

**Universidade Feevale
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos
Industriais**

EDUARDO SCALZILLI TANNHAUSER

**DESENVOLVIMENTO DE UMA BLENDA DE
RESÍDUOS DE PEAD E PET**

**Novo Hamburgo
2021**

Universidade Feevale
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais

EDUARDO SCALZILLI TANNHAUSER

DESENVOLVIMENTO DE UMA BLEND DE RESÍDUOS DE PEAD E PET

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Leonardo Pandolfo Carone

Co-orientadora: Prof. Dra. Vanusca Dalosto Jahno

Novo Hamburgo

2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Tannhauser, Eduardo Scalzilli.
Desenvolvimento de uma blenda de resíduos de PEAD e PET
/ Eduardo Scalzilli Tannhauser. – 2021.
62 f. ; il. color. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2021.
Inclui bibliografia e apêndice.
"Orientador: Prof. Dr. Carlos Leonardo Pandolfo Carone ; Co-orientadora: Prof. Dra. Vanusca Dalosto Jahno".

1. Blenda. 2. PEAD. 3. PET. 4. Polímeros. 5. Reciclagem.
6. Resíduos. I. Título.

CDU 628.4:678.7

Bibliotecária responsável: Janice Moser Corrêa – CRB 10/2315

Universidade Feevale
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais e Processos
Industriais

EDUARDO SCALZILLI TANNHAUSER

DESENVOLVIMENTO DE UMA BLEND DE RESÍDUOS PEAD E PET

Componentes da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Leonardo Pandolfo Carone (Orientador)
Universidade Feevale

Prof. Dr. Fabricio Celso
Universidade Feevale

Prof^a Dr^a. Ana Cristina de Almeida Garcia
Barros Barreto e Almeida Tecnologia e Assessoria
Ambiental

RESUMO

Com o aumento do consumo aliado ao aumento populacional a busca pelo plástico como material utilizado para fabricação de produtos e embalagens tem crescido proporcionalmente. Levando em consideração que a cultura da reciclagem no Brasil ainda não está estabelecida, temos, conseqüentemente, um aumento de resíduos descartados formal e informalmente. Quando não dispostos em aterros sanitários, esses resíduos se acumulam em lixões ou no meio ambiente poluindo ecossistemas e ocasionando problemas relacionados ao desenvolvimento e conservação da natureza. Neste contexto, o objetivo do trabalho é o desenvolvimento de uma blenda composta por resíduos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e Poli (tereftalato de Etileno) – PET – reciclados, para dar vazão a uma parte desses resíduos que estão sendo descartados, quando poderiam ser uma alternativa econômica e social para nossa sociedade. A pesquisa avaliou diversas formulações que poderiam compor a blenda polimérica analisando dois tipos de plásticos descartados: o poli (tereftalato de etileno) (PET) e o polietileno de Alta Densidade (PEAD). A metodologia constituiu-se na captação direta da matéria prima em estabelecimentos residenciais e comerciais, composta por sacolas de PEAD e garrafas PET, trituração e moagem do material, injeção do resíduo beneficiado para confecção de corpos de provas e posterior análises físico, químicas e mecânicas, bem como caracterizações morfológica, físico-química e mecânica de cada mistura. Os resultados evidenciaram que a mistura ideal para a composição da blenda é de 20%PET x 80% PEAD, por sua maior resistência a tração e alongamento, maior temperatura de início, a segunda maior temperatura de cristalização e a menor perda de massa, segundo os testes de TGA e DSC, dentre as amostras analisadas. Com essa mistura foi possível confeccionar um cabide pelo método de injeção com molde, validando assim as propriedades testadas da blenda escolhida.

Palavras-chave: Blenda. PEAD. PET. Polímeros. Reciclagem. Resíduos.

ABSTRACT

Assuming the increase in consumption together with the increase in the population rate, the search for plastic as the material used to manufacture products and packaging has grown proportionally. Taking in consideration that the culture of recycling in Brazil is not properly followed and well established, we have, consequently, an increase in waste formally and informally discarded. When not accumulated in landfills, these residues accumulate in dumps or in the environment, polluting ecosystems and causing problems related to the development and conservation of nature. In this context, the main objective of this research is the development of a blend composed of recycled HDPE and PET waste, to release a part of this waste that is being wrongly discarded, when it could be an economic and social alternative for our society. The research evaluated several formulations that could compose the polymer blend by analyzing two types of discarded plastics: poly (ethylene terephthalate) (PET) and High-Density polyethylene (HDPE). The experiments were characterized in order to understand the best composition according to current standards. The methodology consisted of the direct capture of raw material in residential and commercial establishments, consisting of HDPE bags and PET bottles, crushing and grinding the material, injecting the processed waste for making test specimens and subsequent physical, chemical and mechanical analysis, as well as morphological, physicochemical and mechanical characterizations of each mixture. The results showed that the ideal mixture for the tile composition is the mixture composed of 20% PET x 80% HDPE, due to its greater resistance to traction and elongation, higher starting temperature, the second highest crystallization temperature and the lowest mass loss, according to the TGA and DSC tests, among the analyzed samples. With the chosen mixture, it was possible to manufacture a hanger using the injection molding method, thus validating the tested properties of the chosen blend.

Keywords: Blend. PEAD. PET. Polymers. Recycling. Waste.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	10
Figura 2 - Quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletada nas regiões e no Brasil	11
Figura 3 - Estrutura molecular do PET.....	18
Figura 4 – Imagem das garrafas PET, antes e após moinhos	26
Figura 5 – Imagem das sacolas de PEAD após estufa e moinho	27
Figura 6 – Imagem a) Triturador Industrial e b) Moinho de Facas Utilizado no Trabalho	27
Figura 7 – Imagem da blenda após extrusão e peletização.....	28
Figura 8 – Imagem dos corpos de prova das blendas	29
Figura 9 – Imagem a) Extrusora, b) Injetora, c) Peletizadora e d) Balança	29
Figura 10 – Espectro de infravermelho do PEAD	32
Figura 11 – Espectro de infravermelho do PET micronizado pós consumo	33
Figura 12- Micrografia da blenda de 20% PET x 80% PEAD: a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x.....	34
Figura 13- Micrografia da blenda de 40% PET x 60% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x.....	35
Figura 14 - Micrografia da blenda de 50% PET x 50% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x.....	36
Figura 15 - Micrografia da blenda de 60% PET x 40% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x.....	37
Figura 16 - Micrografia da blenda de 80% PET x 20% PEAD: a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x.....	38
Figura 17 – Termograma de TGA e DTG da amostra 100% PEAD.....	39
Figura 18 - Termograma de TGA e DTG da amostra 100% PET	40
Figura 19 - Curva DSC amostra 100% PEAD	41
Figura 20 - Curva DSC amostra 100% PET.....	42
Figura 21 - Curva de tendência das durezas medidas nas amostras	44
Figura 22 - Cabides confeccionados com a blenda desenvolvida	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades Seleccionadas do Polietileno de Alta Densidade	17
Tabela 2 - Formulações para o processamento na extrusora.....	27
Tabela 3 - Temperaturas características e perda de massa dos eventos observados nas curvas de TGA.....	40
Tabela 4 - Parâmetros obtidos a partir da curva DSC para as amostras.....	42
Tabela 5 - Dureza Shore A das formulações com PET e PEAD.....	43
Tabela 6 – Parâmetros Obtidos a Partir dos Ensaios de Resistência a Tração e Alongamento	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	14
2.1.1 Polietileno de Alta Densidade – PEAD	16
2.1.2 Poli (tereftalato de Etileno) – PET.....	18
2.2 BLENDS POLIMÉRICAS.....	19
2.3 A BUSCA POR SUSTENTABILIDADE E A RECICLAGEM NO BRASIL ...	21
2.4 SOLUÇÕES COMERCIAIS EXISTENTES – COMPÓSITO DE MADEIRA PLÁSTICA	23
3. METODOLOGIA	26
3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS	30
3.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	30
3.1.2 Análise Termogravimétrica (TGA)	30
3.1.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC).....	30
3.1.4 Dureza	30
3.1.5 Propriedades mecânicas	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5. CONCLUSÃO	47
6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE A	55
APÊNDICE B	58
APÊNDICE C	61

1. INTRODUÇÃO

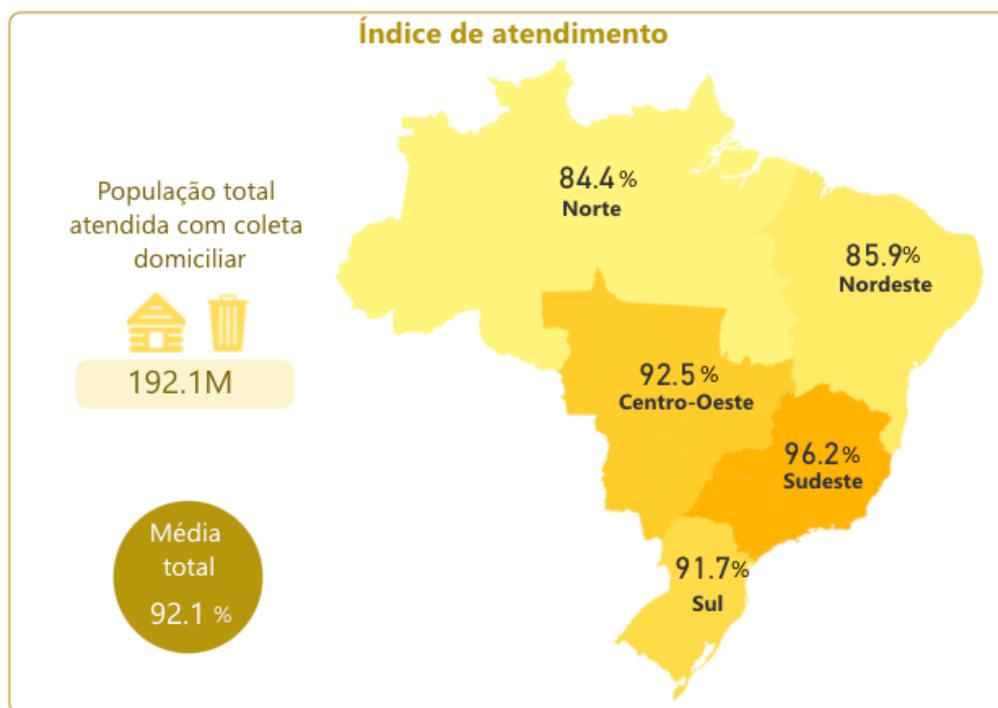
O acúmulo de resíduos nos aterros sanitários tem sido motivo de preocupação global há mais de dez anos. O crescente aumento populacional relacionado aos também crescentes níveis de consumo, faz com que, conseqüentemente, a quantidade de resíduos descartados também aumente proporcionalmente. Mesmo com a criação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos em 2010, a cultura de reciclagem brasileira é insuficiente, ainda não sendo muito incentivada e fiscalizada pelos órgãos públicos e, naturalmente, não sendo muito praticada pelo mundo corporativo.

Mesmo reconhecendo a infinidade de resíduos encontrados nos aterros sanitários, para fins deste trabalho, o plástico foi analisado de maneira a entender suas projeções e implicações quando não descartado de maneira correta em cenários globais e, principalmente, nacional.

Segundo Kaza e Bhada-Tata (2018) desde 2000, o mundo já produziu a mesma quantidade de plástico que em todos os anos anteriores somados. A produção cresceu rapidamente devido ao baixo custo, versatilidade e confiabilidade do plástico. Tais aspectos incentivam o desenvolvimento de produtos plásticos descartáveis, e quase metade de todo o plástico vira resíduo em menos de três anos. A maior parte desses produtos descartáveis são consumidos em países de renda alta ou média-alta e, mesmo com apenas algumas décadas desde a utilização em massa, ainda assim, mais de 75% de todo o plástico já produzido foi descartado.

No relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento produzido pela Ministério de Desenvolvimento Regional (SNIS, 2019) em 2019 (ano mais recente do qual há dados disponíveis), foram mapeados 5.570 municípios no Brasil, com 210,1 milhões de habitantes, dos quais 38,7% dos municípios possui coleta seletiva e apenas 1,04 milhão de tonelada de RSU coletado seletivamente é recuperado. e a massa total coletada estimada de resíduos sólidos domiciliares e resíduos sólidos públicos alcançou a marca de 65,1 milhões de toneladas. Esse valor equivale a 0,99 Kg de resíduos por dia para cada pessoa no Brasil, gerando uma despesa total anual de R\$24,35 bilhões, que equivale a R\$137,73 por habitante por ano, envolvendo um total de 31.500 catadores. Na figura 1 é possível ver o índice de atendimento da população com coleta domiciliar.

Figura 1 - Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos



Fonte: SNIS, 2019

Segundo Wang et al. (2019b), o resíduo sendo descartado de maneira incorreta, ocasiona problemas relacionados ao meio ambiente, como a poluição visual pela disposição inadequada nas ruas, poluição de rios, sérios problemas de inundações pelo entupimento de galerias pluviais e a redução da vida útil de aterros sanitários. Murphy et al. (2016) salienta que os solos, águas doces e oceanos estão contaminados com macro, micro e nanoplásticos.

Para um melhor entendimento, Jambeck et al. (2015), explica que resíduos mal administrados são aqueles deixados sem coleta, despejados em locais abertos, nas ruas ou tratados em aterros sanitários não regulamentados e estima que a maior parte desses resíduos mal administrados tenha poluído ecossistemas terrestres, e que 80% do plástico nos oceanos seja proveniente da poluição terrestre.

Segundo Machado et al. (2018), práticas de consumo acelerado geram uma grande quantidade de resíduos plásticos, para os quais o mundo não está equipado para lidar, sendo que 37% não está sendo tratado de forma eficiente. Levando em consideração o cenário brasileiro relacionado ao consumo e descarte do plástico, é estimando que 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram gerados em 2018, sendo coletado 92% desse montante (72,7 milhões), o que significa uma diferença de 6,4 milhões de toneladas que não foram objeto de coleta, tendo seu

destino impróprio. A destinação adequada em aterros sanitários recebeu um total de 59,5% (43,3 milhões de toneladas) enquanto 40,5% foi despejado em locais inadequados dividido por 3.001 municípios (ABRELPE, 2019).

Dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2017) apontam que estimativas recentes demonstram uma geração diária de 160 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos no país, em que cerca de 30 a 40% são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem, não considerando nesse caso a possibilidade de compostagem.

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos no Brasil têm um papel social extremamente importante de impacto e inserção de diversas pessoas socialmente desprivilegiadas. De maneira a se ter um melhor entendimento do tamanho do mercado a (ABRELPE, 2019), estima-se que o mercado de limpeza urbana tenha movimentado recursos correspondentes a ordem de R\$28,1 bilhões no país em 2018. Os municípios aplicaram mensalmente, em média, R\$10,15 por habitante e tais serviços empregaram diretamente 332 mil pessoas, em vagas formais de trabalho, no período de 2018.

Na figura 2 pode-se perceber a quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados nas regiões e no Brasil segundo a ABRELPE (2019).

Figura 2 - Quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletada nas regiões e no Brasil

Regiões	2017	População 2018	2018
	RSU Total (toneladas/dia)		RSU Total (toneladas/dia)
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
BRASIL	196.050	208.494.900	199.311

Fonte: ABRELPE, 2019

Segundo Temitope (2015) o plástico é um material não biodegradável e quando descartado no solo, de maneira incorreta, pode interferir no crescimento de plantas e impedir a água de chegar até as raízes. Inclusive pode interferir na troca

gasosa entre as plantas e os animais. A cada ano, seres humanos e outras espécies de animais ingerem cada vez mais nanoplásticos a partir de seus alimentos e da água potável, e seus efeitos totais ainda são desconhecidos (KOSUTH; MASON; WATTENBERG, 2018).

Segundo a Agência Internacional de Energia (2018) a produção de plástico consome anualmente 4% de toda a demanda de óleo e gás e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estima o custo do capital natural em U\$ 8 bilhões ao ano, com o setor pesqueiro, comércio marítimo e turismo direta e indiretamente impactados pela poluição plástica. Estima-se também que existe quatro vezes mais poluição plástica em terra do que nos oceanos, sugerindo que o impacto econômico total da poluição por plástico seja ainda muito maior (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018).

O plástico também causa graves impactos aos seres humanos. Comunidades locais são afetadas por poluentes atmosféricos provenientes da queima dos plásticos a céu aberto e da incineração e reciclagem não regulamentadas de resíduos os quais são ocorrências comuns em regiões de capacidade de gestão de resíduos subdesenvolvida (VERMA et al., 2016). Porém, é importante salientar que o plástico pode ser 100% reciclado, voltando para a cadeia produtiva e sendo reaproveitado de maneira a diminuir o consumo de mais petróleo. Sendo assim, uma das grandes motivações do trabalho desenvolvido é de conseguir agregar valor ao plástico que não será mais utilizado, podendo retirá-lo do meio ambiente e retorná-lo em forma de um novo material.

1.1. OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma blenda de resíduos de PEAD e PET.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são definidos como:

- Testar formulações de diferentes proporções de PEAD e PET;
- Avaliar as características mecânicas, químicas, estruturais e morfológicas dos materiais reciclados e das misturas testadas;
- Desenvolver um protótipo de um cabide composto por blenda polimérica de PEAD e PET.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo ROCHA (2015), os resíduos sólidos são decorrentes da atividade comercial e doméstica e estima-se que cada pessoa gera em cerca de 1,3 kg de resíduos por dia. Esse resíduo é constituído por matéria orgânica, papel e papelão, plástico, vidro, metais e óleo de cozinha. (ACCORSI, 2018), nas últimas décadas o Brasil desenhou seu modelo de reciclagem baseado na coleta seletiva e no trabalho dos catadores.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela Lei Federal nº 12.305, de agosto de 2010, e sua regulamentação, por meio do Decreto nº 7.404, de dezembro de 2010, deu novas diretrizes para a coleta seletiva no país, aprimorando o debate da inclusão socioproductiva de catadores de materiais recicláveis e apresentando novos desafios à sua implementação (BRASIL, 2010). Essa Lei visa à disposição final ambientalmente adequada de rejeitos e à redução da geração de resíduos sólidos urbanos. No segundo capítulo tem as definições que objetivam embasamento teórico acerca do texto criado, merecendo destaque os incisos XIV e XVI. O inciso XIV trata a LR como (BRASIL, 2010):

“Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;”

Já o inciso XVI dedica-se ao conceito de resíduos sólidos, caracterizados como:

“material, substancia objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para

isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua (BRASIL, 2010):

a) Origem

- i) Resíduos domiciliares: originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- ii) Resíduos de limpeza urbana: originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- iii) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “i” e “ii”;
- iv) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- v) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- vi) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- vii) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- viii) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- ix) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- x) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- xi) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

b) Periculosidade (BRASIL, 2010):

- i) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- ii) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

À vista disso, é notável que a PNRS contextualiza e traz à tona a discussão sobre a preocupação socioambiental, envolvendo RS, além de apresentar inúmeras potencialidades no que tange à busca de soluções para o correto descarte desses resíduos e a proteção mais completa do meio ambiente. Também o comprometimento mais global dos estados brasileiros, para propor metas de redução de resíduos, reutilização, reciclagem, entre outras formas sustentáveis que reduzam a quantidade de rejeitos, resultando em condições que priorizam cada estado na obtenção de recursos da União, segundo a regulamentação de investimentos em gestão de RS (BRASIL, 2010).

A PNRS está diretamente ligada a investimentos de sensibilização e conscientização da sociedade, mas não só por um aspecto ambiental, e sim social, cultural e acima de tudo econômico. Segundo Maris et al., (2018), a produção de plásticos tem crescido de maneira contínua por mais de 50 anos, atingindo 322 milhões de toneladas em 2015. O consumo de plásticos é uma fonte importante de resíduos, sendo a maior parte oriunda do descarte pós consumo como embalagens. Entre eles e para fins deste trabalho serão analisados os plásticos compostos pelo polietileno de alta densidade (PEAD), contido principalmente em sacolas utilizadas no comércio e pelo poli (tereftalato de etileno) (PET), que compõe garrafas.

2.1.1 Polietileno de Alta Densidade – PEAD

O PEAD é um derivado do polietileno e segundo Viol (2015) o polietileno é formado a partir do monômero etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), tendo fórmula molecular $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$. Este material é semicristalino e sua temperatura de fusão é tipicamente acima de 100°C.

Segundo Sarantópoulos et al., (2017) o grau de cristalinidade do PEAD é na faixa de 70% a 90% e densidade entre 0,940 a 0,965g/cm³, sua temperatura de fusão

é próxima a 137°C. Estas características proporcionam uma maior resistência a tração, menor permeabilidade à água e aos gases CO₂, O₂ e N₂ em relação ao PEBD e menor transparência. Algumas das propriedades do PEAD estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades Seleccionadas do Polietileno de Alta Densidade

Propriedade	Valor
Densidade	0,94 – 0,97 g/cm ³
Temperatura de amolecimento	-90°C
Temperatura de fusão	130 – 140°C
Temperatura de decomposição	450 – 500°C
Cristalinidade	Até 95%

Fonte: COUTINHO; MELLO; DE SANTA MARIA, (2003)

Segundo Schinazi, (2016), o PEAD tem poucas ramificações, ou seja, possui cadeias mais lineares. Isso resulta em um melhor encaixe de umas nas outras e, portanto, se aproximando mais formando uma estrutura mais compacta, mais densa e regular. A proximidade entre as cadeias faz com que as ligações secundárias entre elas sejam mais fortes. Esse fato, juntamente com o maior empacotamento e a maior regularidade, torna esses polímeros mais cristalinos, podendo alcançar até 95% de cristalinidade. Além disso, por serem mais fortes do que nos outros tipos de polietileno, as ligações secundárias são mais difíceis de serem quebradas. Portanto, o polietileno de alta densidade tem maiores resistência a temperatura (estabilidade térmica), resistência mecânica e dureza do que os outros tipos de polietileno.

As características do polietileno de alta densidade (PEAD) são devidas as suas propriedades morfológicas e responsáveis pela larga aplicação deste material ao redor do mundo, porém o polímero deve ser transformado adequadamente para que estas propriedades sejam úteis. As propriedades reológicas do polímero em questão determinam fortemente o tipo de método de fabricação de um dado componente ou elemento de utilidade prática. Outras coisas a se considerar na seleção de um método de fabricação são a estabilidade, temperatura de amolecimento, bem como a forma e o tamanho do produto final (LEONARDY, 2018).

Segundo Gabriel (2016), ele pode ser utilizado para a fabricação de bombonas, recipientes, garrafas, filmes, brinquedo, materiais hospitalares, tubos para distribuição

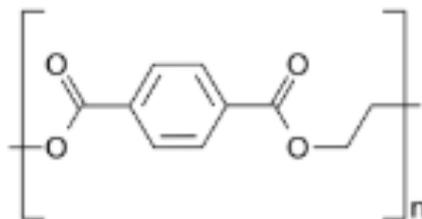
de água e gás, tanques de combustível automotivos, pois apresenta excelentes propriedades, que quando somado ao seu baixo custo e fácil processamento, permitem e ampliam sua usabilidade na indústria de transformação. O PEAD pode ser processado por meio de processos de extrusão, injeção e sopro assim sua reciclagem ocorre naturalmente, por meio de um processo simples e sem grandes exigências e, atualmente, ele tem sido reciclado, em sua maior parte, por meio do processo de reciclagem mecânica, devido a fatores que podem ser descritos como: custo de mão-de-obra, baixo investimento para instalação da planta de reciclagem, disponibilidade de matéria prima e o mercado crescente para a venda de polímeros reciclados.

2.1.2 Poli (tereftalato de Etileno) – PET

Segundo Silva et al., (2018) o Poli (tereftalato de etileno) (PET) é um polímero de cadeia longa, que pertence a família genérica poliésteres, e são formados a partir dos intermediários, ácido tereftálico (TPA) e do etileno glicol (EG), que são ambos derivados de matérias-primas do petróleo. Em sua forma mais pura o PET é um material vítreo, amorfo, e que sob a influência da modificação direta como aditivos, desenvolvem cristalinidade.

Sua estrutura é apresentada na figura 3 e as propriedades físicas e mecânicas do polímero dependem significativamente da massa molecular média obtida na polimerização, e esta pode ser estimada a partir da viscosidade intrínseca do mesmo (SARANTÓPOULOS et al, 2017).

Figura 3 - Estrutura molecular do PET



Fonte: Sarantópoulos et al., 2017

O poli (tereftalato de etileno) (PET) e as poliolefinas, como poli (etileno de alta densidade) (PEAD), poli (etileno de baixa densidade) (PEBD) e polipropileno (PP) são termoplásticos mais amplamente utilizados como embalagem de materiais (garrafas,

recipientes, filmes, etc.). O PET possui aplicações de uso comum e engenharia devido ao conjunto de propriedades físico-mecânicas, térmicas, químicas, entre outras. Algumas de suas características são: excelente brilho, alta resistência mecânica, química e térmica, boa processabilidade e baixa permeabilidade ao gás (ABIPLAST,2018; CEMPRE, 2020)

Segundo Santos et al., (2018), dentre os muitos usos do PET, a aplicação como embalagem para bebidas é uma das mais difundidas e que cresce a cada dia no Brasil e no mundo, porém esse tipo de aplicação faz com que ele apresente vida útil muito curta, e acabe muitas vezes sendo descartado de forma inadequada junto com outros polímeros causando poluição ambiental

Entretanto, a embalagem de PET pós-consumo, após a reciclagem mecânica, já vem sendo utilizada para a produção de carpetes, tapetes, cordas, cerdas de vassoura, escovas e tecidos não tecidos (TNT), entre outros usos. Usos esses menos nobres do que os da resina virgem devido ao fato que uma das maiores dificuldades nesse tipo de reciclagem é a depreciação das propriedades mecânicas devido a processos de degradação por cisão hidrolítica da cadeia polimérica. A redução da massa molar do polímero, torna-o mais rígido e quebradiço o que torna muitas vezes inviável seu reaproveitamento (BIMESTRE; SARON, 2014).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de PET (ABIPET, 2017), a reciclagem de garrafa PET no Brasil é uma das mais desenvolvidas no mundo, e conta com alto índice de reciclagem e uma enorme gama de aplicações para o material. A principal reciclagem praticada é a mecânica e, de acordo com o 11º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, o país reciclou 55% das embalagens de PET descartadas pela população em 2019. O volume equivalente a 311 mil toneladas do produto – 12% acima do registrado em 2018. O faturamento gerado ultrapassou os R\$3,6 bilhões, o correspondente a 36% do faturamento total do setor do PET no Brasil.

A vasta utilização do PET combinado com o descarte impróprio pode acarretar em sérios problemas para o meio ambiente, por isso as pesquisas que busca a reciclagem e reuso deste polímero podem não apenas economizar recursos como também resolver problemas relacionados ao meio ambiente (WANG et al., 2019a).

2.2 BLENDS POLIMÉRICAS

Segundo de Andrade (2019) a definição de blends poliméricas é a mistura física de pelo menos duas ou mais substâncias macromoleculares, sejam elas

polímeros ou copolímeros, em que o teor do segundo componente seja acima de 2% em massa.

O desenvolvimento de blendas tem permitido a obtenção de novos materiais pela combinação de polímeros já existentes no mercado e que apresentam propriedades que se complementam. Em comparação com a síntese de novos polímeros ou a modificação química (copolimerização e enxertia) de polímeros existentes, a obtenção de blendas poliméricas necessita de um baixo investimento de capital e tempo. Além disso as blendas podem ser processadas em equipamentos convencionais de processamento de polímeros o que permite uma alta versatilidade e produtividade das plantas industriais (LOUREIRO, 2019).

De acordo com Silva Santos (2016), o interesse por misturas poliméricas tem crescido continuamente durante as últimas décadas. A combinação de polímeros é um método economicamente viável para obter materiais com boas características físicas, químicas e físico-químicas. A blenda de dois ou mais polímeros descartáveis pode resultar em um material de baixo custo e com propriedades interessantes e ainda, sem a quebra de cadeiras do polímero puro. Os setores que mais estão crescendo nessa área são: o automotivo, elétrico, eletrônico, de embalagem, de construção, aeronáutica, e de utensílios domésticos.

As blendas podem ser classificadas de acordo com sua miscibilidade como miscíveis, podendo formar uma única fase ou imiscíveis quando forma mais de duas fases. Dentre os fatores que vão determinar essa divisão estão às características termodinâmicas entre duas macromoléculas que quando misturadas ao grau molecular, possuem contato próximo entre suas cadeias. A partir de experimentos, pode-se observar a miscibilidade de dois polímeros. Uma forma de estudar a miscibilidade é por meio da observação de apenas uma Temperatura de transição vítrea (T_g) intermediária aos valores característicos e conhecidos de cada polímero (CANEVAROLO, 2006).

A miscibilidade dos componentes é um aspecto importante no estudo das propriedades das blendas. Vários métodos experimentais são utilizados para determinar essa miscibilidade, entre eles, pode-se citar: (a) métodos baseados na determinação da homogeneidade óptica da mistura, (b) métodos baseados na determinação da temperatura de transição vítrea, (c) métodos para determinação direta das interações a nível molecular e (d) métodos indiretos para a miscibilidade. Alguns desses métodos são complexos e têm custo elevado, por isso, o método mais

utilizado para avaliar a miscibilidade das blendas é a calorimetria exploratória diferencial (DSC). Esta é uma técnica rápida, com custo acessível e confiável que determina o número de temperaturas de transição vítrea presentes na blenda polimérica (SIONKOWSKA, 2011).

Outro conceito bastante discutido em blendas é a compatibilidade. O uso de compatibilizante é indicado quando há possibilidade de separação de fases em blendas. Assim, a interface pode ser estabilizada com adição de outro componente, o compatibilizante que vai atuar reduzindo a energia interfacial e estabilizando os polímeros (CANEVAROLO, 2006). A diferença entre miscibilidade e compatibilidade é que essa última pode sofrer alterações nas estruturas químicas do polímero e é um aspecto tecnológico, já a miscibilidade não pode ser modificada por se tratar de uma propriedade termodinâmica intrínseca do sistema (AKCELRUD, 2007).

Por fim, Macedo (2017) salienta que o estudo a respeito da mistura dos polímeros envolve desde a busca por propriedades específicas até a redução de custos, o que potencializa o estudo e o desenvolvimento de novas blendas poliméricas a serem utilizadas nas mais diversas aplicações.

2.3 A BUSCA POR SUSTENTABILIDADE E A RECICLAGEM NO BRASIL

Segundo Peron (2019), na busca por uma sociedade sustentável, o uso racional dos recursos naturais se apresenta como necessário. Assim, reduzir os níveis atuais de consumo das sociedades, reutilizar os materiais com o objetivo de prolongar a vida útil dos produtos e reciclar os produtos descartados para que se tornem matéria-prima são estratégias indispensáveis nos dias atuais.

De acordo com Dias (2015), os 3 Rs – reduzir, reutilizar e reciclar constituem uma regra básica que deve ser seguida nas questões que envolvem a sustentabilidade e o seu objetivo é reduzir o volume de resíduos gerado. Os 3 Rs apresentam as seguintes características:

1) reduzir: apresenta um efeito mais direto e amplo na redução dos danos ao meio ambiente, e consiste em comprar menos e utilizar menos.

2) reutilizar: seu objetivo é prolongar a vida útil de cada produto, seja para o mesmo uso, ou dando-lhe outro uso. Reutilizar também significa comprar um produto de 2ª mão, pois prolonga a vida útil do produto e proporciona a redução de consumo de produtos novos.

3) reciclar: seu objetivo é resgatar o que for possível de um material que não tem mais utilidade e convertê-lo em um produto novo. A reciclagem permite que um material que se tornou resíduo seja descartado no meio ambiente e possibilita a diminuição de retirada de matéria-prima junto ao meio ambiente. O ponto forte da reciclagem é que, atualmente, quase todo tipo de resíduo pode ser reciclado.

A reciclagem é uma atividade importante, pois é vista como o resultado final da coleta seletiva, mas seu sucesso está interligado ao fornecimento da matéria-prima, tecnologia de reciclagem e do mercado diferenciado. Portanto não é apenas uma atividade do ponto de vista sustentável, mas visto também do ponto de vista econômico (ROCHA, 2015).

Segundo Conke e Nascimento (2018), a coleta seletiva é uma atividade que contribui para a sustentabilidade urbana, para a geração de renda e de cidadania e proporciona a economia de recursos naturais. Essa atividade se inicia após o consumo de algum produto ou serviço, e seus resíduos são dispostos em frente de domicílios em logradouros públicos em frente de comércios ou em Pontos de Entrega Voluntária (PEVs). Para melhor aproveitamento dos materiais, a população deve realizar uma pré-seleção dos resíduos e os acondicionar com a finalidade de garantir a integridade dos materiais potencialmente aproveitáveis. Dessa forma, evita-se a contaminação e o desperdício de materiais que poderiam ser reaproveitados, mas para tanto, é necessário um trabalho de conscientização da população sobre a importância e os benefícios da coleta seletiva.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2017), os resíduos que devem ser separados para que haja um melhor reaproveitamento dos materiais são classificados em três frações ou grupos: resíduos orgânicos, rejeitos e resíduos recicláveis secos. Os resíduos orgânicos referem-se a restos de alimentos e folhas secas e podas e os rejeitos referem-se aos resíduos não recicláveis como, por exemplo, os resíduos de banheiros e bitucas de cigarro. Já os resíduos recicláveis secos referem-se a papel, papelão, plásticos, vidro, entre outros.

Segundo Bettanin, (2020) a reciclagem de materiais poliméricos implica na transformação de resíduos sólidos em matéria prima para a fabricação de novos insumos ou produtos envolvendo alterações físicas e/ou físico-químicas e pode ser dividida em três tipos: energética, química e mecânica ou física.

A reciclagem energética, segundo Maris et al., (2018), consiste na incineração de resíduos sólidos com recuperação de energia pela produção de calor e/ou eletricidade. É um processo utilizado quando a reciclagem mecânica não apresenta viabilidade técnica ou econômica devido a alta contaminação dos resíduos, bem como dificuldade na separação dos materiais contidos no produto ou ainda pela possibilidade de alta perda do desempenho mecânico com o reprocessamento do material para uso posterior.

A reciclagem química consiste no retorno do polímero em óleos ou compostos de hidrocarbonetos no caso de poliolefinas, ou em seu monômero de composição primário, no caso de poliésteres e poliamida. Ester compostos podem então ser utilizados com matéria-prima para a produção de novos polímeros ou na indústria petroquímica (BETTANIN, 2020).

A reciclagem mecânica consiste na moagem do resíduo pós-consumo com posterior reprocessamento, podendo ser misturado com outro material, para a produção de um novo componente, o qual pode ser o mesmo de origem ou outro (YIN et al., 2015). Segundo Ragaert, Delva e Van Geem, (2017) as etapas básicas incluídas no processo de reciclagem são a coleta, a triagem, a lavagem, a secagem e a moagem dos resíduos.

Segundo estimativas de Geyer, Jambeck e Law, (2017), até o ano de 2017 foram gerados 8.300 milhões de toneladas de plásticos virgens no mundo. Apenas no ano de 2015 foram produzidas 6.300 Mt de resíduos plásticos, sendo que 9% destes foram reciclados, 12% incinerados e uma vasta maioria de 79% acumulada em aterros sanitários ou ainda destinado de forma inadequada, em aterros controlados ou lixões a céu aberto. Da produção total de plásticos, 36% refere-se a produção de polietileno, 21% de polipropileno (PP), 12% de policloreto de vinila (PVC) e menos de 10% de politereftalato de etileno (PET), poliuretano (PU) e poliestireno (OS) somados (GEYER; JAMBECK; LAW 2017).

2.4 SOLUÇÕES COMERCIAIS EXISTENTES – COMPÓSITO DE MADEIRA PLÁSTICA

Embora não haja definição universalmente aceita, um material compósito pode ser visto como um sistema composto de dois ou mais constituintes que diferem em

forma ou composição material e/ou que são essencialmente insolúveis um no outro. Em princípio, qualquer combinação de dois ou mais materiais como metálicos, poliméricos ou cerâmicos pode ser usada, porém os constituintes mais empregados são fibra, partícula, lâmina, camada, floco ou carga e matriz. A matriz constitui o corpo ou fase contínua, servindo para dar forma ao compósito; os outros constituintes são denominados estruturais, pois determinam a estrutura interna do compósito. Na prática, a maioria das composições dos compósitos consiste em um material, chamado matriz e outro material chamado de reforço, adicionado principalmente para aumentar a resistência mecânica e a rigidez da matriz, mas também, por vezes, para modificar a sua condutividade térmica ou resistividade elétrica (CARDARELLI, 2018).

De acordo com Callister e Rethwisch (2016), a madeira plástica apresenta em sua composição uma mistura em proporção definida de seus componentes: serragem/fibras de madeira e termoplástico. A combinação da baixa densidade, resistência química, custo baixo e um balanço entre rigidez e tenacidade permite que termoplásticos desempenhem papel importante na produção de madeira plástica.

Termoplásticos consistem em longas moléculas de comprimento na ordem de 20 a 30 nm e fluem facilmente sob tensão sem elevadas temperaturas, permitindo assim ser fabricados no formato solicitado e mantendo a forma quando resfriados à temperatura ambiente. Esses polímeros podem ser repetidamente aquecidos, fabricados, resfriados e, conseqüentemente, serem reciclados. Os termoplásticos mais conhecidos são acrílicos, nylon (poliamida), polietileno (PE), poli (éter-éter cetona), poliestireno (PS) e polipropileno (PP) (NAZÁRIO et al., 2016).

Um dos desafios da aplicação da madeira plástica depende da melhoria do desempenho físico e mecânico. Outra questão é a absorção de água na parte da madeira, um problema que reduz parcialmente a rigidez devido as intempéries ambientais. A madeira plástica é majoritariamente produzida em todo o mundo na forma de placas ocas ou sólidas para decks em geral e substitui predominantemente a madeira, que existe em maior abundância e é em geral proveniente de áreas tropicais. Todavia, o uso da madeira plástica vai depender do tipo de material usado em sua fabricação. O uso de resíduos de fibra de madeira torna os produtos de plástico mais fortes e menos dispendiosos, permitindo colocar os resíduos em bom uso (BRASKEM, 2018).

Segundo Kieling, Santana e Santos, (2019), a versatilidade na produção tem tornado a madeira plástica uma ótima opção para a redução da disseminação do

plástico no ambiente e aumentar a vida útil de aterros sanitários. Dependendo da aplicação, a madeira plástica possibilita o uso do plástico por vários anos, aumentando o ciclo de vida de produtos oriundos de um importante passivo ambiental.

Tendo em vista a busca pela sustentabilidade e a oportunidade existente em aproveitar os resíduos para adicionar valor agregado e fazer com que os polímeros reciclados voltem para o mercado em forma de produto foi escolhido desenvolver uma blenda com características químicas e mecânicas que permitam o desenvolvimento de novos produtos, agregando valor aos resíduos que seriam descartados e gerando valor na cadeia de produção, beneficiando todos os agentes envolvidos.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais, métodos e equipamentos utilizados para a produção da blenda polimérica, bem como as caracterizações de cada amostra produzida. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Feevale, no Laboratório de Reciclagem, no Centro de Tecnologias Limpas.

As matérias-primas utilizadas foram sacolas já utilizadas de PEAD e garrafas PET. As garrafas de PET podem ser visualizadas na figura 4, em seu formato original, quando foram submetidas a um processo de trituração.

Figura 4 – Imagem das a) garrafas PET, b) cortada e c) após moagem

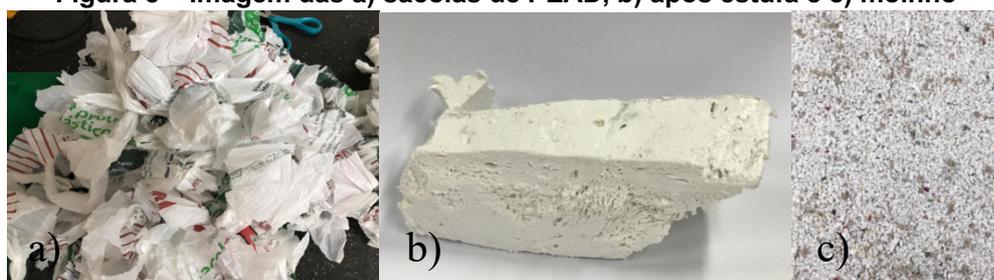


Fonte: Do autor, 2020

Para facilitar a moagem das garrafas, utilizou-se primeiramente o triturador industrial, marca Seibt com 22/25 CV, por fim, a moagem mais fina foi realizada com o moinho de facas, ambos disponíveis no laboratório de reciclagem do Centro de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale.

As sacolas de PEAD não puderam ser trituradas, como foram coletadas, devido ao baixo peso, por isso foram recortadas em pedaços menores e fundidas na estufa, marca DeLeo e, após estarem em um formato sólido, trituradas no mesmo moinho utilizado para as garrafas PET, marca Usifer, ficando no formato apresentado na figura 5.

Figura 5 – Imagem das a) sacolas de PEAD, b) após estufa e c) moinho



Fonte: Do autor, 2020

O triturador e o moinho utilizados podem ser vistos na figura 6.

Figura 6 – Imagem a) Triturador Industrial e b) Moinho de Facas Utilizado no Trabalho



Fonte: Do autor, 2020

Após a moagem, as formulações foram pesadas utilizando a balança da marca Marte, seguindo a tabela 2, manualmente misturado em um recipiente, antes de ser processado na extrusora mono rosca de marca Seibt, modelo ES25 NS. A56/11.

Tabela 2 - Formulações para o processamento na extrusora

Formulação	PET %	PEAD %
1	80	20
2	60	40
3	50	50
4	40	60
5	20	80

Fonte: Do autor, 2020

Na extrusora foram estipuladas as temperaturas nas zonas 1, 2, 3 e 4 de 180°C, 210°C, 220°C e 230°C e as blendas foram posteriormente peletizadas na peletizadora

de marca AX Plásticos, figura 7, no laboratório de reciclagem do Centro de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale.

Figura 7 – Imagem da blenda após extrusão e peletização



Fonte: Do autor, 2020

Após a extrusão e peletização, as blendas foram novamente moídas em um moinho de facas e para confeccionar os corpos de prova, que estão demonstrados na figura 8, foi utilizada uma injetora Bonmaq, modelo APTA 80, com quatro zonas de temperatura programáveis, com pressão de fechamento de 80 Kgf, sendo que as temperaturas nas zonas 1, 2, 3 e 4 foram de 190°C, 210°C, 230°C e 240°C, respectivamente, localizada no Laboratório de reciclagem.

Figura 8 – Imagem dos corpos de prova das blendas



Fonte: Do autor, 2020

A extrusora, a injetora a peletizadora e a balança utilizados podem ser observados na figura 9.

Figura 9 – Imagem a) Extrusora, b) Injetora, c) Peletizadora e d) Balança



Fonte: Do autor, 2020

3.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

As matérias primas e as formulações foram caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), também foram feitas Análises Termogravimétricas (TGA), Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), testes de Dureza seguindo o método Shore A e as propriedades mecânicas foram testadas com testes de resistência a tração e alongamento.

3.1.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o objetivo de observar as características morfológicas das misturas foram realizadas micrografias obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura, da marca JEOL, modelo JSM-6510LV, equipamento disponível no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale.

3.1.2 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica foi usada para avaliar a variação de massa de uma amostra em função da temperatura. O equipamento utilizado foi da marca Shimadzu, modelo TGA-51, e a taxa de aquecimento foi de 10° C/min com temperatura variando de 0 °C até 800 °C. Foi utilizada atmosfera inerte em nitrogênio com vazão de 20mL/min.

3.1.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As transições térmicas foram avaliadas por Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) em um equipamento da marca Perkin Elmer, modelo DSC 6000, pelo método *heat cool heat*, utilizando a razão de aquecimento no ensaio de 10 °C/min. A faixa de temperaturas utilizada foi -66 °C a 202 °C.

3.1.4 Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados seguindo o método Shore A, no qual as amostras tiveram sua dureza medida em 3 pontos diferentes em sua superfície.

3.1.5 Propriedades mecânicas

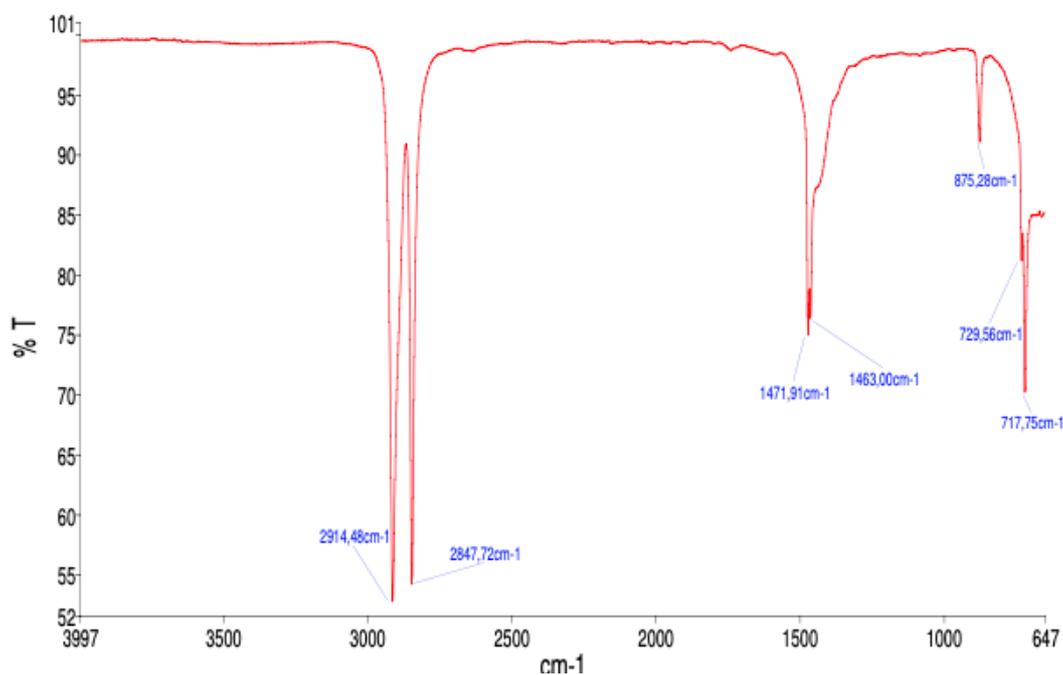
As propriedades mecânicas foram testadas seguindo método de análise de resistência a tração e alongamento, seguindo a norma ABNT NBR ISO 6892-1:2013 Versão Corrigida 2:2018, sobre ensaios de tração à temperatura ambiente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos experimentalmente, a partir das análises descritas na metodologia, juntamente com as discussões relevantes em cada etapa. Os resultados das caracterizações morfológica, físico-química e mecânica serão apresentados a seguir.

O espectro de infravermelho do PEAD pode ser visualizado na figura 10.

Figura 10 – Espectro de infravermelho do PEAD

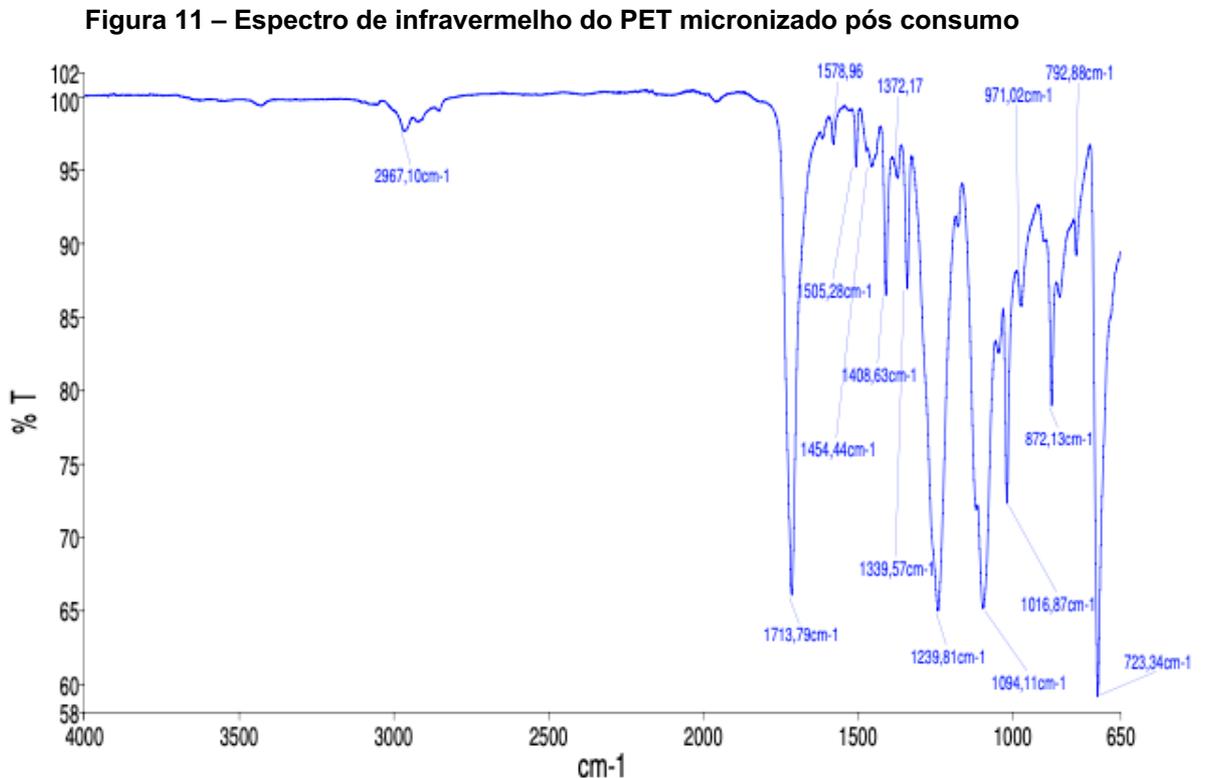


Fonte: Do autor, 2020

O espectro de infravermelho do PEAD apresenta as bandas atribuídas à deformação axial assimétrica e simétrica de grupos C-H, em 2914 e 2847 cm^{-1} . As bandas em torno de 1471 e 1463 cm^{-1} e 729 e 717 cm^{-1} são atribuídas deformação angular de grupos C-H.

Segundo os ensaios realizados pelos autores Torres, D'Almeida e Habas (2010), o espectro medido na parede interna de um tubo de PEAD mostrou as três bandas de absorção associadas aos três modos de vibração da ligação C-H e os valores dos números de onda se situaram nas seguintes regiões espectrais: valência (*stretching*) entre 2950 e 2850 cm^{-1} , pêndulo (*bending*) entre 1350 e 1450 cm^{-1} e torção (*rocking*) aproximadamente em 700 cm^{-1} , muito similar aos encontrados nesse trabalho.

A figura 11 apresenta o espectro de infravermelho do PET micronizado pós consumo.



Fonte: Do autor, 2020

O espectro de infravermelho do PET apresenta uma banda de absorção característica de CH₂ e CH₃ em 2967cm⁻¹ e uma banda em torno de 1713 cm⁻¹ que se refere a presença do grupo carbonila (C=O). Em 1239cm⁻¹ uma banda característica do grupamento C-O e em 723cm⁻¹ banda característica da presença de anel aromático.

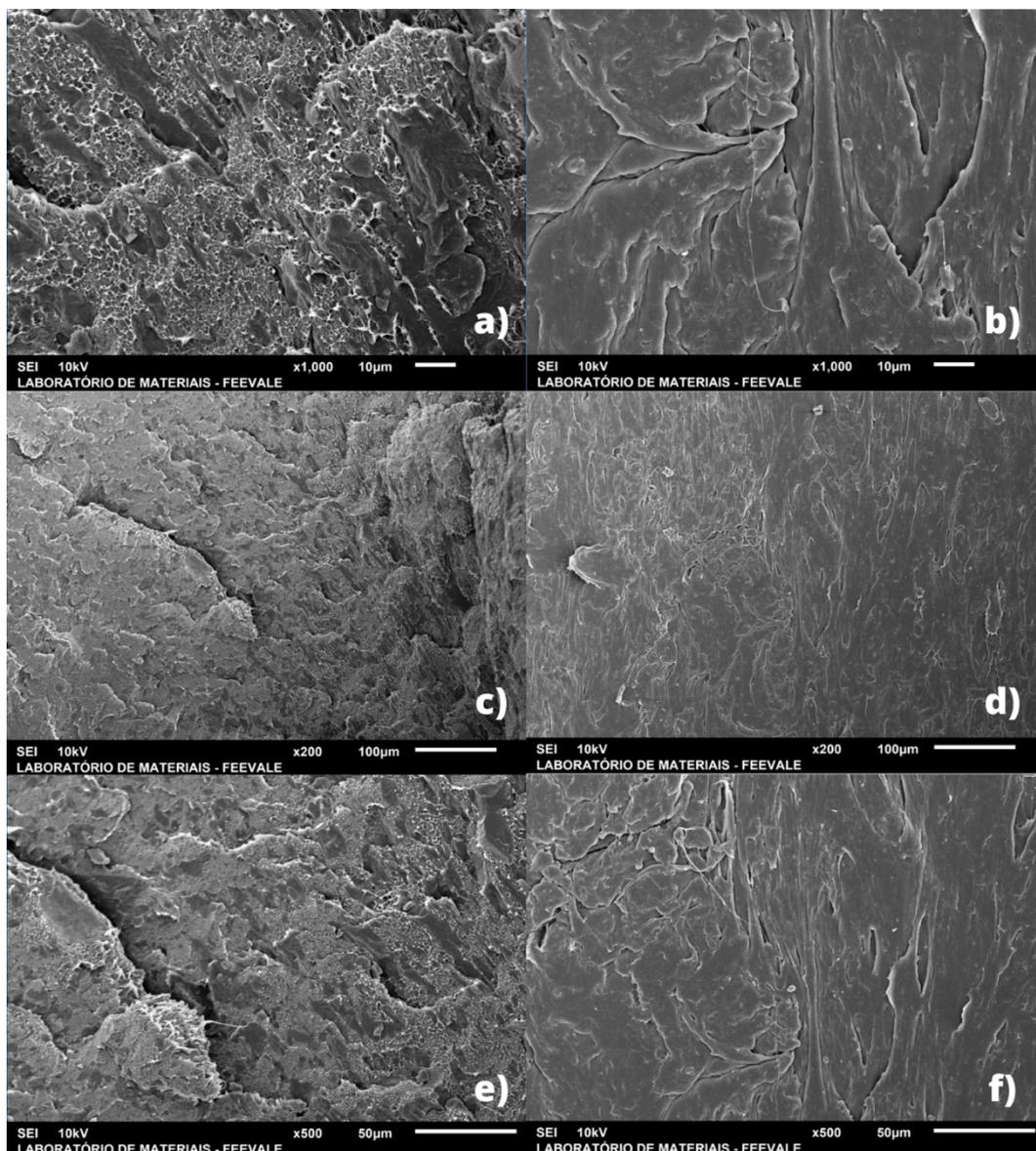
O ensaio corrobora com as medições realizadas pelos autores Silva, Cunha Lins e Cotting (2019) que apontam uma banda de absorção do PET em torno de 1715 cm⁻¹ e uma banda de 1097 cm⁻¹ associada ao modo de vibração de estiramento de ligações C-O e, por fim, as bandas de absorção em 724 cm⁻¹ e 871 cm⁻¹ são referentes interação de grupos éster polar e anéis de benzeno, vibração C=H fora do plano.

Para uma melhor análise, as micrografias foram obtidas tanto no corpo de prova, quanto na parte da fratura. Dessa maneira foi possível verificar se a injeção do material conseguiu, de fato, fundir a blenda, evitando pontos de tensão onde os

materiais poderiam ter ficado mais frágeis pela falta de fundição. A iniciar pela mistura composta por 20%PET e 80% PEAD, conforme figura 12.

É possível observar a estrutura com maior cristalinidade do PEAD, que se apresenta de maneira mais fibrosa (figura 12b), que corrobora com Cristina et al., (2016) explicando que essa “trama” estrutural confere maior resistência ao material à deformação.

Figura 12- Micrografia da blenda de 20% PET x 80% PEAD: a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x

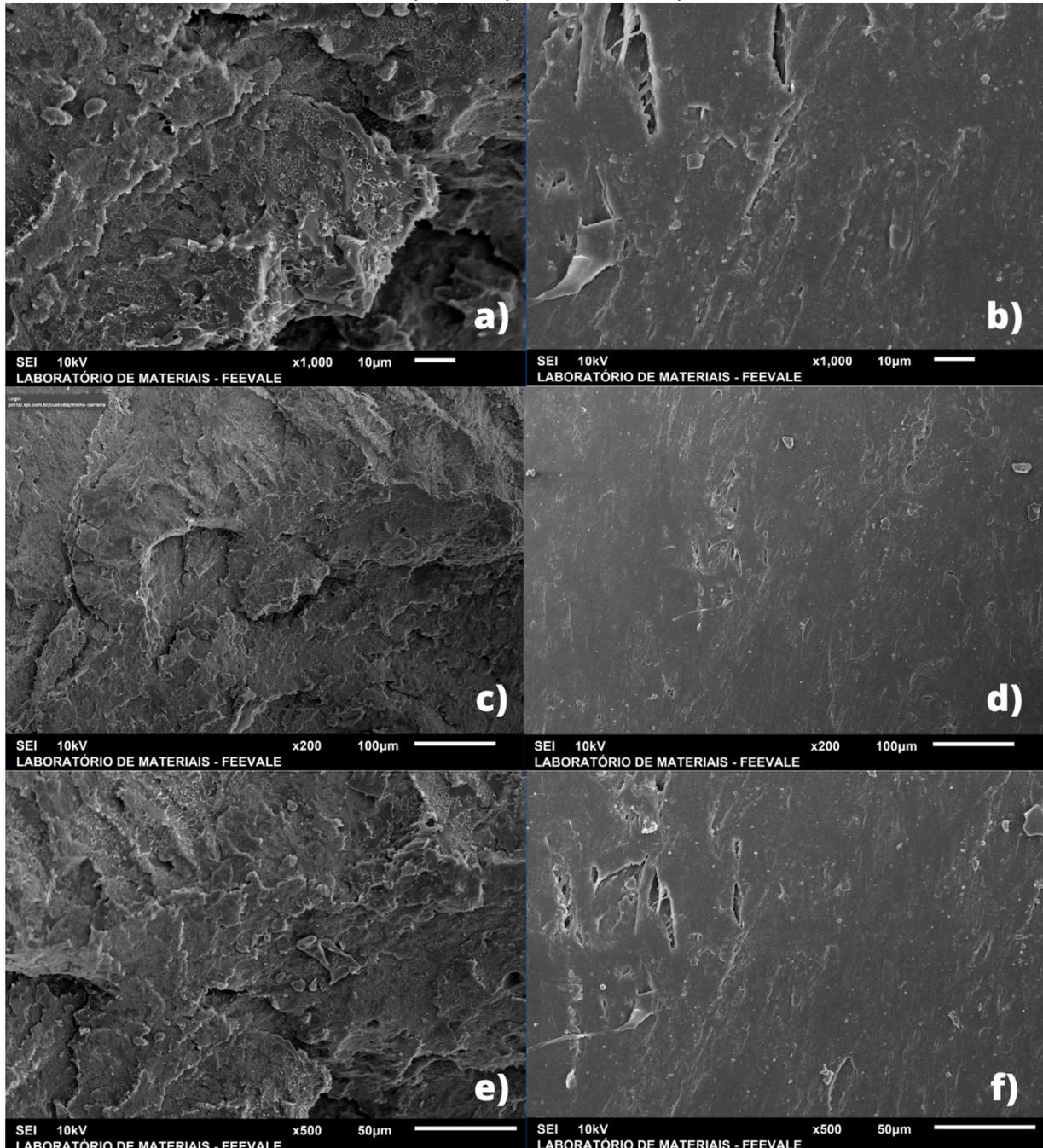


Fonte: Do autor, 2020

Para a mistura composta por 20%PET e 80% PEAD, percebe-se a compatibilidade entre eles, não sendo possível diferenciar os dois materiais presentes.

Na figura 13 a blenda analisada é composta por 40%PET e 60%PEAD.

Figura 13- Micrografia da blenda de 40% PET x 60% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x

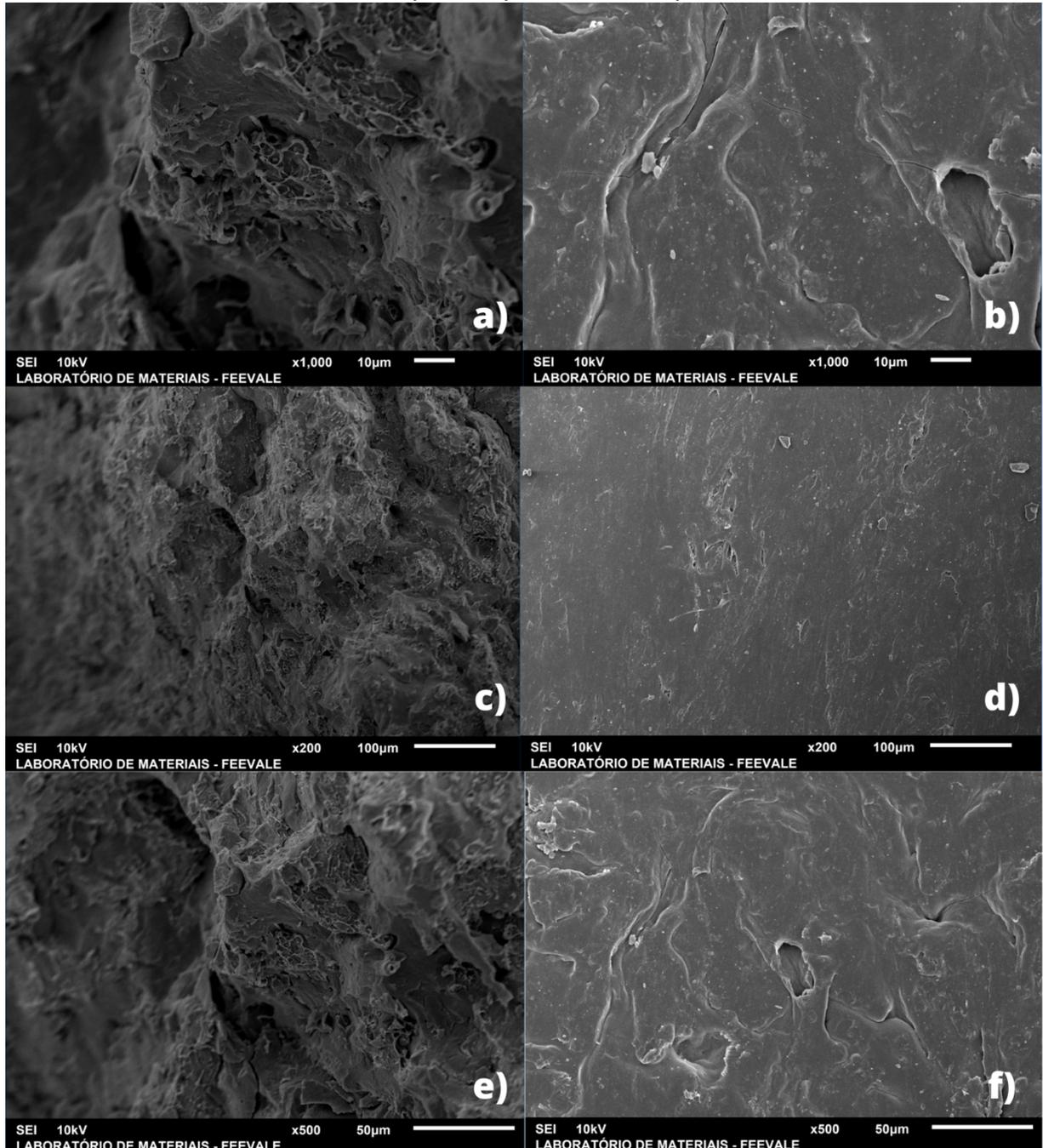


Fonte: Do autor, 2020

Na figura 13b foi possível observar uma maior rugosidade da superfície, que podem gerar concentradores de tensão na peça, deixando-a mais frágil. Na região da fratura, percebe-se a compatibilidade entre os componentes da formulação, que favorece a resistência.

Na figura 14 a blenda analisada é composta por 50%PET e 50%PEAD.

Figura 14 - Micrografia da blenda de 50% PET x 50% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x

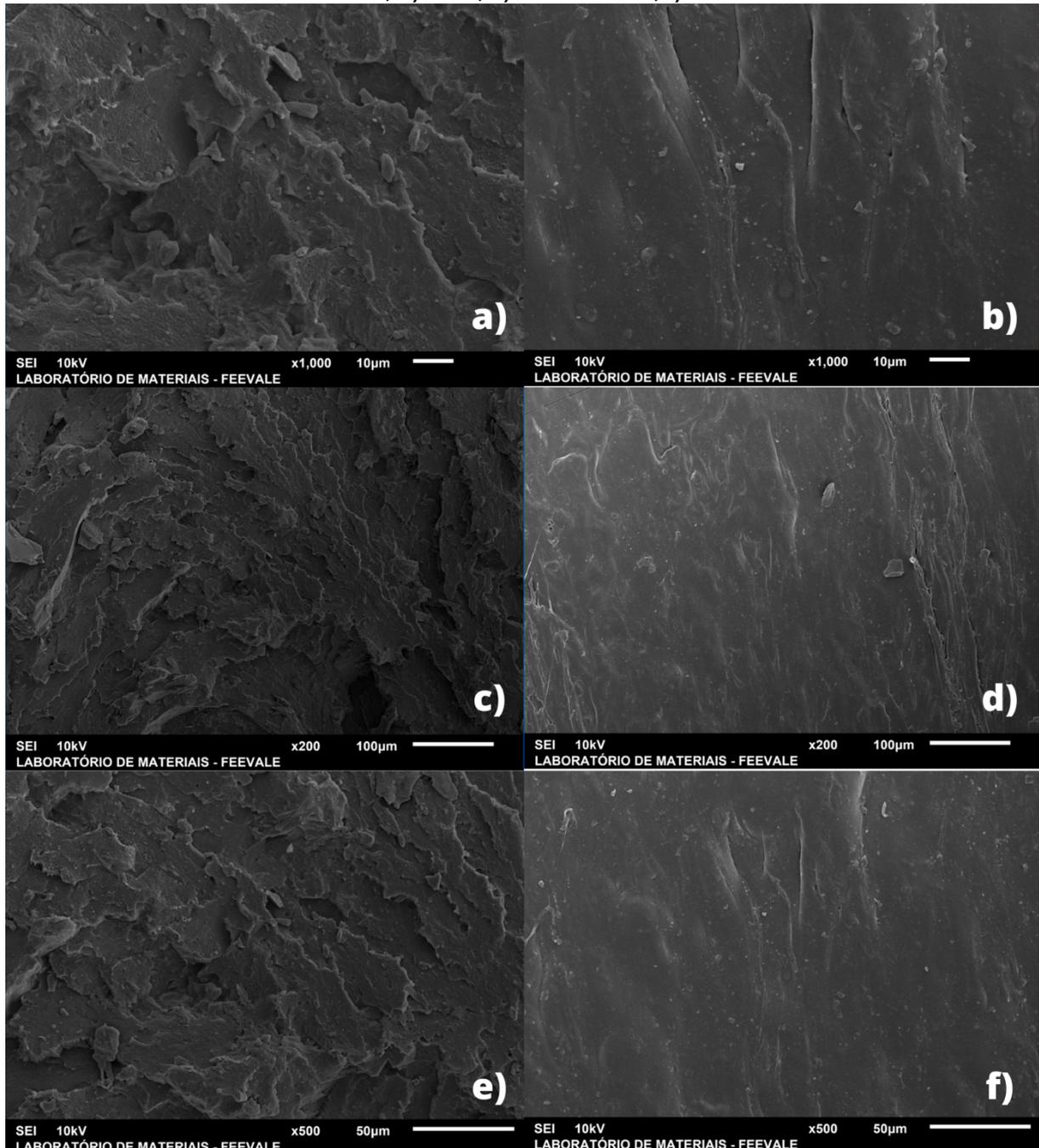


Fonte: Do autor, 2020

As micrografias da figura 14 ficaram similares com as demais blendas, percebe-se uma rugosidade na superfície.

Na figura 15 a blenda analisada é composta por 60%PET e 40%PEAD.

Figura 15 - Micrografia da blenda de 60% PET x 40% PEAD : a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x

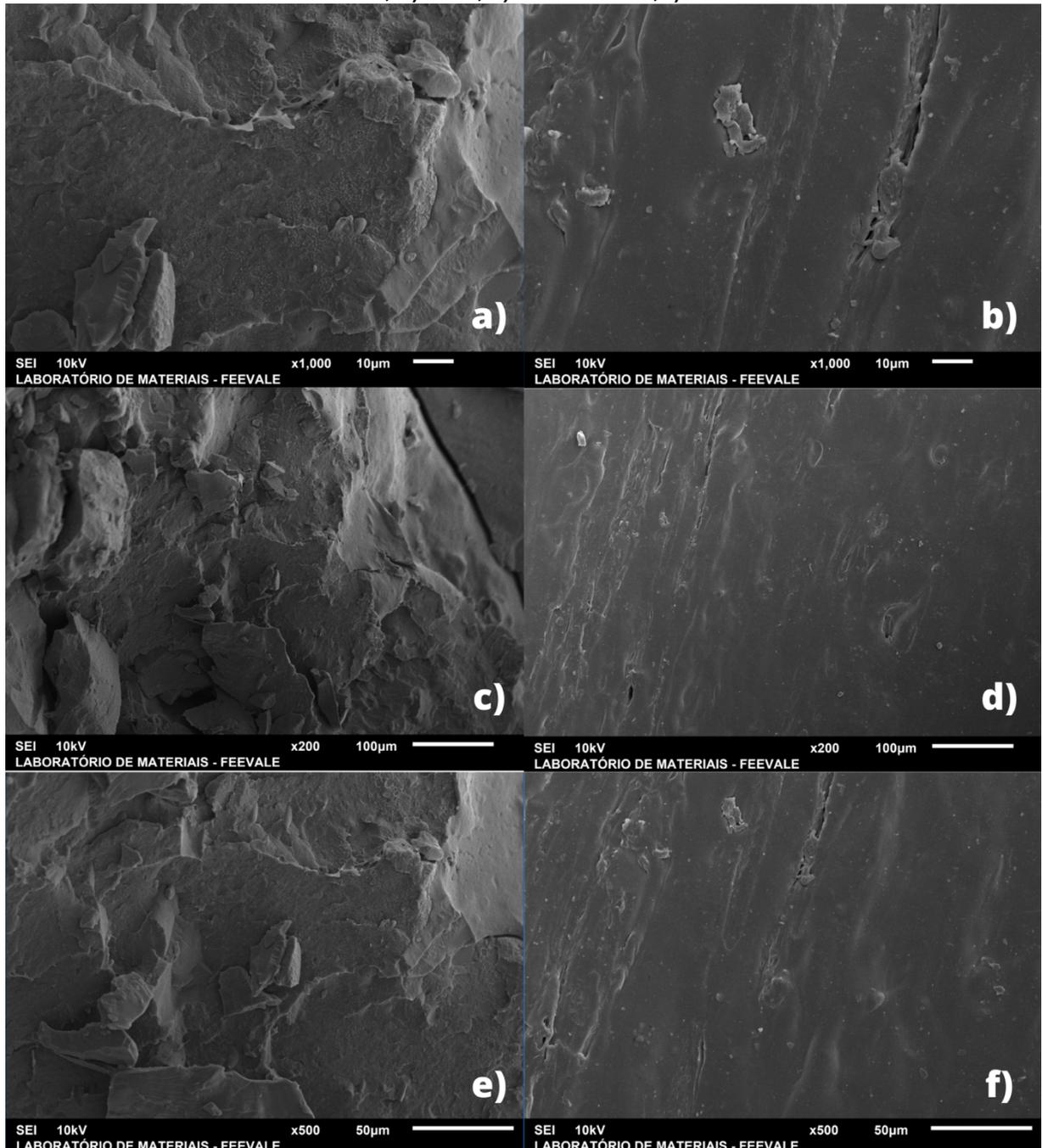


Fonte: Do autor, 2020

Na figura 15 é possível inferir que a medida que o teor de PEAD aumenta, a peça fica mais uniforme, provavelmente devido ao baixo ponto de fusão do PEAD, quando comparado ao PET.

Na figura 16 a blenda analisada é composta por 80%PET e 20%PEAD.

Figura 16 - Micrografia da blenda de 80% PET x 20% PEAD: a) 1000x Fratura; b) 1000x; c) 200x Fratura; d) 200x; e) 500x Fratura; f) 500x



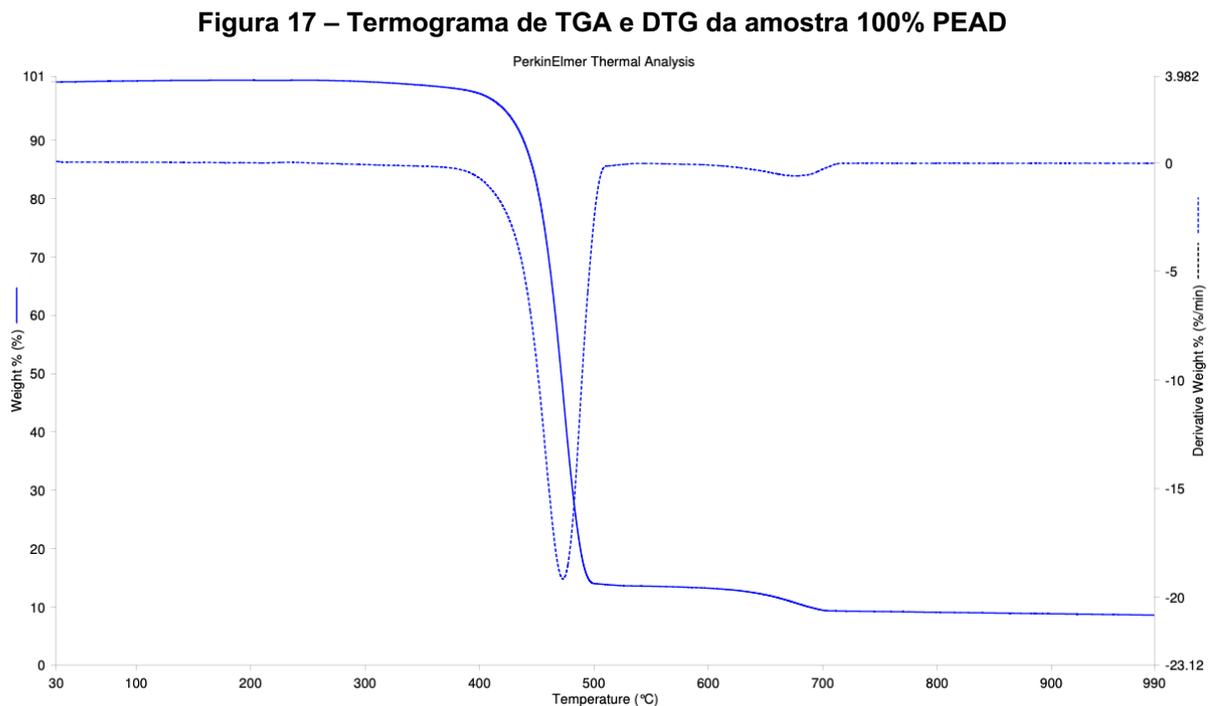
Fonte: Do autor, 2020

Quando comparadas as micrografias das blendas, o aumento do percentual de PET sobre PEAD, transforma as amostras em mais frágeis, com os pontos de ruptura (fratura) menos lineares. Isso também ficou evidente nos testes de tração e alongamento que serão apresentados a seguir.

As análises das micrografias corroboram com os estudos de Gabriel, (2016) que também não apresentaram nenhum tipo de domínio esférico que pode caracterizar fases dispersas sobre as matrizes utilizadas.

Os ensaios realizados por Bettanin (2020) encontram partículas com boa dispersibilidade e com tamanhos de 1 μm , características que conferem uma boa compatibilidade entre fases, e também demonstram uma boa miscibilidade, com fases menos distinguíveis e superfícies suaves e homogêneas.

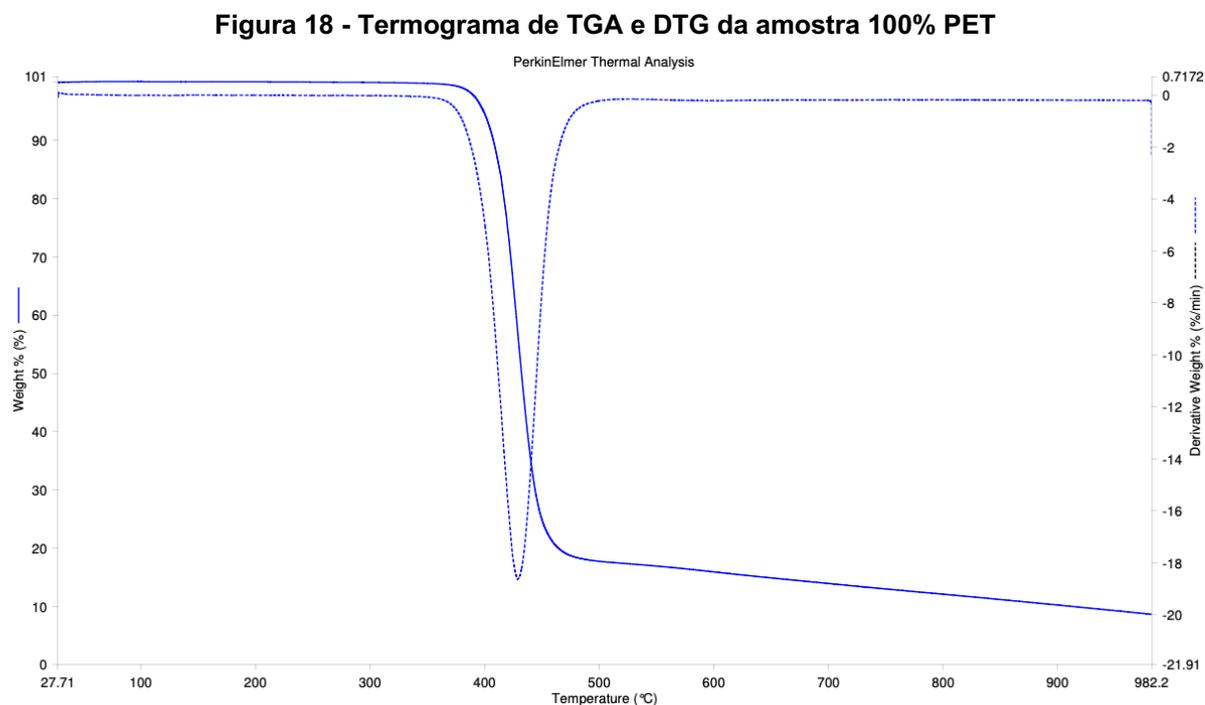
O termograma (TGA) e sua derivada (DTG) foram realizadas com o objetivo de verificar a perda de massa e a estabilidade térmica das amostras em ambiente inerte. A figura 17 apresenta o TGA e DTG da amostra composta por 100% PEAD, que obteve 90% de sua massa consumida com o aumento da temperatura a partir de 473,08 $^{\circ}\text{C}$.



Fonte: Do autor, 2020

Segundo autor Furtado et al., (2020), que em seu trabalho constatou que a matriz de PEAD não apresenta perda de massa entre 30 e 200 $^{\circ}\text{C}$ e sua degradação inicia em um único estágio, de 350 $^{\circ}\text{C}$ -500 $^{\circ}\text{C}$, com temperatura máxima de 434 $^{\circ}\text{C}$, enquanto que a degradação do compósito com 20% de fibra na matriz degradou-se com menor intensidade, corroborando com a perda de massa das misturas analisadas.

Analisando-se o termograma e DTG da figura 18 realizada na amostra composta por 100% PET, observa-se que a massa do PET diminuiu em 90% com o aumento da temperatura e começou a decomposição em 428,81°C.



Fonte: Do autor, 2020

De maneira a facilitar a leitura, os resultados das demais análises estão apresentados na Tabela 3 e as demais curvas de TGA e DTG encontram-se no Apêndice A.

Tabela 3 - Temperaturas características e perda de massa dos eventos observados nas curvas de TGA

Amostra	Tonset (°C)	Tendset (°C)	Tmid (°C)	Δm (%)
100% PEAD	415,73	497,42	470,12	91,892
100% PET	394,81	491,23	452,34	84,882
20% PET x 80% PEAD	507,02	558,62	529,78	74,224
40% PET x 60% PEAD	453,10	529,33	490,27	79,763
50% PET x 50% PEAD	458,41	529,02	491,62	76,957
60% PET x 40% PEAD	486,60	541,44	510,79	90,336
80% PET x 20% PEAD	457,89	520,33	490,43	84,432

Fonte: Do autor, 2020

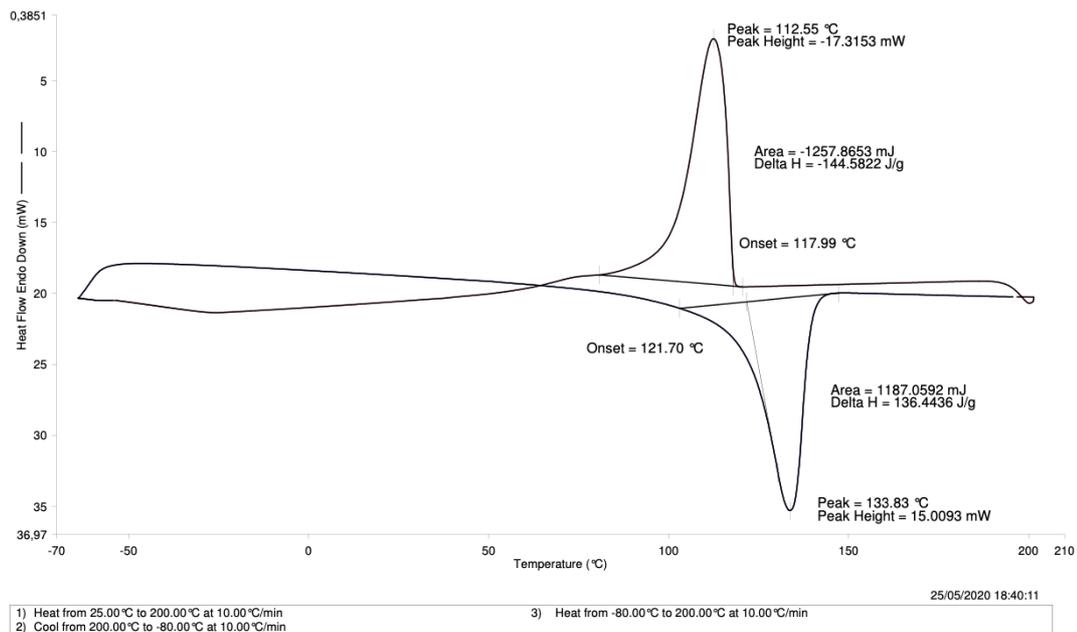
Ao se analisar a tabela 3, percebe-se que a amostra 20%PET x 80% PEAD obteve a menor perda de massa, enquanto a mistura 60%PET x 40% PEAD obteve a maior perda. A amostra 40%PET x 60% PEAD obteve a menor temperatura de início (*Tonset*) e a mistura 20% PET x 80% PEAD a maior. Já a maior temperatura de término do ciclo de perda de massa (*Tend*) ficou para a mistura 20% PET x 80% PEAD, enquanto a menor ficou para a mistura 80% PET x 20% PEAD.

Os autores Firmino et al., (2017), que em seu trabalho constataram que as temperaturas de início da decomposição (*Tonset*) dos compósitos foram maiores do que a do PEAD puro, além de corroborar com os ensaios realizados, constataam que esse comportamento sugere que a adição de partículas aumentou a temperatura de início da degradação do PEAD, ou seja, os compósitos foram mais estáveis.

As temperaturas iniciais e finais de degradação do PET foram inferiores àquelas encontradas para o PEAD, indicando que o PET apresenta menor resistência térmica e corroborando com Chen et al (2018).

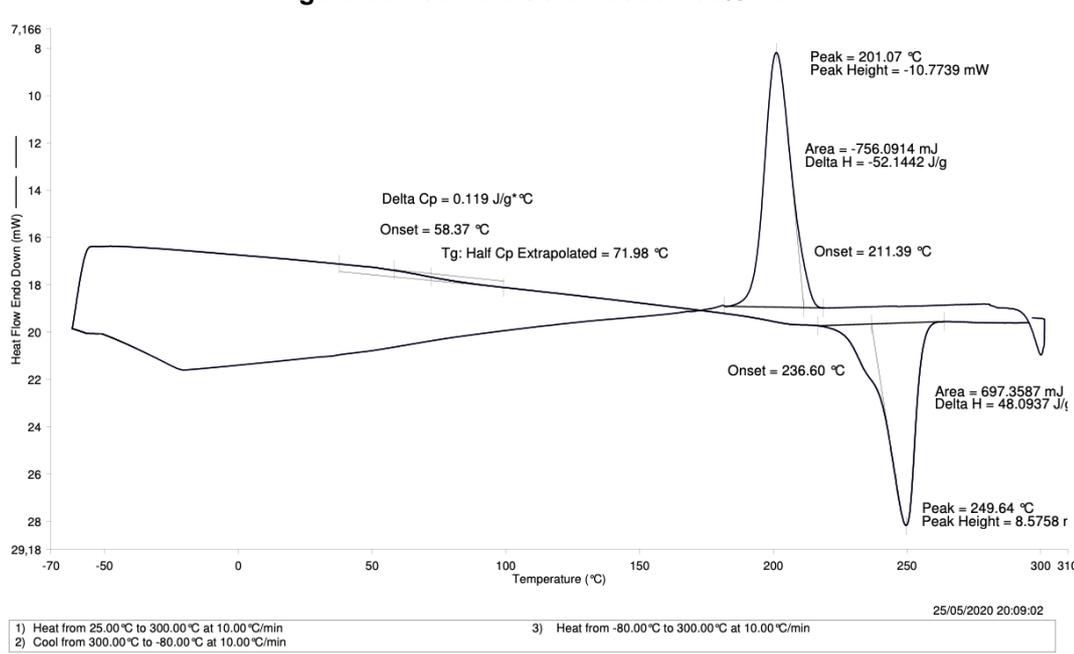
O comportamento térmico das amostras foi avaliado através do DSC, no qual as temperaturas de transição térmica foram analisadas. A figura 19 mostra a curva DSC da amostra composta por 100% PEAD e a figura 20 mostra a curva da amostra composta por 100% PET.

Figura 19 - Curva DSC amostra 100% PEAD



Fonte: Do autor, 2020

Figura 20 - Curva DSC amostra 100% PET



Fonte: Do autor, 2020

De acordo com as curvas obtidas, pode-se observar que as mudanças químicas na cadeia polimérica do PEAD ocorrem para temperaturas acima de 112,55°C, enquanto no PET ocorrem para temperaturas acima de 201,07°C, conforme observado por Lavoie et al., (2020).

Na tabela 4 estão apresentadas as propriedades térmicas do PEAD, do PET e das misturas. As propriedades apresentadas são: temperatura de cristalização (T_c), entalpia de cristalização (ΔH_c), temperatura de fusão (T_m) e entalpia de fusão (ΔH_m). As demais curvas DSC encontram-se no Apêndice B desta dissertação.

Tabela 4 - Parâmetros obtidos a partir da curva DSC para as amostras

Amostra	T_c (°C)	ΔH_c (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)
100% PEAD	112,55	-144,5822	133,83	136,4436
100% PET	201,07	-52,1442	249,64	48,0937
20% PET x 80% PEAD	116,87	-72,5154	129,84	71,7499
40% PET x 60% PEAD	117,37	-57,3384	129,33	60,6158
50% PET x 50% PEAD	116,16	-79,4834	130,58	77,8610
60% PET x 40% PEAD	115,73	-62,8845	127,15	67,2700
80% PET x 20% PEAD	115,90	-21,1344	128,82	20,6464

Fonte: Do autor, 2020

De acordo com os valores obtidos na tabela 4 a temperatura de cristalização (T_c) teve pouca variação entre misturas, corroborando com Majeed et al., (2018) e com Líbano et al (2019), tendo seu maior valor na amostra que é composta por 100% PET. A entalpia de cristalização (ΔH_c) obteve o menor resultado na amostra composta de 100%PEAD e a temperatura de fusão (T_m) se mostrou mais alta na amostra composta de 100% PET. A última propriedade medida foi a entalpia de fusão (ΔH_m) que apresentou seu maior valor na amostra composta por 100%PEAD.

O termograma obtido nos ensaios de TGA/DTG apresenta duas etapas de decomposição, iniciando a primeira em 460°C e também corroborando com Lavoie et al., (2020).

As curvas DSC do PEAD puro também corroboram com os ensaios realizados por Firmino et al., (2017), que demonstram os valores de entalpia de fusão ($140,16 \pm 3,55\text{J/g}$), grau de cristalinidade ($48,16 \pm 3,53\%$) e a temperatura de fusão ($136,18 \pm 3,34 \text{ }^\circ\text{C}$).

A medida e a análise da propriedade de dureza das amostras foram realizadas em durômetro Shore A e a Tabela 5 mostra os resultados obtidos.

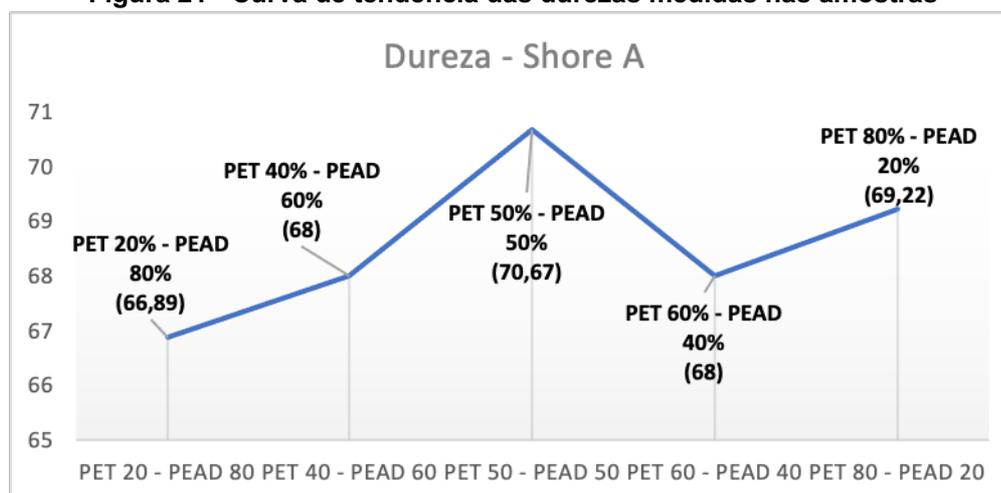
Tabela 5 - Dureza Shore A das formulações com PET e PEAD

Amostra	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9	Média Pontos
PET 20 - PEAD 80	68	68	65	66	66	66	67	67	69	66,89
PET 40 - PEAD 60	72	70	70	70	68	65	65	66	66	68,00
PET 50 - PEAD 50	70	69	71	69	70	75	69	71	72	70,67
PET 60 - PEAD 40	72	70	70	70	68	65	65	66	66	68,00
PET 80 - PEAD 20	70	68	68	68	67	72	70	69	71	69,22

Fonte: Do autor, 2020

O gráfico da Figura 21 mostra os diferentes tipos de blendas analisados conforme suas misturas em relação a dureza média medida.

Figura 21 - Curva de tendência das durezas medidas nas amostras



Fonte: Do autor, 2020

O gráfico da figura 21 evidencia a menor dureza para a blenda PET 20% x 80% PEAD, enquanto a maior dureza foi estipulada na blenda composta por PET 50% x 50% PEAD. As durezas foram similares para misturas de percentuais 40-60%.

Nos ensaios realizados por Romão, Spinacé e De Paoi, (2009), o PET pós-consumo apresentou um menor valor de dureza em decorrência dos processos degradativos ocasionados pelo seu reprocessamento e conseqüentemente a quebra da cadeira. Nos ensaios de Pereira, Mendes e Ramos, (2010) a incorporação do PET pós-consumo nas misturas promoveu um aumento nos valores de dureza em comparação a matriz de PEAD virgem.

Os ensaios de resistência a tração e alongamento foram realizados com o objetivo de fornecer dados relativos à capacidade das amostras de suportar as solicitações aplicadas aos corpos de prova.

A Tabela 6 apresenta as médias dos principais dados dos demais ensaios e as curvas de resistência a tração e alongamento podem ser encontradas no Apêndice C desta dissertação.

Tabela 6 – Parâmetros Obtidos a Partir dos Ensaios de Resistência a Tração e Alongamento

Amostra	Pico (N)	Desl. (mm)	Along (%)
20% PET x 80% PEAD	211,65	6,93	13,86
40% PET x 60% PEAD	124,30	20,45	40,9
50% PET x 50% PEAD	101,98	4,23	8,46
60% PET x 40% PEAD	123,27	9,46	18,92
80% PET x 20% PEAD	31,69	6,25	12,5

Fonte: Do autor, 2020

Verifica-se uma maior resistência a tração e alongamento na amostra 20%PET e 80%PEAD e uma menor resistência na amostra composta por sua maioria de PET, ou seja 80%PET e 20%PEAD, esses resultados corroboram com as análises efetuadas por Gabriel (2016) que possuem um aumento na tensão limite de escoamento a medida que o teor de PEAD na blenda é maior.

Os corpos de prova com maior teor de PEAD demonstraram uma maior resistência a tração e alongamento, corroborando com Siqueira et al., (2016), que conferiu ao material um comportamento mecânico satisfatório, logo, uma maior aplicabilidade para o mesmo.

Após a realização de todos os ensaios, foi definido como mistura ideal para utilização comercial e para a confecção de novos produtos, de acordo com as propriedades, a mistura 20%PET x 80% PEAD por sua maior resistência a tração e alongamento, maior temperatura de cristalização e maior temperatura de início segundo os testes de TGA e DSC dentre as amostras analisadas.

Os autores Nazário et al., (2016), demonstraram que é possível reutilizar resíduos e rejeitos que seriam desperdiçados como uma alternativa mais sustentável para criar um produto com impactos econômicos e sociais, como a madeira plástica. Também foi possível destacar que esses tipos de materiais são muito importantes para a preservação do meio ambiente e uma excelente solução para o reaproveitamento de materiais que seriam descartados, além de uma grande contribuição com a sociedade.

Países como a China e os Estados Unidos comprovaram a utilidade dos compósitos de madeira plástica confeccionadas a partir de polímeros reciclados através da sua produção e comercialização com o resto do mundo. A mistura de um termoplástico (como PP, PET e PEAD) com resíduos de madeira (como serragem e

fibras) possibilita a confecção de diversos produtos que podem ser comercializados mundialmente como cadeiras, bancos de jardim, decks modulares, dormentes para trilhos, reduzindo a disseminação do plástico no meio ambiente e aumentando a vida útil de aterros sanitários. (KIELING; SANTANA; SANTOS, 2019)

De maneira a comprovar a possibilidade de utilização da blenda para compor produtos e testar as propriedades acordadas com diversos autores, foi testada a fluidez da mistura utilizando os mesmos parâmetros determinados na metodologia para a injetora ao se confeccionar 6 cabides, conforme figura 22, cujo molde estava disponível no laboratório de reciclagem da FEEVALE.

Figura 22 - Cabides confeccionados com a blenda desenvolvida



Fonte: Do autor, 2021

Com os cabides confeccionados foi possível testar a fluidez da blenda quando utilizada nos moldes da injetora, onde a blenda se mostrou como uma possível alternativa para a confecção de produtos com valor agregado que possibilitam a reinserção de materiais reciclados no mercado como uma maneira alternativa de agregar valor aos resíduos que hoje são descartados.

5. CONCLUSÃO

Ao final do trabalho, foi possível concluir o desenvolvimento de uma blenda de resíduos de PEAD e PET para uso comercial conforme estabelecido no objetivo geral. Também foi possível testar diferentes proporções de misturas entre o PEAD e o PET e avaliar as diferentes características, mecânicas, químicas, estruturais e morfológicas dos materiais reciclados e das misturas testadas.

De acordo com as propriedades medidas, foi estabelecido que a mistura composta por 80% de PEAD e 20% de PET cumpriu com os requisitos necessários para ser utilizada com fins comerciais e para comprovar isso, foi possível confeccionar cabides com propriedades mecânicas satisfatórias. Dessa forma, comprovou-se a viabilidade de utilização da blenda desenvolvida para a produção de produtos como cabides, vasos injetados, espátulas, entre outros.

Vale ressaltar a importância deste trabalho como uma alternativa para as dezenas de milhões de toneladas de resíduos que são descartados e inutilizados por má gestão, falta de opção ou tecnologia. Devemos nos posicionar para aumentar os incentivos sobre os produtos reciclados de maneira a facilitar a reinserção dos mesmos no mercado, inclusive cobrando daqueles que produzem sem um pensamento coletivo e sustentável, aproveitando a economia circular e reaproveitamento de materiais.

Os números trazidos por essa pesquisa são preocupantes e cabe a nós enfrentar esse problema antes que seja tarde. O mundo pede socorro com os oceanos cada vez mais infestados de resíduos plásticos e espécies animais sofrendo as consequências da irracionalidade dos seres humanos em conjunto com a incapacidade de gestão de resíduos dos gestores e governantes.

Polímeros são materiais que podem ser reutilizados e reaproveitados de maneira a retornar a cadeia produtiva gerando empregos e produtos com alto valor agregado. Para o fim deste trabalho a blenda foi criada por meio de produtos extraídos em sua forma de consumo, que seriam descartados, e foi possível ressignificar cerca de 46 sacolas plásticas e 14 garrafas PET de 330 mL que seriam descartadas em aterros, cidades ou oceanos, transformando-as em um produto de valor agregado que alimenta toda uma cadeia e possibilita oportunidades para diversas famílias e pessoas envolvidas com esses processos.

6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros é possível desenvolver produtos passíveis de comercialização com a utilização da mistura escolhida realizando os devidos testes de acordo com as normas semelhantes vigentes. Um exemplo disso pode ser a confecção de uma telha composta pela blenda desenvolvida que utilize como referência as normas vigentes ABNT NBR 16737-1:2019 e ABNT NBR 16737-2:2019, que dizem respeito às telhas de policloreto de vinila (PVC) para telhado, abordando os requisitos de desempenho e métodos de ensaio na parte 1 e a padronização e os requisitos específicos na parte 2.

Também é possível entender quais outros produtos podem ser confeccionados de acordo com as diferentes características apresentadas por cada mistura, aproveitando-as de acordo com a aplicabilidade de cada produto.

REFERÊNCIAS

ABIPET. Censo de Reciclagem do PET no Brasil. **Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens**, 2017.

ABIPLAST. Relatório de atividades 2018. 2018.

ABRELPE. Panorama Dos Sólidos. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**, p. 68, 2019.

ACCORSI, R. J. M. AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM DE PORTO ALEGRE/RS. **Dissertação de Mestrado - Programa de Pós Graduação em Políticas Públicas UFRGS**, 2018.

AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. [s.l: s.n.].

BETTANIN, A. **INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS NA PERFORMANCE DE FILMES MULTICAMADAS PÓS-CONSUMO RECICLADOS MECANICAMENTE**. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2020.

BIMESTRE, B. H.; SARON, C. Recuperação de propriedades de rejeitos de pet por meio de extrusão reativa com extensores de cadeia. v. 15, n. 5, p. 252–260, 2014.

BRASIL. Lei N° 12.305 de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Diário Oficial da União**, p. 1–21, 2010.

BRASKEM. **Braskem lança novo conceito de resina reciclada no evento internacional Sustainable Brands**. Disponível em: <<https://www.braskem.com.br/detalhe-noticia/braskem-lanca-novo-conceito-de-resina-reciclada-no-evento-internacional-sustainable-brands>>. Acesso em: 4 jun. 2021.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 9. ed. [s.l: s.n.].

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros**. 2. ed. [s.l: s.n.]. v. 1

CARDARELLI, F. **Materials Handbook: A Concise Desktop Reference. Materials Handbook**, 2018.

CEMPRE. **PESQUISA CICLOSOFT 2020 - PANORAMA DA COLETA SELETIVA E DA LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS**.

CHEN, S. C. et al. **An investigation and comparison of the blending of LDPE and PP with different intrinsic viscosities of PETPolymers**, 2018.

CONKE, L. S.; DO NASCIMENTO, E. P. Selective waste collection in Brazil: Comparing reports and research methodologies. **Urbe**, v. 10, n. 1, p. 199–212, 2018.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 1–13, 2003.

DE ANDRADE, M. F. C. **ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO POLI(ADIPATO-CO-TEREFTALATO DE BUTILENO) PELO ISOLADO PROTEICO DE SORO DE LEITE: INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS DE FONTES RENOVÁVEIS EM BLENDA POLIMÉRICAS**. [s.l: s.n.]. v. 8

DE SOUZA MACHADO, A. A. et al. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1405–1416, 2018.

FIRMINO, H. C. T. et al. Caracterização de compósitos particulados de polietileno de alta densidade/pó de concha de molusco. **Revista Materia**, v. 22, n. 4, 2017.

FURTADO, J. B. D. M. et al. Polyethylene/fiber composite - characterization and degradation. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 272–285, 2020.

GABRIEL, L. **Preparação, irradiação e caracterização de blendas PEAD reciclado/EPDM.** [s.l: s.n.].

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production , use , and fate of all plastics ever made. n. July, p. 25–29, 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, I. World Energy Outlook SUMÁRIO Brazilian Portuguese Translation. **International Energy Agency**, p. 14, 2018.

IPEA, I. DE P. E. A. A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da Economia Solidária. **Texto para discussão**, p. 56, 2017.

JAMBECK, J. et al. the Ocean : the Ocean : **Marine Pollution**, v. 347, n. 6223, p. 768- , 2015.

KAZA, S.; BHADA-TATA, P. Decision Maker's Guides for Solid Waste Management Technologies. **Decision Maker's Guides for Solid Waste Management Technologies**, 2018.

KIELING, A. C.; SANTANA, G. P.; SANTOS, M. C. DOS. Compósito de madeira plástica: Considerações Gerais. **Scientia Amazonia**, v. 8, p. B1–B14, 2019.

KOSUTH, M.; MASON, S. A.; WATTENBERG, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. **PLoS ONE**, v. 13, n. 4, p. 1–18, 2018.

LAVOIE, F. L. et al. DURABILITY of HDPE GEOMEMBRANES: AN OVERVIEW. **Quimica Nova**, v. 43, n. 5, p. 656–667, 2020.

LEONARDY, B. L. S. Uma Revisão Para O Ensino Da Extrusão Do Polietileno De Alta Densidade (Pead). **Rev. Iberoam. Polímeros y Materiales**, v. 19, n. 4, p. 156–165, 2018.

LOUREIRO, H. C. **COMPATIBILIZAÇÃO DE BLENDA DE POLI(ADIPATO-co-TEREFTALATO DE BUTILENO) E AMIDO TERMOPLÁSTICO**. [s.l: s.n.].

MACEDO, T. C. P. DE. **PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA BLENDA POLI(METACRILATO DE METILA) (PMMA) COM PARTÍCULAS ELASTOMÉRICAS E POLICARBONATO (PC)**. [s.l: s.n.].

MAJEED, K.; AL ALI ALMAADEED, M.; ZAGHO, M. M. Comparison of the effect of carbon, halloysite and titania nanotubes on the mechanical and thermal properties of LDPE based nanocomposite films. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 26, n. 2, p. 428–435, fev. 2018.

MARIS, J. et al. Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. **Polymer Degradation and Stability**, v. 147, n. July 2017, p. 245–266, 2018.
MMA, M. DO M. A. **Compostagem Doméstica , Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos - Manual de Orientação**. [s.l: s.n.].

MURPHY, F. et al. Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 11, p. 5800–5808, 2016.

NAZÁRIO, G. F. et al. Madeira plástica: Uma revisão conceitual. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 01, p. 54–71, 2016.

PEREIRA, P. S. C.; MENDES, L. C.; RAMOS, V. D. Rheological study bringing new insights into PET/PC reactive blends. **Macromolecular Symposia**, v. 290, n. 1, p. 121–131, 2010.

PERON, C. C. As Contribuições Da Reciclagem Para O Desenvolvimento Sustentável: Estudo De Caso Na Cooperativa Dos Recicladores De Penápolis/Sp (Corpe) Claymen. **Universidade De Araraquara**, 2019.

RAGAERT, K.; DELVA, L.; VAN GEEM, K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. **Waste Management**, v. 69, p. 24–58, 2017.

ROCHA, E. R. a Viabilidade Econômica Sustentável Do Bloco Concreto Com Garrafa Pet 1. **Pengaruh Harga Diskon Dan Persepsi Produk Terhadap Nilai Belanja Serta Perilaku Pembelian Konsumen**, v. 7, n. 9, p. 27–44, 2015.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. Poly(ethylene terephthalate), PET: A review on the synthesis processes, degradation mechanisms and its recycling. **Polimeros**, v. 19, n. 2, p. 121–132, 2009.

SANTOS, C. M. A. DOS et al. Processo de reciclagem química de PET em meio alcalino: efeito da concentração do íon hidróxido, da cor do PET e do tempo de reação. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, 2018.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. et al. **Embalagens Plásticas Flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades**. 2nd. ed. [s.l.] Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2017.

SCHINAZI, G. **Compósitos de polietileno de alta densidade reforçados por nanopartículas de In₂W₃O₁₂**. [s.l.] Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, E. A. DA; CUNHA LINS, V. D. F.; COTTING, F. Processo De Moagem De Garrafas Pet Pós-Consumo. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 5, n. 1, p. 0033–0036, 2019.

SILVA, J. DE A. A. et al. Avaliação reológica de ligante modificado com politereftalato de etileno (PET). **Revista Materia**, v. 23, n. 1, 2018.

SILVA SANTOS, C. T. **Obtenção de blendas poliméricas a partir da reciclagem de sucatas de aparelhos celulares e polietileno de baixa densidade reciclado**. [s.l.: s.n.].

SIONKOWSKA, A. Current research on the blends of natural and synthetic polymers as new biomaterials: Review. **Progress in Polymer Science (Oxford)**, v. 36, n. 9, p. 1254–1276, 2011.

SIQUEIRA, A. C. T. et al. Avaliação Microestrutural e das Propriedades Mecânicas do Polietileno de Alta Densidade. p. 7–11, 2016.

SNIS - PAINEL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-residuos-solidos>>. Acesso em: 27 maio. 2021.

TEMITOPE, A. et al. A Pilot Recycling of Plastic Pure Water Sachets/Bottles into Composite Floor Tiles: A Case Study from Selected Dumping Site in Ogbomoso. **Journal of Material Science & Engineering**, v. 04, n. 06, 2015.

TORRES, A. A. U.; D'ALMEIDA, J. R. M.; HABAS, J. P. Avaliação do efeito de um óleo parafínico sobre o comportamento físico-químico de tubulações de polietileno de alta densidade. **Polimeros**, v. 20, n. 5, p. 331–338, 2010.

VERMA, R. et al. Toxic Pollutants from Plastic Waste- A Review. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 701–708, 2016.

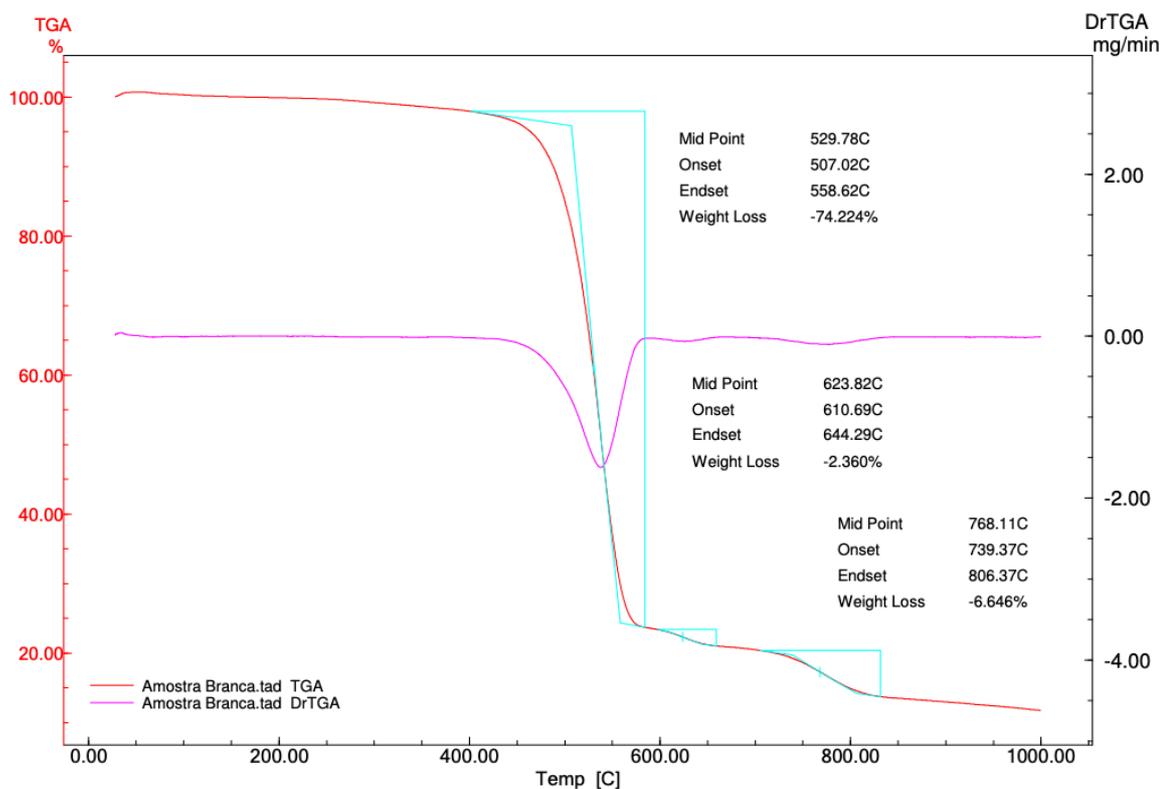
VIOL, J. B. **Estudo da esfoliação de nanofolhas de ferrititanato de estrutura lepidocrocítica com dimetildiocadecilamônio e sua aplicação em nanocompósitos de matriz polimérica.** [s.l.] Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

WANG, D. et al. A facile evaluation on melt crystallization kinetics and thermal properties of low-density polyethylene (LDPE)/Recycled polyethylene terephthalate (RPET) blends. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 2, n. 3, p. 126–135, 2019a.

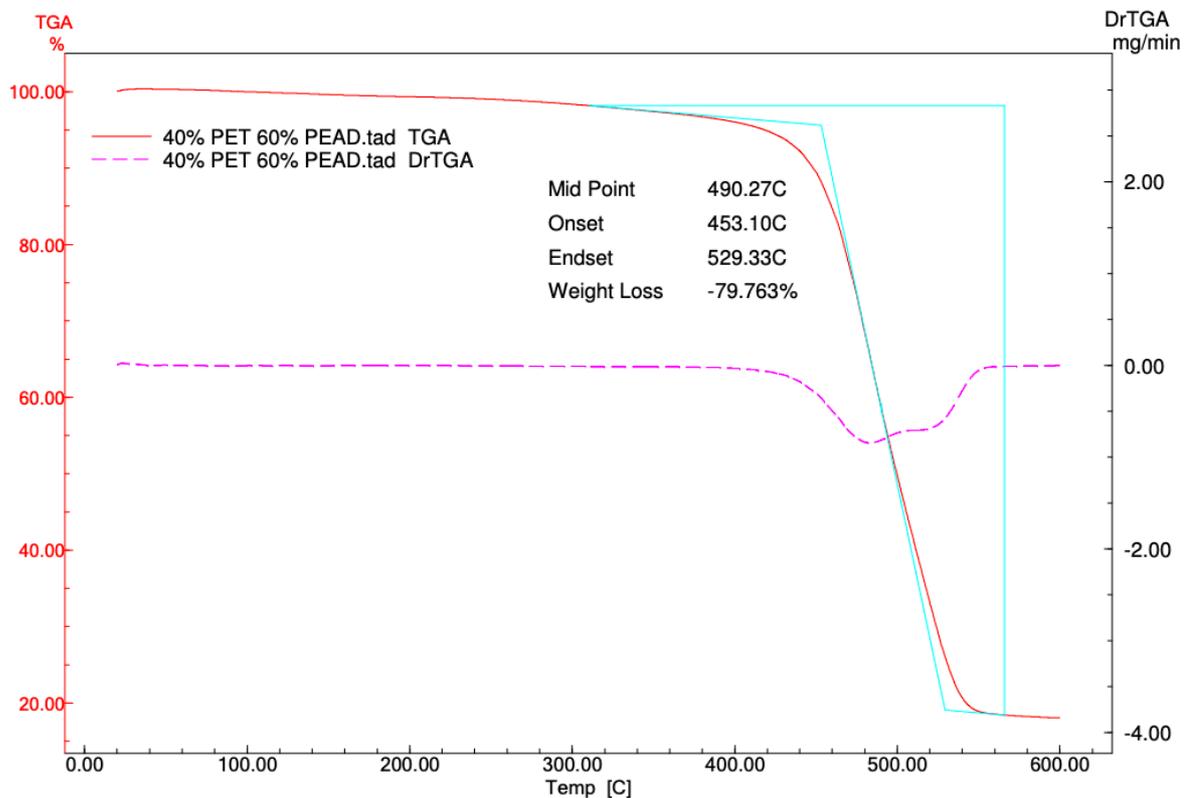
WANG, Y. et al. Zinc-catalyzed ester bond cleavage: Chemical degradation of polyethylene terephthalate. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1469–1475, 2019b.

APÊNDICE A

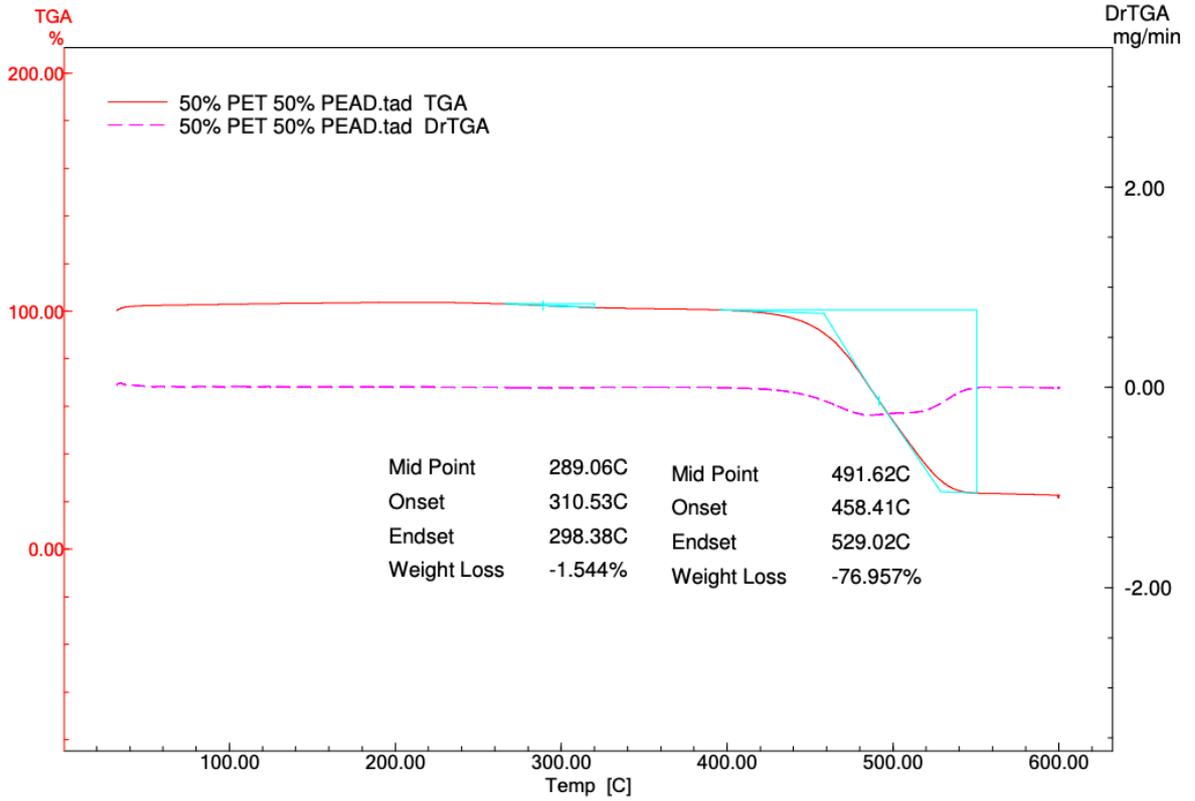
Curvas TGA e DTG amostra 20%PET x 80% PEAD



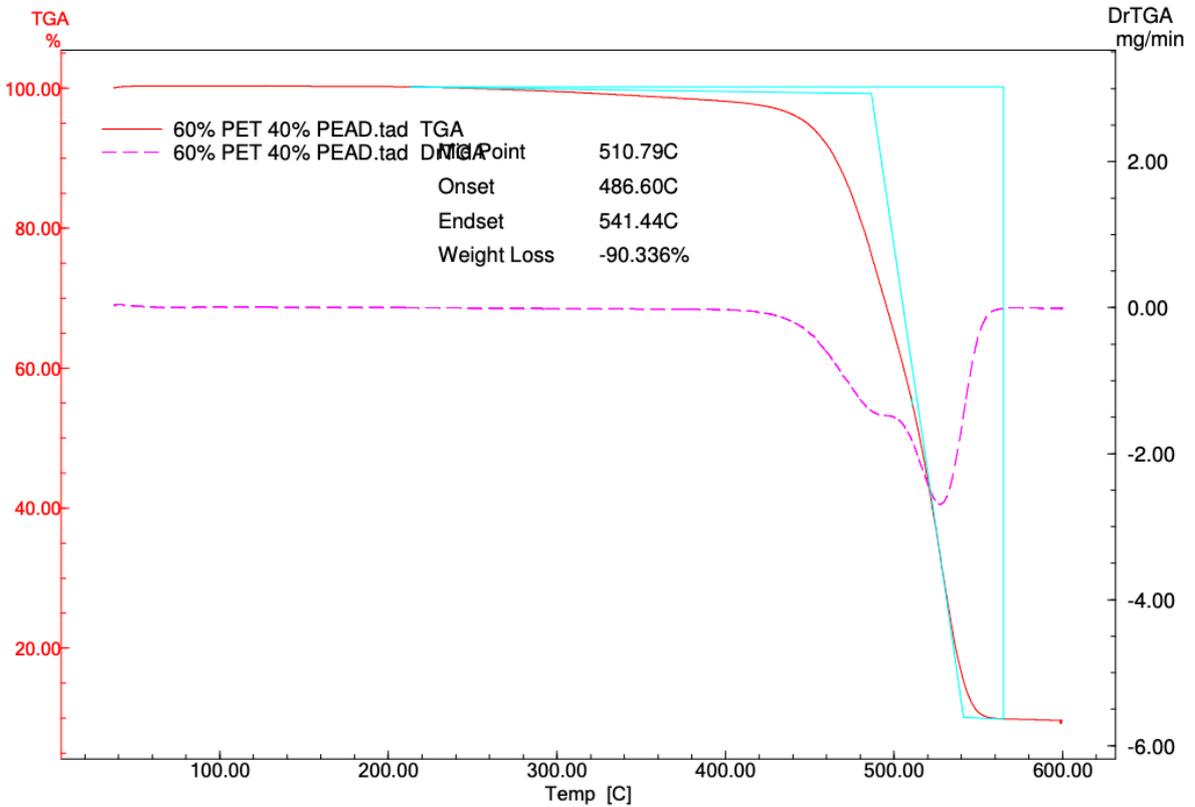
Curvas TGA e DTG amostra 40%PET x 60% PEAD



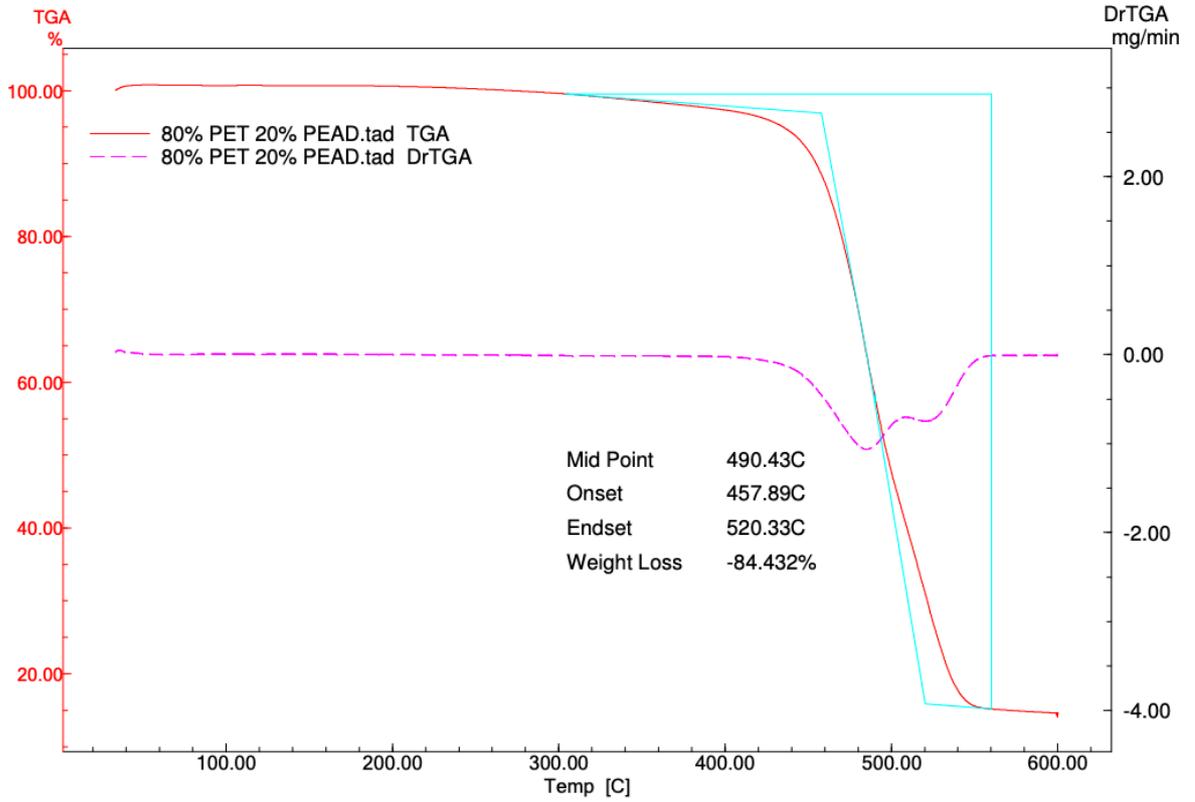
Curvas TGA e DTG amostra 50%PET x 50% PEAD



Curvas TGA e DTG amostra 60%PET x 40% PEAD

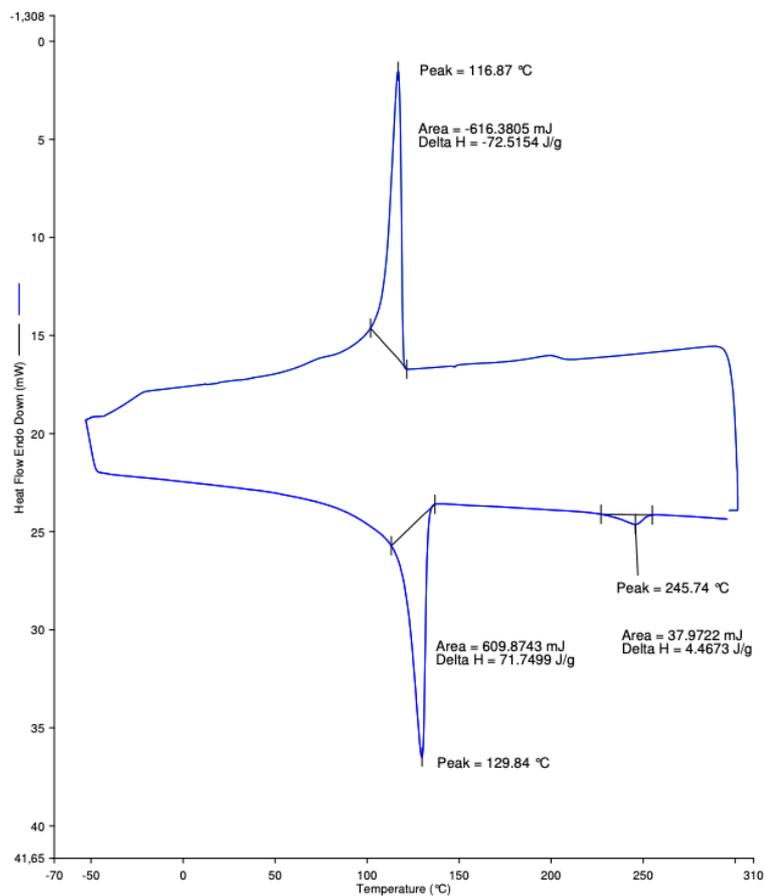


Curvas TGA e DTG amostra 80%PET x 20% PEAD

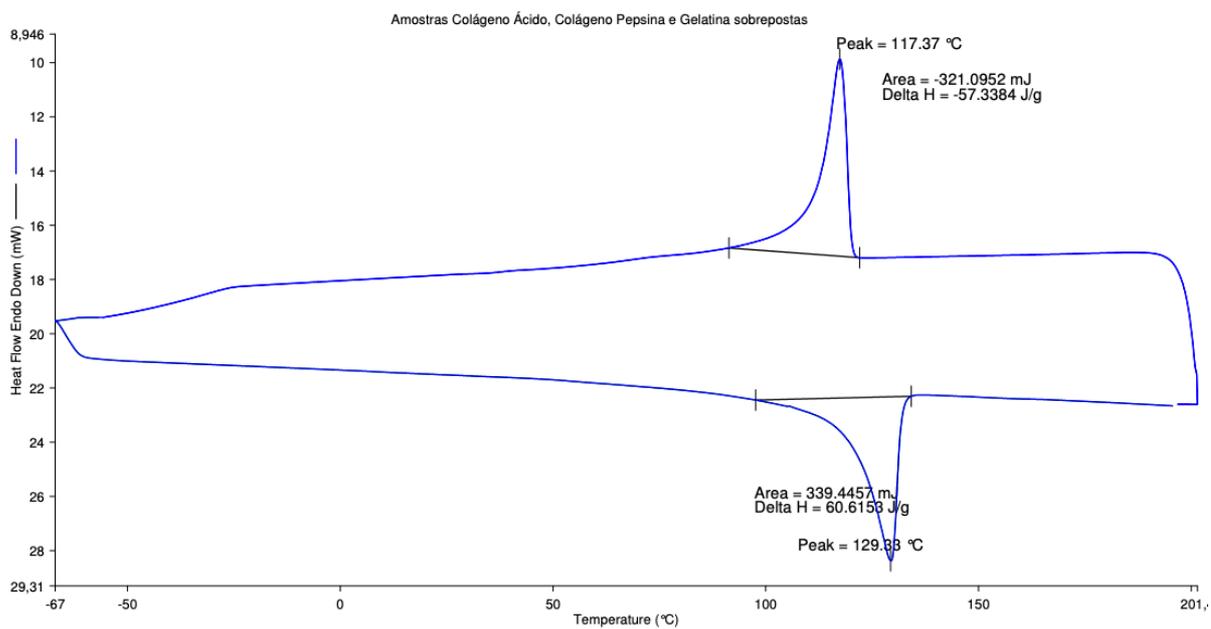


APÊNDICE B

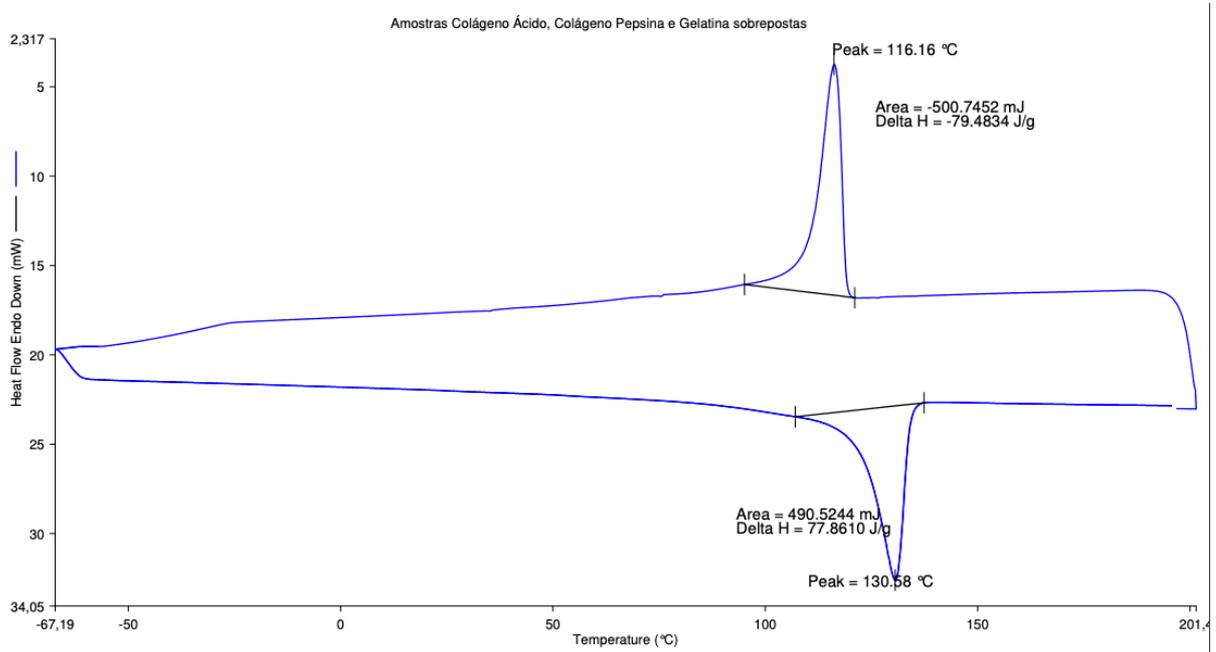
Curvas DSC amostra 20%PET x 80% PEAD



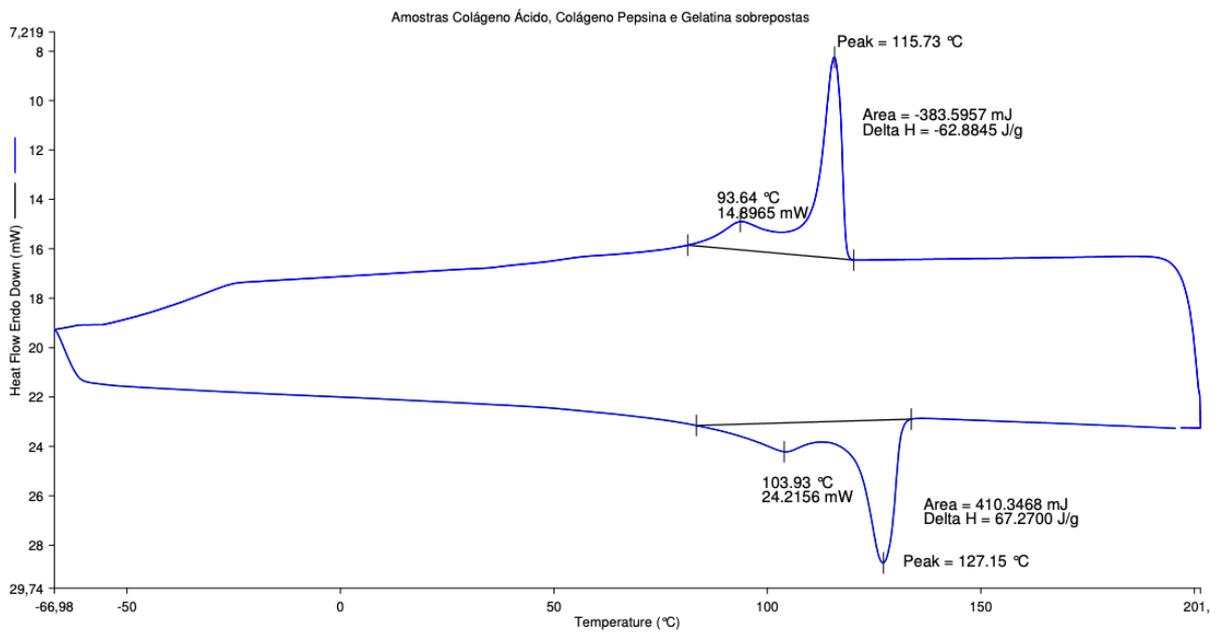
Curvas DSC amostra 40%PET x 60% PEAD



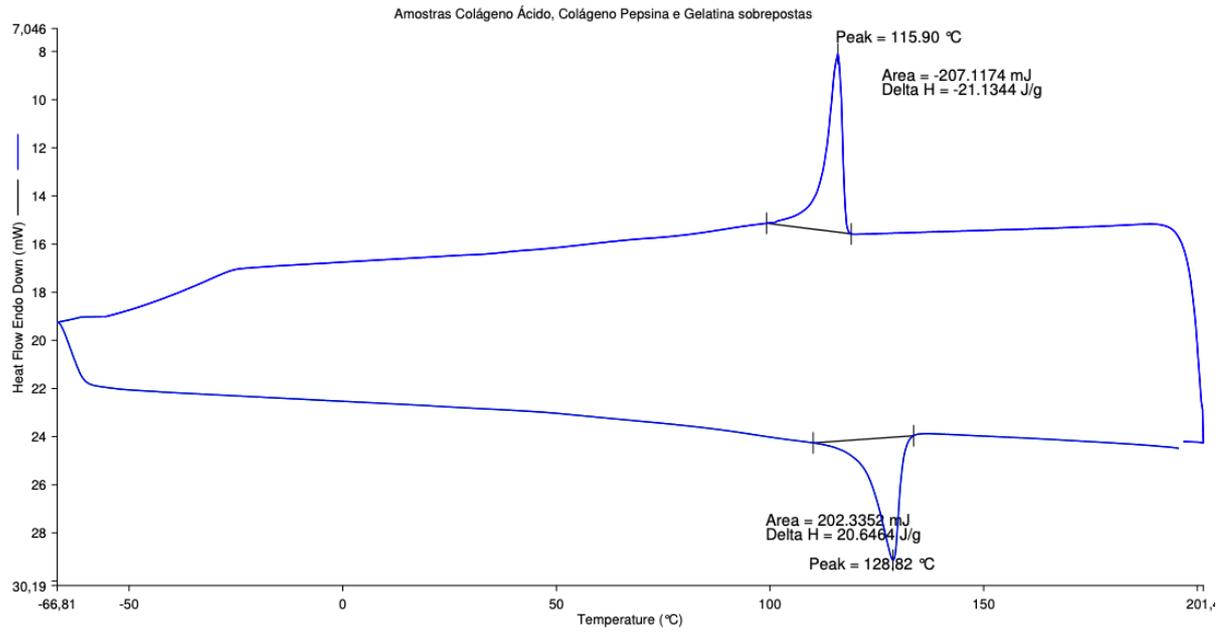
Curvas DSC amostra 50%PET x 50% PEAD



Curvas DSC amostra 60%PET x 40% PEAD



Curvas DSC amostra 80%PET x 20% PEAD



APÊNDICE C

Curva de resistência a tração e alongamento amostra 40%PET x 60% PEAD

Ensaio: Determinação da resistência à tração e alongamento

Material: PET 40 - PEAD 60

Umidade / Temperatura: % / °

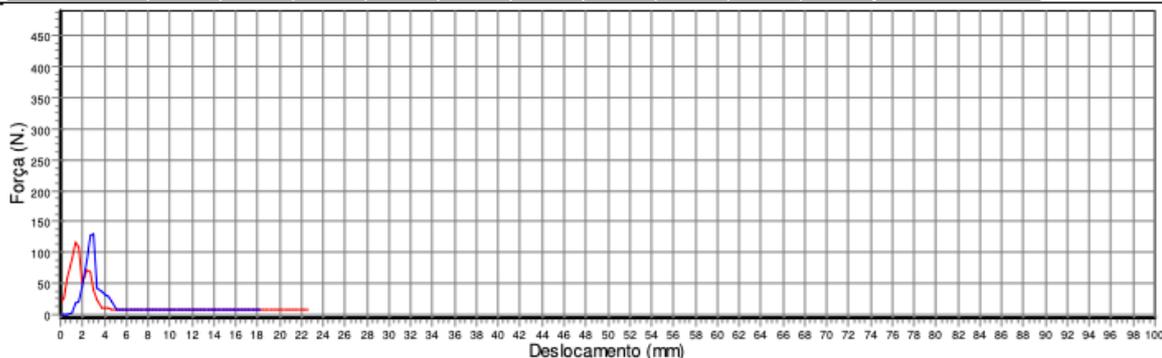
Cél. carga: 50 Kgf.

Desloc.: 100 mm.

Veloc.: 100 mm/min.

Unid. medida: N/mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores médios
Pico máximo	117,92	130,67									N.
Deslocamento	22,65	18,25									mm.
Largura											mm
Pico / Larg.											N/mm
Alongamento %	45,30	36,50									%



Curva de resistência a tração e alongamento amostra 50%PET x 50% PEAD

Ensaio: Determinação da resistência à tração e alongamento

Material: PET 50 - PEAD 50

Umidade / Temperatura: % / °

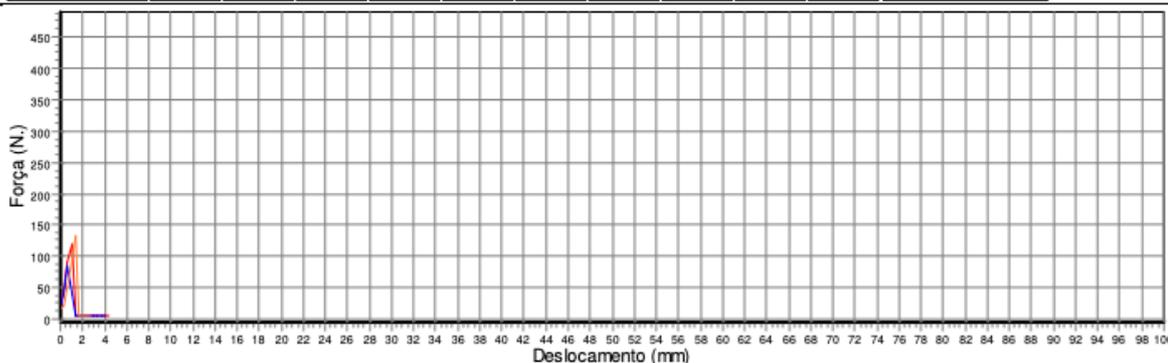
Cél. carga: 50 Kgf.

Desloc.: 100 mm.

Veloc.: 100 mm/min.

Unid. medida: N/mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores médios
Pico máximo	119,49	84,46	132,83								N.
Deslocamento	4,40	4,06	2,70								mm.
Largura											mm
Pico / Larg.											N/mm
Alongamento %	8,80	8,12	5,40								%



Curva de resistência a tração e alongamento amostra 60%PET x 40% PEAD

Ensaio: Determinação da resistência à tração e alongamento

Material: PET 60 - PEAD 40

Umidade / Temperatura: % / °

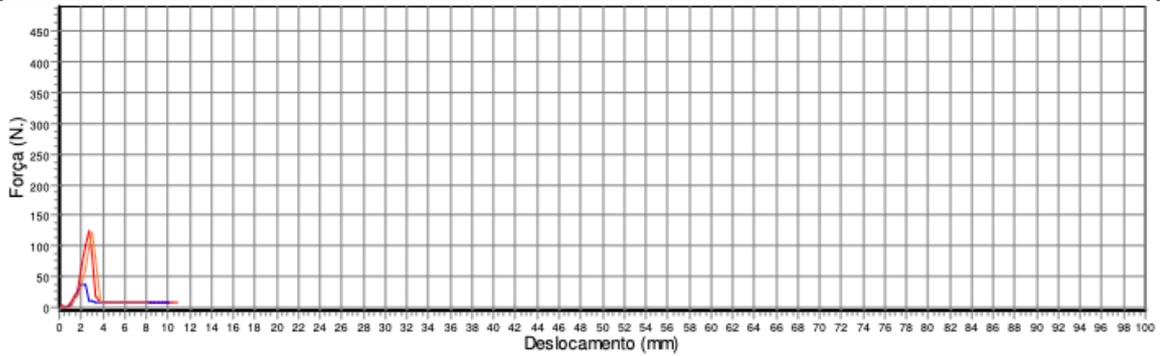
Cél. carga: 50 Kgf.

Desloc.: 100 mm.

Veloc.: 100 mm/min.

Unid. medida: N/mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores médios
Pico máximo	125,57	36,79	120,96								N.
Deslocamento	10,81	10,14	8,11								mm.
Largura											mm
Pico / Larg.											N/mm
Alongamento %	21,62	20,28	16,22								%



Curva de resistência a tração e alongamento amostra 80%PET x 20% PEAD

Ensaio: Determinação da resistência à tração e alongamento

Material: PET 80 - PEAD 20

Umidade / Temperatura: % / °

Cél. carga: 50 Kgf.

Desloc.: 100 mm.

Veloc.: 100 mm/min.

Unid. medida: N/mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Valores médios
Pico máximo	16,19	47,19									N.
Deslocamento	6,08	6,42									mm.
Largura											mm
Pico / Larg.											N/mm
Alongamento %	12,16	12,84									%

