16, 11).

CONCLUSÕES

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

compatibilizante 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 pouca variação no limite de resistência a tração, módulo de elasticidade e alongamento do material.

A presença do compatibilizante não colabora com a interação carga e matriz.

Agradecimentos

Ao Instituto Mauá de Tecnologia.
Fapesp Processo nº 2018/07461-7
Fapesp Processo nº 2020/09163-3

REFERÊNCIAS

1. 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.
2. 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.
3. ARCURI, Arline Sydneia Abel (2017) Nanotecnologia, Covid-19 E Trabalhadores: Nanotecnologia, Sociedade E Meio Ambiente. Rio Grande do Sul: Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul.
4. BERNI NETO, Elias Antonio; RIBEIRO, Caue; ZUCOLOTTI, Valtencir (2008) Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. São Carlos, SP
5. Pinto, V. R. S. (2017) QUESTÕES POSTAS PELO USO INTENSIVO DA NANOPRATA. *NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE*, p. 79. Rio Grande do Sul.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. 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.

12. 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.

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

14. 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.

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

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

17. 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 (SiO₂)*, 25. Rio de Janeiro.

18. BUZZETTI, Paulo Henrique Maciel, et al. (2013) Polímero Aditivado com Nanopartículas de Prata para Aplicação em Materiais Antimicrobianos. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, n° 12, Florianópolis. Universidade Estadual de Maringá (UEM).

EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYMERIC MATRIX COMPOSITES WITH COPPER MICROPARTICLES SYNTHESIZED FROM WASTE ELECTRO-ELECTRONIC EQUIPMENT

ABSTRACT

In the current scenario, the search for a material with sanitizing properties is gaining more and more space in the health, industry and academic areas. In this way, the use of polymeric matrix composites with the addition of silver nanoparticles has become the target of most research, however it is a high cost material. In order to minimize costs, the use of copper nanoparticles is proposed as a potential substitute for silver, as it also has bactericidal properties. In addition, copper is abundantly present in waste electrical and electronic equipment (WEEE) and its recovery is close to 100%, which makes the entire WEEE recycling chain viable. Thus, the mechanical behavior of matrix composites of polypropylene (PP) and ABS (acrylonitrile butadiene styrene) with incorporation of powdered metallic copper before the use of copper nanoparticles was evaluated. The dosage of copper in the PP and ABS matrices did not negatively alter the mechanical properties of the composite.

Keywords: nanocopper, WEEE, sustainability