

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E QUÍMICAS DE BLENDA POLIMÉRICAS DE POLIETILENO E POLIESTIRENO RECICLADOS

Gabriela Juliana Brasileiro e Profa. Dra. Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo contribuir para a reciclagem de plásticos descartados como resíduos sólidos. Foi avaliada as propriedades mecânicas e químicas de misturas de polietileno e poliestireno (PS) em diferentes proporções para a fabricação de peças com baixas especificações. Os resultados obtidos mostraram que as blendas com concentrações significativas de PS apresentaram médias parecidas nos testes de Tukey, mais precisamente no teste de flexão, isso ocorreu porque em todas as concentrações que apresentaram resultados parecidos pudemos identificar uma porcentagem significativa de Poliestireno (PS). Essas blendas apresentaram maior flexibilidade, consequentemente, maior usabilidade na indústria. Esse polímero combinado com outros tipos de termoplásticos pode gerar uma matéria-prima maleável, flexível, sustentável e de baixo custo. Os testes realizados foram: teste de solubilidade em acetato de etila, teste de tração segundo as normas ASTM D 638 (1999) e teste de flexão segundo a norma D 790M (1993). Os resultados obtidos dos ensaios apresentados corresponderam à média de quatro medidas obtidas para cada tipo de amostra. Os resultados de análises químicas através de teste de solubilidade em acetato de etila mostraram que a blenda de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) apresentou o que se nomeia por Histerese, esse fenômeno é mensurado pelo ângulo de contato, o qual é utilizado como uma medida da molhabilidade entre um líquido e uma superfície sólida. Conclui-se que mesmo um material reciclável pode ser de grande usabilidade pela indústria mesmo com propriedades modificadas e uso de aditivos, desde que o material tenha um objetivo específico e apropriado.

Palavras-chave: Polímero, Indústria, Blendas.

ABSTRACT

This work aims to contribute to the recycling of discarded plastics as solid waste. The mechanical and chemical properties of polyethylene and polystyrene (PS) mixtures in different proportions were evaluated for the manufacture of parts with low specifications. The results obtained showed that the blends with significant concentrations of PS presented similar means in the Tukey tests, more precisely in the bending test, this happened because in all the concentrations that presented similar results we could identify a significant

percentage of Polystyrene (PS). These blends showed greater flexibility, consequently, greater usability in the industry. This polymer combined with other types of thermoplastics can generate a malleable, flexible, sustainable and low-cost raw material. The tests performed were: solubility test in ethyl acetate, tensile test according to ASTM D 638 (1999) and bending test according to D 790M (1993) standard. The results obtained from the presented tests corresponded to the average of four measurements obtained for each type of sample. The results of chemical analyzes through the solubility test in ethyl acetate showed that the blend of Low Density Polyethylene (LDPE) presented what is called Hysteresis, this phenomenon is measured by the contact angle, which is used as a measure of wettability between a liquid and a solid surface. It is concluded that even a recyclable material can be of great usability by the industry even with modified properties and the use of additives, as long as the material has a specific and appropriate purpose.

Keywords: Polymer, Industry, Blends.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Em cidades ao redor do mundo, a disposição de resíduos sólidos é um crescente problema, pois o descarte incorreto desses resíduos ocasiona entupimentos de valas e bueiros e contribui com a disseminação de doenças. O Brasil gera mais de 79 milhões toneladas de resíduos sólidos por ano (SOUZA, 2019), sendo que aproximadamente 11.355.220 milhões de toneladas são plásticos (COELHO, 2019) e este número tem aumentado constantemente à medida que os polímeros encontram uso cada vez maior em produtos de consumo. As embalagens plásticas representam quase metade de todos os resíduos sólidos em nível mundial, sendo que muitas delas são descartadas após serem usadas em apenas alguns minutos. Quando elas são descartadas em aterros sanitários ou no meio ambiente podem levar centenas ou milhares de anos para se decompor (UNEP, 2018).

Nesse contexto, a reciclagem, embora frequentemente ignorada na gestão de resíduos, representa alternativa de destaque para o reaproveitamento de recursos. A reciclagem é uma das alternativas mais viáveis, tanto nos aspectos ambientais como sociais, por apresentar inúmeras vantagens como a redução do consumo de recursos da natureza, diminuição do consumo de água e energia e redução da quantidade de resíduos, além disso, contribui para a empregabilidade de milhares de pessoas (BRASIL, 2019).

1.2 JUSTIFICATIVA

Os benefícios do plástico são inegáveis. O material é barato, leve e fácil de fabricar. Essas qualidades levaram a sua produção abundante e geraram um grande desafio para o planeta: o acúmulo e destino desses resíduos sólidos. No Brasil, das 11.355.220 milhões toneladas de plástico produzidas, somente 145.043 toneladas foram recicladas. E muitos plásticos não reciclados chegam aos oceanos, prejudicando biodiversidade, economias e, potencialmente, a saúde da população. Como a maioria dos plásticos levam muitos anos para se biodegradar, eles quebram lentamente em fragmentos menores conhecidos como microplásticos. Quando o plástico afunda, torna-se ainda mais difícil de se remover do oceano. Os sacos plásticos e recipientes feitos de poliestireno expandido (geralmente referido como "isopor") podem levar até milhares de anos para se decompor, contaminando o solo e a água. Microplásticos, se ingerido por peixes, podem entrar na cadeia alimentar.

Grande parte do plástico produzido foi projetado para ser jogado fora depois de ser usado apenas uma vez. Como resultado, embalagens plásticas representam cerca de metade dos resíduos plásticos no mundo. O uso único mais comum dos plásticos encontrados no ambiente são, em ordem de magnitude, bitucas de cigarro, plástico de garrafas, tampas de plástico, alimentos invólucros, sacolas plásticas, tampas, palhetas e agitadores de plástico, outros tipos de sacolas plásticas. Estes são os resíduos de uma cultura descartável que trata plástico como um material descartável em vez de um recurso valioso para ser aproveitado (UNEP, 2018).

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo contribuir para o reaproveitamento de resíduos plásticos descartados pela indústria como resíduos sólidos. Será avaliada as propriedades mecânicas e químicas de misturas de polietileno e poliestireno em diferentes proporções para a fabricação de peças com baixas especificações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos

Os resíduos industriais são considerados um problema para o meio ambiente, uma vez que são os principais responsáveis pela poluição da água e ar nos grandes pólos industriais e cidades. Além disso, boa parte dessas sobras é tóxica, o que pode ser muito prejudicial para a saúde e para a natureza. É considerada como resíduo toda e qualquer matéria que tenha sido rejeitada em algum processo. Desse modo, em uma indústria, tudo aquilo que não faz parte do produto final é considerado resíduo industrial (FRAGMAQ, 2014).

Antes da Revolução industrial, apenas sobras de alimentos compunham o lixo produzido. A partir deste marco, novos materiais passaram a ser descartados pela sociedade ampliando a quantidade e variedade dos resíduos. Foram sendo incorporados materiais como, por exemplo, vidros, plásticos, isopor, borrachas, alumínio, dentre outros de difícil decomposição (DE CARVALHO DIAS, 2016).

Por estarem associados a tantos impactos ambientais negativos, os resíduos industriais devem ter gerenciamento especial, em que todo produto descartado é considerado um desperdício de matéria-prima, água e energia. Portanto, a primeira medida do gerenciamento de resíduos industriais é o uso consciente de matéria-prima e, sempre que possível, reuso dos subprodutos (FRAGMAQ, 2014).

Quando não houver mais possibilidades de reaproveitamento, os resíduos devem ser encaminhados para tratamento e destinação final adequados — de preferência para a reciclagem. Assim como no caso de lixo comum, existem instalações específicas para o tratamento de cada tipo de resíduo gerado pela indústria, seja ele líquido, sólido ou gasoso (FRAGMAQ, 2014).

O setor das embalagens também representa mais de 35% da receita dos produtores de plástico (GRAND VIEW RESEARCH, 2019), o que talvez explique porque há tanta resistência à redução desse tipo de uso, mesmo frente às evidências dos danos ambientais causados.

A China era um dos maiores importadores de resíduos plásticos até 2007, quando começou a implementar políticas restritivas à essa prática, culminando na proibição da importação de resíduos plásticos não industriais em 2017 (BROOKS et al., 2018). Outros países asiáticos, como a Índia e a Malásia, também vem impondo restrições semelhantes (BROOKS et al., 2018).

A maior parte do lixo plástico exportado por países ricos são embalagens e recipientes de comida, ou seja, plásticos de uso único. Além disso, embora sejam enviados teoricamente para reciclagem, este processo pode ser inviabilizado pela contaminação dos resíduos, pela própria composição do material ou ainda por limitações no sistema do país importador (BROOKS et al., 2018).

2.2 Plásticos

O plástico é um polímero, que é um material derivado do petróleo, e extremamente útil no cotidiano das pessoas por ser um produto versátil, resistente e de baixo custo. Este material está presente nos utensílios domésticos, em equipamentos e brinquedos, na construção civil e nos transportes, em nossas roupas e em quase todo tipo de embalagem que acomoda produtos de higiene e alimentação. (ARAÚJO; SILVA-CAVALCANTI, 2016).

A palavra polímero tem origem do grego, com a junção do termo poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Dessa forma, um polímero é uma macromolécula formada por centenas de milhares de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente.

Os polímeros existem na natureza desde o início da vida com as proteínas, polissacarídeos, aminoácidos, entretanto, de origem industrial é comumente datada do início do século XIX, quando ocorreram descobertas importantes a respeito da modificação de polímeros naturais. O primeiro polímero completamente sintético foi feito em 1910, por Leo

Baekeland, que sintetizou o fenol-formaldeído, mais conhecido como baquelite. A partir de então a produção de materiais poliméricos vem crescendo cada vez mais, por ser um produto relativamente barato se comparado com o aço, por exemplo, e vem substituindo muitos materiais em diversas aplicações e tornando a vida do homem bem mais prática (ANDRADE, 2019).

Os polímeros podem ser divididos basicamente em duas classes: os naturais e os sintéticos. Os polímeros sintéticos podem ser divididos em três classes: Plásticos, Elastômeros e Fibras. A classificação depende de uma série de fatores, como o tipo de monômero (molécula com unidade de repetição unitária), número médio de meros por cadeia e o tipo de ligação covalente.

Dentro da classe de polímeros plásticos, podemos dividi-los em termofixos e termoplásticos. Termofixos são polímeros que após aquecimento vão amolecer e sofrer o processo de cura, que é a formação de ligações cruzadas entre cadeias poliméricas, e consequentemente não poderão ser remoldados, pois qualquer aquecimento superior irá degradar o polímero, visto que as ligações intermoleculares e intramoleculares são covalentes, tornando este processamento inicial uma transformação química irreversível. Um exemplo de polímero termofixo é a resina epóxi. Termoplásticos são polímeros com aptidão de amolecer e fluir quando sujeitos ao aumento de temperatura e pressão. Quando não mais sob influência desses fatores, o material se solidificará de acordo com a forma dada. Se houver reaplicação de temperatura e pressão, o material novamente irá amolecer e fluir, visto que o processo de cura deste tipo de polímero é completamente reversível, pois nenhuma ligação química entre cadeias ocorre. Quando o polímero é semicristalino, o amolecimento se dá com a fusão da fase cristalina. Essa característica permite que materiais termoplásticos possam ser remoldados e reciclados sem afetar negativamente as propriedades físicas do polímero. Um exemplo de polímero termoplástico é o Politereftalato de etileno (PET) (ANDRADE, 2019).

Com o desenvolvimento tecnológico a capacidade de produção aumentou muito, e o número de produtos no mercado também, o que antes era feito de forma artesanal e limitada tomou proporções industriais com rápida produção e alto volume, então se observa um consumo exacerbado de produtos quase que descartáveis (ANDRADE, 2019).

O poliestireno (PS) tem como unidade básica de repetição o estireno, classificado como polímero termoestável, econômico e resistente, segundo lugar após o polietileno, utilizado para gerar materiais isolantes térmicos e absorção acústica, em indústrias dedicadas à construção pública, processos de baixa temperatura e até em casa. No entanto,

possui principalmente vida útil e baixa estabilidade térmica. Sua decomposição térmica ocorre em temperaturas acima de 300°C; A formação de gases inflamáveis ocorre a partir de 350°C, e os produtos de decomposição devido à auto ignição do material aparecem em temperaturas acima de 450°C. Dependendo da intensidade da fonte de ignição e do tempo durante o qual o polímero é exposto à referida fonte, pode ser realizada a fusão da matriz da matriz do polímero (DE LA ROSA, 2020).

Polietileno de baixa densidade é um polímero parcialmente cristalino (50 – 60%), cuja temperatura de fusão (T_m) está na região de 110 a 115 °C. Em temperaturas abaixo de 60 °C, são parcialmente solúveis em todos os solventes, sua densidade varia de 0,91 a 0,93 g/cm³, massa molar de 20.000 a 45.000 g/mol e com ponto de fusão de 100 a 120° C. O PEBD tem uma combinação única de propriedades: tenacidade, alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, boa processabilidade, estabilidade e propriedades elétricas notáveis. O PEBD pode ser processado por extrusão, moldagem por sopro e moldagem por injeção. Assim sendo, é aplicado como brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras (COUTINHO et al., 2003; BRASKEM, 2009).

As condições de reação do processo geram um grande número de ramificações no polímero que alteram a simetria da cadeia principal. As ramificações volumosas podem agrupar-se, adotando uma disposição ordenada e compacta, nas quais as fracas, porém numerosas forças intermoleculares (Van der Waals) podem atuar de maneira mais efetiva. A presença de ramificações na cadeia reduz num certo grau, as forças atrativas entre as cadeias do polímero e conduz a uma estrutura menos compacta, fazendo diminuir sua densidade e resistência mecânica do polietileno (COUTINHO et al., 2003; GUIMARÃES, 2006).

2.3 Legislação

Dentro da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) estão previstos alguns conceitos fundamentais para melhor entendimento da lei nº12.305/10. Alguns, de tais conceitos, destacam-se devido à sua grande importância e exploração dentro da lei. Considerando-se esta condição, faz-se necessário uma maior explanação de tais aspectos. Entende-se por coleta seletiva a prática de separação de resíduos sólidos de acordo com sua composição ou constituição, logo, materiais com características que se assemelham são colocados juntos e disponibilizados para a destinação final (reciclagem ou disposição em aterro). Segundo a PNRS esta prática é obrigação dos municípios e dentro do conteúdo mínimo dos Planos de Gestão Integrada dos Resíduos deve estar previsto metas para a realização de tal coleta. Logo a coleta seletiva é de extrema importância para o manejo de

resíduos sólidos e, além da melhoria ambiental, esta atitude também gera renda e inclusão social das famílias de dezenas de catadores. A necessidade da coleta seletiva pode ser explicada ainda pelos processos de reciclagem, ou seja: uma lata de alumínio não tem o mesmo processo reciclável que uma caixa de papelão, logo a mistura dos dois pode inviabilizar a reciclagem e danificar o possível reaproveitamento, tornando aquele resíduo um rejeito (DA SILVA, 2018).

No ano de 2015, o foco do gerenciamento de resíduos foi ampliado, passando a incorporar também a preocupação com algum tipo de ganho financeiro, seja na minimização de custos, seja no aumento de receitas. Por isso, foi desenvolvido um PGRS (Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos). A partir da identificação dos resíduos dentro da área geradora, o novo PGRS foi criado levando em consideração todo o ciclo de produção da empresa, a fim de monitorar os resíduos de forma sistêmica (LEOPOLDINO, 2019).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) liberou o uso de garrafas PET pós-consumo recicladas para uso em embalagens de alimentos no Brasil, sancionando a Resolução RDC nº 20, de 26 de março de 2008. O objetivo da Resolução foi o de estabelecer os requisitos gerais e os critérios de avaliação, aprovação/autorização e registro de embalagens de PET elaboradas com proporções variáveis de PET virgem (grau alimentício) e de PET pós-consumo reciclado descontaminado (grau alimentício), destinados a entrar em contato com alimentos. A medida teve grande impacto, pois permitiu que as empresas autorizadas pudessem reciclar boa parte do material que até então tinha como destino depósitos e aterros sanitários ou era descartado na natureza (DE OLIVEIRA, 2012).

2.4 Problemática ambiental dos Plásticos

A preocupação com os resíduos plásticos vem sendo discutida há algumas décadas nas esferas nacional e internacional, devido à expansão da consciência coletiva com relação ao meio ambiente. Assim, a complexidade das atuais demandas ambientais, sociais e econômicas induz a um novo posicionamento dos três níveis de governo, da sociedade civil e da iniciativa privada (BRASIL, 2020).

Antes da Revolução industrial, apenas sobras de alimentos compunham o lixo produzido. A partir deste marco, novos materiais passaram a ser descartados pela sociedade ampliando a quantidade e variedade dos resíduos. Foram sendo incorporados materiais como, por exemplo, vidros, plásticos, isopor, borrachas, alumínio, dentre outros de difícil decomposição (DE CARVALHO DIAS, 2016).

Após sofrerem a ação do sol os materiais plásticos se transformam em partículas menores chamadas microplásticos que são facilmente confundidos com alimento pelos animais. Microplásticos estão presentes na superfície dos oceanos, em praias arenosas e ambientes lamosos, desde o Equador até os Pólos, em praias urbanas e regiões remotas do globo, e ainda, depositadas em sedimentos profundos (>2.000m) (COSTA et al., 2014).

O plástico à deriva pode ser capturado pelos giros oceânicos e se concentrar, e é isso que levou à formação da Grande Porção de Lixo do Pacífico (GPLP), onde estima-se que haja 79 mil toneladas de plástico em uma área de 1,6 milhões km². Microplásticos representam 8% do peso estimado da GPLP, mas 94% do total de pedaços de plástico que a formam (LEBRETON, 2018). Considerando estudos passados, há indício de que a GPLP vem crescendo rapidamente nos últimos anos (LEBRETON, 2018), o que faz sentido considerando o aumento da quantidade produzida que vem sendo observado.

Um estudo que mensurou a ingestão de microplásticos dada a dieta recomendada a um estadunidense, concluiu que ingerimos de 81 a 123 mil pedaços de microplásticos por ano, advindos de alimentos e do ar (COX et al., 2019). Ainda, estimou-se que o consumo de água engarrafada, ao invés de diretamente da torneira, aumenta em 22 vezes a quantidade de microplásticos ingeridos (COX et al., 2019). Esses resultados são, provavelmente, subestimados, pois não há avaliação sobre a quantidade de microplásticos em todos os alimentos da dieta recomendada, e os efeitos sobre a saúde da população ainda são incertos.

As tartarugas verdes (*Cheloniemydas*), de acordo com Edris et. al., (2018) que ocorrem na Costa de Peruíbe, litoral Sul de São Paulo, estão ingerindo resíduos sólidos, em sua maioria material plástico e outros derivados do petróleo, intencionalmente ou acidentalmente, atribuindo-se a este fato, a causa da morte de alguns animais.

Os maiores impactos de resíduos em animais marinhos são o emaranhamento em rede de pesca e a ingestão de resíduos. No caso do emaranhamento, os animais ficam presos em redes de pesca abandonadas ou redes de espera, e ao ficar preso, o animal perde a capacidade de locomoção, dificultando a respiração e busca por alimento, podendo causar morte. Já, no caso da ingestão dos resíduos, podem causar a obstrução do aparelho digestivo e a falsa sensação de saciedade, fazendo com que o animal não consiga se alimentar, ficando debilitado, podendo vir a óbito (PACHECO, 2016)

No Brasil, a Zona Costeira compreende uma faixa de 8.698 km de extensão, a qual concentra quase um quarto da população em cerca de 400 municípios. Muitas praias brasileiras estão sujeitas a uma intensa degradação ambiental (ARAÚJO; COSTA, 2016).

2.5 Reciclagem

A reciclagem mecânica consiste no reprocessamento do material por meios físicos, como corte, trituração, lavagem etc. O polímero é separado dos possíveis contaminantes, e pode ser reprocessado em pellets. Acontece a separação, limpeza e secagem, depois o tamanho do resíduo é reduzido, para então ser diretamente processado em um produto final ou pellets, que pode ser utilizado para produzir outros bens.

Entre os principais problemas estão a heterogeneidade dos resíduos e a deterioração das propriedades do material em cada ciclo de reciclagem. Isto ocorre porque o peso molecular da resina reciclada é reduzido, devido à quebra de ligações entre cadeias, com a presença de água e traços de impurezas ácidas. Métodos para manter o peso molecular médio do polímero são secagem intensa e reprocessamento a vácuo (ANDRADE, 2019).

Além do baixo interesse na reciclagem do material, há um agravante relacionado ao comportamento do consumidor. Segundo pesquisa do IBOPE feita a pedido da Cervejaria Ambev e lançada em junho de 2018, 66% dos brasileiros sabem pouco ou nada a respeito da coleta seletiva. Apesar de reconhecer a importância para o meio ambiente, a prática da separação de materiais e reciclagem ainda não é uma realidade para o brasileiro: 75% não separam materiais recicláveis dos lixos domésticos, e, destes, 39% não separam o lixo orgânico do inorgânico.

Além da conscientização, uma das formas de aumentar esses índices é usar mais materiais reciclados. Desde 2012, a Ambev reduziu em 1,9 bilhão sua produção de garrafas PET. Isso aconteceu graças ao aumento no uso de material reciclado: atualmente, 56% das garrafas PET de Guaraná Antarctica são 100% feitas a partir de plástico reciclado. No total da companhia, a garrafa com material reciclado corresponde a 33% de todas as embalagens, segundo a assessoria de imprensa da companhia. Até 2025, a cervejaria se comprometeu a embalar 100% de seus produtos em embalagens retornáveis ou feitas majoritariamente com materiais reciclados (BRASIL, 2018).

3. METODOLOGIA

Os materiais que foram utilizados neste trabalho são os plásticos poliestireno (PS), polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de alta densidade (PEAD). Os plásticos foram obtidos a partir da compra dos materiais já reciclados e granulados por fabricantes dessas matérias-primas.

Os plásticos foram separados por tipo no momento da triagem de recicláveis pelos fornecedores. Após a triagem, foram moídos, lavados com água para remover os

contaminantes (sujeiras e restos de conteúdo, como o papelão) e posteriormente secos em estufa à 50°C. Logo após, foram extrudados de acordo com as proporções apresentadas na Tabela 1 em uma extrusora 50mm monorosca de temperatura ambiente à 400°C, 26 L/D em seguida submetidos ao aglutinador (600mm de diâmetro x 750mm de altura) motor de 20CV, com quatro facas rotativas e duas fixas, obtendo o primeiro produto constituído de material aglutinado, que posteriormente, foi moldado de acordo com a norma ASTM D 638 (1999), finalizando o processo de obtenção dos corpos-de-prova. A Tabela 1 apresenta as composições dos corpos de prova que foram ensaiados. Também foram ensaiados os polímeros reciclados PS, PEAD e PEBD (100%) como referência.

Tabela 1 - Composições dos corpos de prova

Polímero	Proporções
PS	100%
PS e PEBD	75% e 25%
PS e PEBD	50% e 50%
PS e PEBD	25% e 75%
PEBD	100%

Fonte: Próprio Autor

Os materiais extrudados foram caracterizados em relação às suas propriedades mecânicas segundo as normas ASTM (American Society for Testing and Materials).

Foram realizados ensaios de resistência à tração e flexão segundo as normas ASTM D 638 (1999) e D 790M (1993), respectivamente. Os resultados obtidos dos ensaios apresentados corresponderam à média de cinco medidas obtidas para cada tipo de amostra.

Os plásticos também foram submetidos a um ensaio químico: o da solubilidade em acetato de etila (Padula et al., 1989). No teste de solubilidade, fragmentos da blenda reciclada foram colocados em um tubo de ensaio lacrado com rolha, adicionando-se o solvente acetato de etila e deixando o tubo de ensaio em repouso por 24h à temperatura ambiente (Collins et al., 1973).

Os resultados obtidos foram avaliados por análise estatística univariada (análise de variância - ANOVA) e Testes de médias de Tukey.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 TESTE DE SOLUBILIDADE EM ACETATO DE ETILA

Foram elaboradas seis amostras de proporções diferentes dos polímeros anteriormente selecionados, sendo PS 100%, PS e PEBD 75% e 25%, PS e PEBD 50% e

50%, PS e PEBD 25% e 75%, PEBD 100% e PEAD 100%, contendo fragmentos da blenda polimérica submersos em acetato de etila (Lote: 47788 e Fab.: 11/7/2019) em tubos de ensaio, tais amostras foram reproduzidas em triplicata. As amostras permaneceram lacradas por um período de 24 horas para a realização do teste de solubilidade. Após o tempo decorrido, observou-se se a blenda sofreu inchamento, dissolução ou se manteve-se inerte ao solvente, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado das amostras do teste de solubilidade

Polímero	Resultado
PS 100%	Dissolveu
PS e PEBD 75% e 25%	Dissolveu
PS e PEBD 50% e 50%	Dissolveu
PS e PEBD 25% e 75%	Inerte
PEBD 100%	Histerese

Fonte: Próprio Autor

Os parâmetros de solubilidade são empregados como ferramentas de previsão da compatibilidade entre polímeros e solventes, ou seja, através destes parâmetros é possível indicar quais solventes possuem potencial para solubilizar certo polímero.

Sendo assim, os parâmetros de solubilidade devem considerar qualquer interação molecular, cristalinidade e ligações cruzadas. Segundo Hansen, estas interações moleculares se apresentam em três tipos parâmetros, relacionando-os a três forças de ligação: forças de dispersão (δ_d), forças de pontes de hidrogênio (δ_h) e forças dipolodipolo (δ_p).

É possível constatar que poucos solventes estão inseridos na esfera de interação dos parâmetros de solubilidade de Hansen e, conseqüentemente, apenas estes possuem potencial de solubilização. Dentre os mesmos, o que mais se destaca é o acetato de etila. O raio R de interação delimita a fronteira a qual determinado solvente é considerado bom solvente, como o raio de solubilidade para determinado polímero é dependente de sua massa molecular, cada massa distinta possui um raio também distinto. Sendo assim, para um mesmo polímero, quanto maior sua massa molecular, menor será seu raio de interação (PEREIRA, 2016).

Além disso, a blenda de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) apresentou o que se nomeia por Histerese, esse fenômeno é mensurado pelo ângulo de contato, o qual é utilizado como uma medida da molhabilidade entre um líquido e uma superfície sólida. Este fenômeno, chamado de histerese do ângulo de contato, tem sido muito estudado e é

atribuído à heterogeneidade de composição e à rugosidade da superfície (RUIZ, 2005). Dessa forma, podemos constatar que a amostra sofreu alteração de cor, porém não se dissolveu, o que pode ser caracterizado pelo fenômeno descrito anteriormente e apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Blenda PEBD 100% em acetato de etila



Fonte: Próprio Autor

4.2 TESTE DE FLEXÃO

Os testes de flexão foram realizados com corpos-de-prova seguindo as normas ASTM D 638 (1999), com comprimento de 10 centímetros (cm) como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Blenda Polimérica PS e PEBD 75% e 25% de acordo com norma ASTM D 638 (1999)



Fonte: Próprio Autor

A Tabela 3 apresenta o resultado da média máxima de carga, esforço e tensão de flexão e de carga em ruptura.

Tabela 3 – Resultado das médias das amostras do teste de flexão

Blenda Polimérica	Média Máximo Carga (N)	Média Esforço de Flexão [MPa]	Média Extensão de Flexão [mm]	Média Tensão de flexão (Extensão) em Ruptura (Padrão) [mm/mm]	Média de Carga em Ruptura (Padrão) [N]
PS e PEBD 75% e 25%	25,093	10,754	11,711	0,206	7,762
PS e PEBD 50% e 50%	26,923	11,538	8,996	0,184	5,916
PS e PEBD 25% e 75%	34,399	14,742	16,148	0,304	19,346
PEBD 100%	44,558	19,096	21,274	0,491	26,570
PS 100%	63,314	21,984	6,667	0,131	-0,964

Fonte: Próprio Autor

De acordo com a Tabela 3, podemos observar que o material com maior extensão de flexão é o Polietileno de baixa densidade (PEBD), isso ocorre pelo fato de que este material é um polímero termoplástico, tornando-se possível ser facilmente moldado com o aquecimento. Da mesma maneira, podemos notar que o mesmo material também apresenta a maior média de tensão de flexão em ruptura, o que significa dizer que foi o material que mais sofreu deformação antes da ruptura.

Em contrapartida, podemos notar que o Poliestireno (PS), obteve a maior média de carga máxima para obter a flexão, ou seja, podemos notar que foi o material que apresentou maior necessidade de carga para que ocorresse a flexão.

Os resultados obtidos foram submetidos na forma de análise de variância (ANOVA) para melhor compreensão da relação entre as médias de todas as blendas analisadas.

Tendo como base a análise de variância ANOVA, quando o p-valor (Sig) é menor que o alfa adotado ($\alpha=0,05$) significa que as médias são diferentes e influenciam nos resultados, ou seja, são significativas para a análise.

A soma dos quadrados na análise de variância significa a disparidade das médias, ou seja, as diferenças entre elas, a partir desse dado podemos entender o comportamento das médias das variantes entre si. O df pode ser caracterizado como o grau de liberdade das amostras, isso nos auxilia na procura por parâmetros desconhecidos. Já o quadrado médio representa a variação entre as médias. A variável F nos mostra se as médias são iguais ou não, a significância representa uma probabilidade da distribuição das amostras, ela pode ser mensurada através de um outro parâmetro chamado alfa, que geralmente é usado como comparação para entendermos se as médias são significativas para o estudo ou não. O N é

o número de testes feitos com cada proporção e os subgrupos são grupos menores que apresentaram resultados mais próximos.

Quando analisamos a variável de Carga de Ruptura apresentada na Tabela 4, podemos perceber que as médias são diferentes e influenciam no resultado final, pois o p-valor é menor que o alfa adotado.

Tabela 4 – Análise ANOVA observando a variável Carga de Ruptura

	Soma dos quadrados	df	Quadrado Médio	F	Sig.
Entre grupos	1928,918	4	482,229	11,916	,000
Dentro de grupos	607,022	15	40,468		
Total	2535,940	19	16,148		

Fonte: Próprio Autor

Tabela 5 – Teste de Tukey observando a variável Carga de Ruptura

Concentração	N	Subgrupo 1	Subgrupo 2	Subgrupo 3
5	4	-,9645	5,9163	
2	4	5,9163	7,7623	
1	4	7,7623	18,8968	
3	4			18,8968
4	4			26,5698
Sig.		,339	,073	,460

Fonte: Próprio Autor

Tabela 6 – Teste de Tukey observando a variável Extensão de Flexão

Concentração	N	Subgrupo 1	Subgrupo 2
5	4	6,6668	
2	4	8,4745	
1	4	11,7108	11,7108
3	4	16,1488	16,1488
4	4		21,2745
Sig.		,068	,065

Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 – Teste de Tukey observando a variável Máximo Carga

Concentração	N	Subgrupo 1	Subgrupo 2	Subgrupo 3
1	4	25,0932		
2	4	26,9225		
3	4	34,3988	34,3988	
4	4		44,5578	
5	4			63,3138
Sig.		,450	,367	1,000

Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Teste de Tukey observando os subgrupos da variável Esforço de Flexão

Concentração	N	Subgrupo 1	Subgrupo 2	Subgrupo 3
1	4	10,7540		
2	4	11,5380		
3	4	14,7423	14,7423	
4	4		19,0958	19,0958
5	4			21,9835
Sig.		,379	,299	,669

Fonte: Próprio Autor

Tabela 9 – Teste de Tukey observando a variável Tensão de Flexão

Concentração	N	Subgrupo 1	Subgrupo 2
5	4	,0953	
2	4	,1075	
1	4	,1400	,1400
3	4	,1933	,1933
4	4		,2548
Sig.		,150	,072

Fonte: Próprio Autor

Observando a análise de Tukey mostrada nas Tabelas 5,6,7,8, e 9, pode-se concluir que as concentrações PS 100%, PS 50% e PE 50% e PS 75% e PE 25% permaneceram no mesmo subgrupo, isso evidencia que as médias permaneceram bem próximas entre si. O mesmo ocorreu para os subgrupos 2 e 3.

Analisando a variável de extensão de flexão, podemos concluir que as concentrações PS 100%, PS 50% e PE 50% e PS 75% e PE 25% se mantiveram no mesmo subgrupo, isso ocorreu porque em todas as concentrações que apresentaram resultados parecidos podemos identificar uma porcentagem significativa de Poliestireno (PS).

As principais características do poliestireno são: alta temperatura de transição vítrea, transparência, facilidade de processamento, estabilidade térmica, alto módulo de elasticidade, excelentes propriedades elétricas e baixo custo. Polímeros estruturais amorfos são indicados para uso em temperaturas bem abaixo de sua temperatura de transição vítrea.

Atualmente o PS é utilizado em diversas aplicações como por exemplo em embalagens, caixas de CD, copos, gabinetes de computador, maçanetas de automóveis, equipamentos aeronáuticos, utensílios domésticos, partes de secadores de cabelo, canetas, entre outros. A aplicação de diversos tipos de PS se dá de acordo com as propriedades desejadas no produto. O PS possui algumas deficiências quanto à alta fragilidade e instabilidade em ambientes externos sob a ação de raios UV, o que torna amarelado e o fragiliza. Além disso, o PS é atacado por uma larga variedade de solventes, incluindo detergentes para louça (VERONESE, 2003).

4.3 TESTE DE TRAÇÃO

Para esse teste, os corpos-de-prova foram realizados seguindo as normas ASTM D 638 (1999) com 30 centímetros (cm) de comprimento para que houvesse um encaixe mais adequado na máquina Instron. A Tabela 10 apresenta o resultado das médias de tensão, tenacidade e extensão de escoamento.

Tabela 10 – Resultado das médias das amostras do teste de tração

Blenda Polimérica	Tensão de tração (Extensão) comprimento do gabarito [mm]	Tensão de tração (Extensão) em Resistência à tração [mm/mm]	Tenacidade em Escoamento (Inclinação zero) [N/tex]	Extensão em Escoamento (Inclinação zero) [mm]
PS e PEBD 25% e 75%	237,243	0,060	262,354	21,276
PEBD 100%	234,522	0,096	325,943	25,047

Fonte: Próprio Autor

Podemos observar que o material PEBD obteve maior média de extensão em escoamento, esse resultado se comprova com as características desse material que já foram expostas nos testes de flexão anteriormente descritos.

Também podemos salientar que o material Polietileno de Alta Densidade (PEAD) obteve maior média de tenacidade em escoamento, isso significa que a partir das características desse material, como resistência a impacto, elevada resistência a estresse mecânico e maior rigidez em relação ao PEBD, podemos avaliar que é um material mais

rígido e pouco maleável, porém, quando misturado com o PS, em alguns casos esse polímero manteve-se menos maleável e flexível.

É importante destacar que, para a realização do teste de tração utilizamos apenas as amostras nas proporções PS e PEBD 25% e 75% e PEBD 100% pois as outras amostras com proporções maiores do material PS apresentaram-se quebradiças e não aderiram corretamente ao molde, impossibilitando a conclusão do corpo-de-prova dessas blendas em questão.

Também é válido salientar que as matérias-primas dos polímeros são fabricadas e comercializadas com a incorporação de aditivos para melhorar características como flexão, maleabilidade e diminuir a tenacidade, por exemplo. Portanto, é possível que esses aditivos tenham modificado a performance dos polímeros nos resultados apresentados.

É notório destacar também, que não foi possível a realização da análise ANOVA com as blendas apresentadas no teste de tração, pois devido ao número limitado de blendas os dados requeridos para a apresentação de um resultado plausível se mostraram insuficientes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que as blendas com concentrações significativas de PS se mantiveram no mesmo subgrupo apresentados nos testes de Tukey, mais precisamente no teste de flexão, essas blendas apresentaram maior flexibilidade, consequentemente, maior usabilidade na indústria. Esse polímero combinado com outros tipos de termoplásticos pode gerar uma matéria-prima maleável, flexível, sustentável e de baixo custo.

Atualmente as desvantagens do poliestireno têm sido compensadas por uma formulação mais apropriada ou por mistura com outros polímeros. O poliestireno de alto impacto foi uma das alternativas para se melhorar as propriedades do PS vítreo (VERONESE, 2003).

Com isso, podemos concluir que mesmo um material reciclável pode ser de grande usabilidade pela indústria mesmo com propriedades modificadas e até uso de aditivos, desde que o material tenha um objetivo específico e apropriado.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Reginaldo Domingos Souza de. Processo de reciclagem de polímeros termoplásticos. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

ARAÚJO, Maria Christina Barbosa; COSTA, Monica Ferreira. Praias Urbanas: o que há de errado com elas?. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 11, n. 05, p. 51-58, 2016.

ASTM D 638-99 - Standard test method for tensile properties of plastics. Annual Book of ASTM, Philadelphia, Pa, 1999.

ASTM D 790M-93 - Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials [Metric]. Annual Book of ASTM, Philadelphia, Pa, 1993.

BRASIL. Ministério Meio Ambiente. Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos>>. Acesso em: 09 de jan. de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>> . Acesso em: 16 de mar. de 2020.

BRASIL, Amcham. Plástico é o maior desafio ambiental do século XXI, segundo ONU Meio Ambiente. Estadão, 2018. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/blogs/ecoando/plastico-e-o-maior-desafio-ambiental-do-seculo-xxi-segundo-onu-meio-ambiente/>>. Acesso em: 13 de jan. de 2020.

BROOKS, Amy L.; WANG, Shunli; JAMBECK, Jenna R. The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade. Science advances, v. 4, n. 6, p. eaat0131, 2018.

COSTA, Monica F. et al. Contaminação ambiental por microplásticos em Fernando de Noronha, Abrolhos e Trindade. 2014.

COLLINS, E.A. et al. Experiments in Polymer Science. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1973.

COUTINHO, Fernanda; MELLO, Ivana L.; SANTA MARIA, Luiz C. de. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. Polímeros, v. 13, n. 1, p. 01-13, 2003.

DE CARVALHO DIAS, J. Rotas de destinação dos resíduos plásticos e seus aspectos ambientais: uma análise da potencialidade da biodegradação. 2016. 72f. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético)–Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

COELHO, Tatiana. Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%. G1, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1.ghtml>>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

GRAND VIEW RESEARCH. Plastics Market Size & Trends, Industry Analysis Report, 2019-2025. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/global-plastics-market>>. Acesso em: 28 de fev. de 2020.

LEOPOLDINO, Carolina Calazans Lopes et al. Impactos ambientais e financeiros da implantação do gerenciamento de resíduos sólidos em um complexo siderúrgico: um estudo de caso. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, n. 6, p. 1239-1250, 2019.

DE OLIVEIRA, M. C. B. R. Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil. Maria Clara Brandt Ribeiro de Oliveira–Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

PACHECO, GRC. Consequência dos resíduos sólidos presentes nos oceanos para os animais marinhos. 2016. 31f. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Pós-Graduação em Gestão Ambiental)–Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PADULA, Marisa et al. Embalagens plasticas; control de qualidade. 1989.

Saiba como é feito o gerenciamento de resíduos industriais. FRAGMAQ, 2014. Disponível em: <<https://www.fragmaq.com.br/blog/saiba-feito-gerenciamento-residuos-industriais/>>. Acesso em: 09 de jan. de 2020.

PEREIRA, AACE et al. Estudo da solubilidade do poliestireno (ps) e da policaprolactona (pcl) em diferentes solventes orgânicos. In: 22º CBECiMat-Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2016.

DE LA ROSA GUZMÁN, Miguel Ángel. Efecto del uso de nanomateriales tipo hidrotalcita en la estabilidad estructural y resistencia a la flama del poliestireno. 2020.

RUIZ, Johana IR; ESPERIDIÃO, Maria Cecília A. ESTUDO DE ÂNGULO DE CONTATO DINÂMICO EM SUPERFÍCIES POLIMÉRICAS, 2005.

DA SILVA, Látia Michelle Sampaio; PARAÍSO, Luka Almeida; JUNIOR, Ismar Macário Pinto. Análise Crítica Política Nacional de Resíduos Sólidos: Principais Pontos e Aplicabilidade. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS, v. 4, n. 2, p. 37, 2018.

SOUZA, Ludmilla. Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. Agência Brasil, 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano>>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

UNEP - UN Environment. THE STATE OF PLASTICS World Environment Day Outlook 2018. Disponível em: <THE STATE OF PLASTICS>. Acesso em: 14 de abr. de 2020.

UNEP - United Nations Environmental Programme. Single Use Plastics: A Roadmap for Sustainability. 2018.

VERONESE, Vinícius Bassanesi. Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de poliestireno (PS) e copolímeros em bloco estireno-butadieno-estireno (SBS). 2003.

Contatos: gabriela.juliana@hotmail.com e maria.rosa@mackenzie.br