

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

CAROLINE GABRIELA FERRAZZO BORGES DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO DE PET
E MDF COMO MATERIAL DE ENGENHARIA: ESTUDO
EXPLORATÓRIO**

DISSERTAÇÃO

**MEDIANEIRA
2019**

CAROLINE GABRIELA FERRAZZO BORGES DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO DE PET E
MDF COMO MATERIAL DE ENGENHARIA: ESTUDO
EXPLORATÓRIO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Edna Possan

**MEDIANEIRA
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Santos, Caroline Gabriela Ferrazzo Borges dos
Desenvolvimento de um compósito polimérico de pet e mdf como material de
engenharia: estudo exploratório / Caroline Gabriela Ferrazzo Santos. – Medianeira, 2019.
1 arquivo de texto (59 f):PDF/A ; 2,56 MB.

Orientador: Paulo Rodrigo Stival Bittencourt
Coorientadora: Edna Possan
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Medianeira, 2019.
Inclui bibliografias.

1.Compostos poliméricos. 2.Resíduos vegetais. 3. Tecnologias Ambientais -
Dissertações I. Bittencourt, Paulo Rodrigo Stival, orient. II. Possan, Edna, coorient. III.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias Ambientais. IV. Título.

Biblioteca da UTFPR - Câmpus Medianeira

Bibliotecária/Documentalista:
Marci Lucia Nicodem Fischborn – CRB-9/1219



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO DE PET E MDF COMO MATERIAL DE ENGENHARIA: ESTUDO EXPLORATÓRIO

Por

CAROLINE GABRIELA FERRAZZO BORGES DOS SANTOS

Essa dissertação foi apresentada às 14 horas, do dia 13 de setembro de dois mil e dezenove, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, Linha de Pesquisa Tecnologias de Tratamento e Valorização de Resíduos, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Prof. Dr. Paulo Rodrigo Stival Bittencourt (Orientador – PPGTAMB)

Prof.^a Dr.^a Edna Possan (Coorientadora – PPGTAMB)

Prof. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye (Membro Interno – UTFPR)

Prof. Dan Yushin Miyaji (Membro Externo – PTI - Parque Tecnológico Itaipu)

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa

*A minha família, em especial a minha filha Isis
que me deu forças para não desistir, e que
está chegando para trazer luz a minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia e amparo nas horas difíceis.

Agradeço ao meu esposo Ederson, por todo incentivo, apoio, paciência e carinho que teve comigo durante este período.

Aos meus pais, e irmã, por serem meu porto seguro.

Agradeço aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em especial ao meu orientador, professor Dr. Paulo Bittencourt pelo auxílio.

Agradeço a minha co-orientadora professora Dra. Edna Possan, por sempre estar disponível, pelo incentivo e por todos os ensinamentos passados. Por muitas vezes ser muito mais que uma co-orientadora.

Ao professor Dr. Fernando Scremim pela disponibilidade em ajudar nas análises, gráficos e resultados, e também pela paciência.

Aos técnicos do LADEMA (Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais) da UNILA, em especial a engenheira Dalila pela colaboração nos ensaios de degradação acelerada por UV.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que este trabalho fosse possível.

*Eu faço da dificuldade a minha
motivação. A volta por cima vem na
continuação.*

Charlie Brown Jr

RESUMO

SANTOS, Caroline G. F. B. **Desenvolvimento de um compósito polimérico de PET e MDF como material de engenharia: estudo exploratório**. 2019. 59 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

A gestão de resíduos sólidos é uma ferramenta fundamental para lidar com a elevada quantidade de resíduos gerados pelas atividades humanas. Os resíduos plásticos e madeiros que possuem características que dificultam seu descarte, necessitam de alternativas de tratamento que visem uma destinação sustentável. Frente a isso, o presente estudo buscou desenvolver um compósito polimérico a partir da reciclagem dos resíduos gerados pelo setor de embalagens da indústria plástica (PET, *Polyethylene terephthalate*, em língua inglesa) e moveleira (pó residual de MDF, *medium density fiber*, em língua inglesa), visando obter um compósito com rigidez superior a de materiais poliméricos. No estudo experimental foram avaliados os teores de adição de pó residual de MDF de 0%, 2,5%, 5% e 10% em matriz de PET. Fez-se também a seleção e caracterização dos materiais utilizados como matéria-prima (PET e pó residual de MDF), e após a produção do compósito, suas propriedades térmicas e mecânicas foram testadas a fim de verificar a possibilidade de aplicação do produto obtido como material de engenharia. O estudo indicou que é possível incorporar o pó residual de MDF em matrizes poliméricas de PET, podendo ser uma alternativa para o aproveitamento ecoeficiente de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Compósito polimérico, Reciclagem, Resíduos sólidos, Material de engenharia.

ABSTRACT

SANTOS, Caroline G. F. B. **Development of a polymeric composite of PET and MDF as engineering material: exploratory study.** 2019. 59 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

Solid waste management is a fundamental tool for dealing with the large amount of waste generated by human activities. Plastic and wood wastes that have characteristics that make it difficult to dispose of, require treatment alternatives aimed at sustainable disposal. Given this, the present study aimed to develop a polymer composite with the waste generated by the packaging industry of the plastics (PET, polyethylene terephthalate) and furniture (waste MDF, medium density fiber) to obtain a composite with greater rigidity than polymeric materials. In the experimental study, the contents of residual MDF powder addition of 0%, 2.5%, 5% and 10% in PET matrix were evaluated. It was also made the selection and characterization of the materials used as raw material (PET and MDF residual powder), and after the composite production, its thermal and mechanical properties were tested in order to verify the possibility of application of the product obtained as engineering material. The study indicated that it is possible to incorporate MDF residual powder into PET polymeric matrices, which may be an alternative for the eco-efficient use of solid waste.

Keywords: Polymeric composite, Recycling, Solid waste, Engineering material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura química do PET.	21
Figura 2 – Detalhe ilustrando a diferença visual entre painéis MDF e MDP.....	25
Figura 3 – Etapas da pesquisa.....	32
Figura 4 – Amostras peletizadas de PET-PCR.	33
Figura 5 – Pó residual de MDF após o peneiramento.	33
Figura 6 – Extrusora utilizada pra a confecção dos corpos de prova de compósito. .	34
Figura 7 – Corpos de prova do compósito de PET+ MDF.	35
Figura 8 – Ensaio de tração sendo realizado no texturômetro.	36
Figura 9 – Rompimento da amostra durante o ensaio de tração.....	36
Figura 10 – Posicionamento das amostras na câmara UV.....	37
Figura 11 – Amostras retiradas da câmara UV após 15 dias (360 horas).....	37
Figura 12 – Amostras retiradas da câmara UV após 30 dias (720 horas).....	38
Figura 13 – Espectro FTIR para PET e pó de MDF com bandas características.	38
Figura 14 – Análise TG para PET e pó de MDF.....	39
Figura 15 - Análise TG para PET e pó de MDF.....	41
Figura 16 – DTG para PET e pó de MDF.....	41
Figura 17 – Termograma DSC para amostra de PET e blendas.....	42
Figura 18 - – Gráfico de variação do módulo de Young dos compostos com adição de resíduo.	43
Figura 19 – Gráfico de tensão máxima dos compostos com adição de resíduo.	43
Figura 20 – Microscopias eletrônicas de varredura das blendas, A) PET PURO, B) PET/MDF 5% e C) PET/MDF 10%, 20 kv em amostra fraturada, com magnificação de 400x.....	44
Figura 21 – TG, DTG e DSC das amostras após 15 dias de exposição UV.....	45
Figura 22 – TG, DTG e DSC das amostras após 30 dias de exposição UV.....	46
Figura 13 – Espectro FTIR para compósitos após exposição a câmara UV.....	47
Figura 24 – Variação da tensão máxima nos compósitos pré e pós-envelhecimento.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições para Extrusão das Misturas PET/MDF.	34
Tabela 2. Variação do módulo de Young e máxima deformação em relação à adição de MDF.....	43
Tabela 3. Variação do módulo de Young após envelhecimento em câmara UV.....	48

LISTA DE SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Refletância total atenuada
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
FF	Fenol-formaldeído
FTIR	Espectrometria de absorção na região do infravermelho
LADEMA	Laboratório de Desempenho, Estruturas e Materiais
LADUR	Laboratório de Durabilidade
MDF	Painéis de fibra de média densidade
MDP	Painéis de partícula de média densidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MF	Melanina-formaldeído
OSB	Placas orientadas em fio
PCR	Resíduos de resina reciclada
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PP	Polipropileno
OS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
RF	Resorcinol-formaldeído
TGA	Análises termogravimétricas
TG	Termogravimetria
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
UF	Uréia-formaldeído
UV	Degradação Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	18
2.2 PET – POLI (TEREFTALATO DE ETILENO)	20
2.2.1. Reciclagem de PET	21
2.3 PAINÉS DE MADEIRA MDF	24
2.3.1 Reciclagem do MDF	25
2.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS	27
2.4.1 Caracterização de compósitos poliméricos	28
3 OBJETIVOS	31
3.1 OBJETIVO GERAL	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	32
4.2 PRODUÇÃO DO COMPÓSITO	33
4.3 ANÁLISES TÉRMICAS, MECÂNICAS E DE DEGRADAÇÃO DO COMPÓSITO	35
4.3.1 Análise termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial	35
4.3.2 Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FTIR)	36
4.3.3 Ensaios de Tração Mecânica	36
4.3.4 Ensaios de degradação UV	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PET E DO PÓ DE MDF	38
5.2 EFEITO DA ADIÇÃO DE MDF	40
5.2.1 Análise térmica	40
5.2.2 Análise mecânica	42

5.2.3 Análise morfológica	44
5.3 EFEITO RADIAÇÃO UV	45
6 CONCLUSÃO	50
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos figuram como um tema de grande evidência nas discussões sobre o meio ambiente, sobretudo em grandes centros urbanos. Estudos científicos relacionados à gestão de resíduos sólidos intensificaram-se a partir do início dos anos 70, e vem sendo desenvolvidos com enfoques variados que vão desde o desenvolvimento tecnológico do processamento de resíduos, geração ao descarte; até as implicações sociais derivadas da má gestão, como pobreza e condições sanitárias precárias (BERTHIER, 2003).

Tais estudos têm contribuído para o progresso tecnológico na gestão dos resíduos sólidos de modo a maximizar a reutilização e reciclagem dos mesmos e promover a consciência ecológica da comunidade (BERTHIER, 2003). Essas contribuições são muito importantes quando consideramos a quantidade de resíduos gerados pelas atividades humanas, os quais chegaram a atingir 214.868 toneladas diárias produzidas no Brasil, no ano de 2017 (ABRELPE, 2017).

Por serem compostos versáteis, os materiais poliméricos (popularmente conhecidos por plásticos) são amplamente utilizados em diversos setores industriais por todo o mundo, e como consequência de seu uso, os resíduos plásticos também são gerados em grande quantidade (REDDY *et al.*, 2003; TORIKAI; HASEGAWA, 1999). Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, no ano de 2017 foram geradas 21.153 toneladas de resíduo plástico por dia, sendo recuperados somente 8,2% desses resíduos (ABRELPE, 2017). O baixo índice de recuperação advém da alta disponibilidade de matéria-prima virgem (CCC), inviabilizando muitas vezes a reciclagem do ponto de vista econômico.

Devido à alta resistência à degradação dos polímeros, a disposição final de materiais plásticos torna-se difícil (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). Um material de origem polimérica sintética pode levar até 500 anos para degradar-se na natureza (DOI; FUKUDA, 1993). Por isso a grande quantidade de resíduos plásticos descartados anualmente e que se acumulam nos oceanos e mares é um exemplo de descarte impróprio que pode gerar graves danos ambientais (REDDY *et al.*, 2003). Mas mesmo ao fazer uso de alternativas mais adequadas de descarte como os aterros sanitários, a quantidade elevada de geração desses resíduos ainda é um

obstáculo, pois os aterros são rapidamente lotados o que leva a necessidade de se pensar em novos meios de tratar esse problema (KIRBAS; KESKIN; GUNER, 1999).

A reciclagem é uma importante alternativa de tratamento de resíduos, sendo essencial o desenvolvimento de estudos que comprovem a viabilidade da reciclagem dos plásticos, em especial do PET (Politereftalato de etileno) que é um dos plásticos mais presentes nos resíduos urbanos (MANCINI; BEZERRA; ZANIN, 1998). O PET possui propriedades muito diferentes dos outros componentes, e por isso requer condições de processamento específicas. Uma das mais versáteis aplicações para a reciclagem do PET é misturá-lo com outros polímeros formando uma blenda polimérica, o que poderá resultar em um material com propriedades diferenciadas (UEHARA, 2013).

Além da indústria de plásticos, outro setor que tem crescido muito nos últimos anos é o setor moveleiro, o qual possui 21,8 mil estabelecimentos de fabricação de móveis espalhados pelo Brasil. A maior concentração de indústrias moveleiras encontra-se nas regiões Sul e Sudeste do país, onde também se encontra as maiores áreas de plantios florestais, visto que há predominância de indústrias que utilizam a madeira como matéria-prima principal na fabricação de móveis (BRAINER, 2018). A elevada quantidade de resíduos sólidos gerados pela indústria moveleira é composta, em sua maior parte, por resíduos provenientes do processamento de madeiras engenheiradas, como o MDF (*medium density fiber*, em língua inglesa), os quais são constituídos por pós, serragem, maravalha e pequenos retalhos (LIMA, 2005). Na fabricação de aproximadamente 90% das chapas de MDF são empregadas resinas sintéticas como fenol-formaldeído (FF), uréia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF) e resorcinol-formaldeído (RF) (CAMPOS; LAHR, 2004). Devido a isso, conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos de MDF são classificados como perigosos (Classe I), de destinação final controlada obrigatória.

Desse modo, alternativas que visem uma destinação sustentável desses resíduos se tornam necessárias. Os resíduos também podem ser utilizados na fabricação de materiais compósitos poliméricos e de novos produtos para uso na indústria moveleira, na construção civil, dentre outras aplicações, gerando a diminuição da geração destes resíduos sólidos, trazendo lucros para empresa e contribuindo para a conservação do meio ambiente (TEIXEIRA, 2011; WILDNER, 2015).

Com base nestas informações, o presente estudo buscou desenvolver um compósito polimérico com os resíduos gerados pelo setor de embalagens da indústria plástica (PET) e moveleira (pó de MDF) que apresentasse rigidez superior a de materiais poliméricos. Para isso foi feita a seleção e caracterização dos materiais utilizados como matéria-prima (PET e pó de MDF), a após a produção do compósito, suas propriedades térmicas e mecânicas foram testadas a fim de verificar a possibilidade de aplicação do produto obtido como material de engenharia.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos podem ser definidos como materiais heterogêneos inertes, minerais e orgânicos, resultantes de atividades antrópicas e da natureza, os quais podem ser reutilizados parcialmente, gerando assim, proteção à saúde pública, redução do uso de recursos naturais e geração de lucros (COSTA; CAVALCANTE, 2009). A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem aumentado significativamente nas últimas décadas, sendo influenciada por fatores como clima local, hábitos públicos, desenvolvimento econômico e grau de industrialização, de modo que a quantidade de resíduos sólidos produzidos tende a crescer conforme se aumenta o desenvolvimento econômico e a urbanização.

Em 2012 os níveis globais de geração de resíduos sólidos eram de aproximadamente 1,4 bilhões de toneladas por ano, com projeções de que esta geração possa atingir cerca de 2,3 bilhões de toneladas por ano até 2025 (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). No Brasil a quantidade elevada de resíduos produzidos também é um problema, só no ano de 2017 foram produzidos 78,4 milhões de toneladas de RSU, dos quais 91,2% foram coletados, restando assim, 6,9 milhões de toneladas de resíduos que tiveram um descarte inadequado passível de gerar diversos danos ao meio ambiente e à saúde da população (ABRELPE, 2017). Segundo o último Relatório da Situação da Disposição Final de RSU no Estado do Paraná, realizado em 2017, dos 399 municípios integrantes do estado, 301 (75,4%) fazem a disposição dos RSU em áreas de aterro sanitário licenciadas, 74 (18,5%) fazem o descarte em áreas de aterro controlado e 24 (6,0%) ainda descartam seus resíduos de forma inapropriada em áreas de lixão (IAP, 2017).

Com o progressivo aumento do processo de urbanização, a natureza passou a sofrer fortes impactos em sua estrutura, como a exploração desordenada dos recursos naturais e a falta de controle e fiscalização no lançamento de resíduos e efluentes no ambiente, que figuram como sérios problemas ambientais (COSTA; CAVALCANTE, 2009). Assim, o tratamento e descarte apropriados da quantidade crescente de resíduos sólidos é um grande desafio global (ANTHRAPER *et al.*, 2018).

A estratégia mais comum para disposição de resíduos sólidos é o aterro sanitário, mas seu uso reduz as oportunidades de recuperação de recursos, além de demandar cada vez mais áreas para a acomodação dos grandes volumes de resíduos produzidos, os quais estão sujeitos a liberação de emissões tóxicas como os gases de efeito estufa (LOU; NAIR, 2009). Estratégias alternativas, como compostagem e pré-tratamentos de resíduos têm sido estudadas com objetivo de reduzir os impactos provenientes do uso de aterros como as possíveis contaminações e a limitação de espaço (NORBU; VISVANATHAN; BASNAYAKE, 2005); mas em adição a isso, deve-se haver uma busca pela gestão adequada dos resíduos e pela redução na geração dos mesmos, de modo a promover uma sustentabilidade operacional e ambiental (LOU; NAIR, 2009).

O plástico é um material polimérico intensamente presente no cotidiano das pessoas, pois ele integra a composição de inúmeros objetos utilizados no dia a dia, como embalagens, sacolas e garrafas (ISOLDI, 2003). Devido ao seu uso intensivo e consumo crescente em diversos setores da indústria, os plásticos geram grandes quantidades de resíduos poliméricos pós-consumo e pós-industriais, os quais são fonte de poluição e representam um desafio para o gerenciamento de resíduos sólidos (FERREIRA; FONSECA; SARON, 2011).

Os polímeros plásticos apresentam degradação lenta e por isso comprometem a vida útil dos aterros sanitários (MATOS, SCHALCH, 2007), chegando a ocupar cerca de 20% do volume dos aterros (ANTHRAPER *et al.*, 2018). Além disso, as resinas plásticas são provenientes do petróleo que é um recurso natural não renovável (ISOLDI, 2003), o que torna necessário o desenvolvimento de processos de reciclagem mais eficazes como meio de tratar os resíduos plásticos (GOTO, 2009), reduzindo assim a poluição do meio ambiente e o consumo de recursos naturais.

Os resíduos poliméricos são compostos, principalmente por resinas de PET (politereftalato de etileno), PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade), PVC (policloreto de vinila), PP (polipropileno) e PS (poliestireno) (MATOS, SCHALCH, 2007; ANTHRAPER *et al.*, 2018). Dentre esses polímeros, o PET destaca-se por apresentar alto índice de reciclagem em um curto período de existência (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005) e por ser um produto 100% reciclável que pode ser transformado em diversos outros produtos (PETRY, 2012).

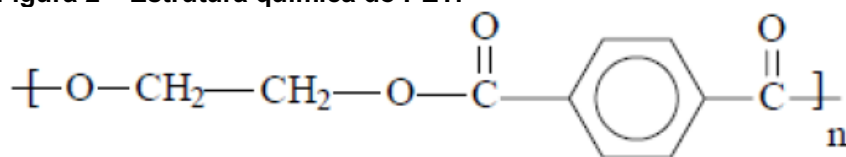
Desse modo, entende-se que os problemas ambientais não são causados pelos polímeros, mas sim pelo descarte incorreto de seus resíduos. E a reciclagem dos plásticos apresenta-se como uma solução para reduzir esse impacto ambiental (ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009). A reciclagem de resíduos plásticos é um método de reaproveitamento que transforma esses resíduos em novos materiais dotados de uso comercial. É uma técnica que envolve um trabalho prévio de separação e limpeza dos recipientes plásticos (FRANCHETTI, MARCONATO, 2006), os quais apresentam diversos tipos de polímeros com propriedades físico-químicas diferentes, característica esta que dificulta o processo de identificação e seleção deste tipo de resíduo (MATOS, SCHALCH, 2007).

2.2 PET – POLITEREFTALATO DE ETILENO

O PET é um polímero termoplástico que teve sua primeira síntese em 1941, realizada pelos químicos britânicos Whinfield e Dickson, os quais deram continuidade ao trabalho de Wallace Carothers da DuPont (UEHARA, 2013). A partir da década de 70, pesquisas para o melhoramento das propriedades mecânicas e físicas desse polímero, em conjunto com o desenvolvimento da técnica de injeção/sopro permitiram que o PET fosse introduzido na fabricação de garrafas de bebidas e revolucionasse o setor de embalagens. Em substituição às embalagens de vidro, as embalagens de PET trouxeram vantagens econômicas ao reduzir o peso final do produto, os custos de transporte e a perda de estoque por quebra de garrafas, dentre outras (CURTI, 2007). Em 1988 o PET chegou ao Brasil, sendo utilizado a princípio na indústria têxtil e a partir de 1993 passou a ser utilizado no mercado de embalagens, principalmente para uso em garrafas de refrigerantes (ABIPET, 2012).

O PET passou por diversos aprimoramentos desde sua primeira síntese. Atualmente pode ser produzido pela polimerização de um ácido dicarboxílico e um glicol (DANTAS, 2011), sendo sua estrutura química (Figura 1) composta por anéis aromáticos e ligações entre carbono e oxigênio (LUIZ, 2016).

Figura 2 – Estrutura química do PET.



Fonte: Dantas (2011).

As excelentes propriedades físicas do PET, como rigidez, tenacidade, isolamento elétrico, estabilidade química e dimensional, e alta temperatura de fusão (~260°C) lhe conferem uma notável versatilidade, de modo que ele pode ser transformado para uso em numerosas aplicações. Na forma de filamentos ele pode ser aplicado na indústria têxtil, e na forma de fibras pode ser utilizado como reforço em materiais de construção civil, devido à sua alta temperatura de fusão e valor de transição vítrea (cerca de 70°C) que permite a esse material conservar suas propriedades mecânicas em temperaturas superiores a 175°C. O PET também possui grande relevância tecnológica, possuindo extenso uso como material de engenharia, na substituição de partes metálicas de automóveis, aparelhos domésticos e outras aplicações industriais, pois apresenta menor preço em relação a outras resinas (ISOLDI, 2003).

No Brasil, 71% das aplicações do PET são realizadas na indústria de embalagens (ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009). Segundo Isoldi (2003), a elevada relação resistência/densidade que o PET apresenta, é a característica responsável por torna-lo leve, mas com a flexibilidade necessária para garantir boa resistência a impactos. Por isso esse polímero plástico apresenta grande utilização no mercado de embalagens para bebidas carbonatadas e alcólicas, sucos de frutas, água mineral, iogurtes, molhos para saladas e demais produtos do gênero alimentício; além de outros materiais de embalagem, na forma de filmes, lâminas e revestimentos.

2.2.1. Reciclagem de PET

A reciclagem do PET no Brasil tem crescido em volume e aumentado em diversidade e qualidade dos produtos reciclados devido às vantagens ambientais da reciclagem desse resíduo, como a economia de energia, a preservação de recursos naturais não renováveis utilizados na produção da resina plástica virgem, a redução

de custos com disposição final, a redução do volume de resíduos gerados e consequente aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução de gastos com a saúde pública e o aumento na geração de emprego e renda (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005; CURTI, 2007).

O PET pode ser reciclado de três formas diferentes, através da reciclagem energética, química ou mecânica (CURTI, 2007; FERREIRA; FONSECA; SARON, 2011).

A reciclagem energética consiste na queima do resíduo para geração de calor e aproveitamento na geração de energia elétrica, alimentação de caldeiras e altos-fornos. O PET é bastante utilizado nesse tipo de reciclagem, pois possui alto poder calorífico e não exala substâncias tóxicas durante sua queima (ISOLDI, 2003).

Na reciclagem mecânica, o resíduo pode ser recuperado por extrusão e/ou repeletização (ISOLDI, 2003), e abrange etapas de coleta, granulação e reprocessamento mecânico do PET, com vistas a possibilitar a obtenção de diferentes produtos (ALONSO *et al.*, 2005). Porém na reciclagem mecânica, principalmente aquela feita por policondensação, pode ocorrer uma depreciação das propriedades mecânicas dos polímeros devido a processos de degradação por cisão hidrolítica da cadeia polimérica (FERREIRA; FONSECA; SARON, 2011), de modo a produzir um material reciclado com propriedades térmicas e mecânicas inferiores as do polímero virgem. Algumas propriedades do material podem ser aprimoradas por meio do acréscimo de aditivos ou pela mistura do material reciclado com outro polímero de modo a formar blendas poliméricas (ALONSO *et al.*, 2005).

A reciclagem química consiste num tratamento químico com reagentes que atuam na despolimerização do material, sendo que na reciclagem do PET utiliza-se o processo de glicólise/metanólise (ISOLDI, 2003). Nesse processo quando a reação de despolimerização é levada ao limite máximo, são obtidos monômeros que após serem purificados retornam às matérias-primas originais, as quais podem ser usadas na fabricação do mesmo produto. E quando a reação não atinge seu limite, são obtidos oligômeros de diferentes massas molares, de modo que as propriedades e a estrutura do material quimicamente reciclado são definidas em função do tempo e das condições de reação e irão influenciar na decisão das diferentes possibilidades de aplicação do material obtido (ALONSO *et al.*, 2005).

Segundo Goto (2009), a reciclagem química é o processo mais desejável porque os polímeros são convertidos em monômeros que podem ser reutilizados.

Mas no Brasil, a reciclagem mecânica é a mais praticada por se tratar de um processo que envolve menos custos e agrega maior valor ao produto (ISOLDI, 2003; ROMÃO; SPINACÉ; DE PAOLI, 2009). No Brasil, o PET reciclado possui a maior variedade de aplicações do mundo, sendo a maior parte aplicações em resinas insaturadas e alquílicas (28,6%), em embalagens (25,7%) e na indústria têxtil (25,7%) (ABIPET, 2016).

É possível utilizar o PET reciclado na confecção de fibras utilizadas na composição de diferentes produtos, pois nesse caso a redução da massa molar provocada pela reciclagem mecânica não é um fator limitante. Diversos artigos como cerdas para vassouras e escovas, resinas insaturadas, peças injetadas, não tecidos, embalagens para produtos não-alimentícios e também alimentícios, utilizando a tecnologia multi-camada, são fabricados a partir do PET reciclado (ISOLDI, 2003). Outra aplicação para o PET reciclado é na produção de blendas poliméricas, as quais possuem grande importância industrial, pois permitem a obtenção de produtos com determinadas propriedades por meio da reciclagem de diversos tipos de polímeros, dispensando a necessidade de síntese de polímeros virgens (FERREIRA; FONSECA; SARON, 2011). Também é possível obter oligômeros (resinas alquílicas) que podem ser usados na produção de tintas ou monômeros de partida, que podem ser usados na produção da resina virgem. Tais produtos contribuem para a movimentação econômica, gerando empregos e renda, demonstrando assim que a reciclagem do PET pós-consumo possui grande importância nos aspectos sociais, econômicos e ambientais (CURTI, 2007).

No Brasil a vulnerabilidade social tem contribuído para a reciclagem do PET, a qual ocorre, maiormente por meio do trabalho de catadores informais ou pertencentes a cooperativas (CURTI, 2007). O avanço da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) também contribuiu para o crescimento das cooperativas de triagem, que em conjunto com os catadores figuram como os maiores responsáveis por fornecer os fardos de PET para as empresas de reciclagem (ABIPET, 2016). Mas a escassez de coleta seletiva ainda é um fator que dificulta o trabalho dos catadores, tornando necessário mais investimento nessa área, de modo a facilitar a separação prévia dos plásticos, diminuindo custos e aumentando a eficiência da reciclagem. Além disso, deve-se pensar em maneiras de reduzir o descarte do PET reciclado, como priorizar sua utilização em aplicações de

longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, construção civil, indústria automobilística, dentre outras (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

2.3 PAINÉS DE MADEIRA MDF

A madeira é composta principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, e é considerada um material que produz impacto ambiental positivo, pois se trata de um recurso natural renovável, biodegradável e que pode ser reaproveitado de diversas formas (JOHN; THOMAS, 2008). Uma das maneiras de reaproveitá-la é na produção de produtos reciclados à base de madeira, como aglomerados e painéis de madeira (OBATA *et al.*, 2006).

Em 2016, as áreas de árvores plantadas brasileiras atingiram 7,84 milhões de hectares, o que corresponde a menos de 1% do território nacional. Para aquele ano, as áreas plantadas apresentaram uma composição de 5,7 milhões de hectares de plantios de eucalipto e 1,6 milhões de hectares de plantios de pinus, e foram responsáveis por fornecer mais de 90% de toda a madeira produzida para fins industriais no país. Dentre as principais indústrias que utilizam a matéria-prima fornecida por este setor estão as indústrias de celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, móveis, carvão vegetal, dentre outras (IBÁ, 2017).

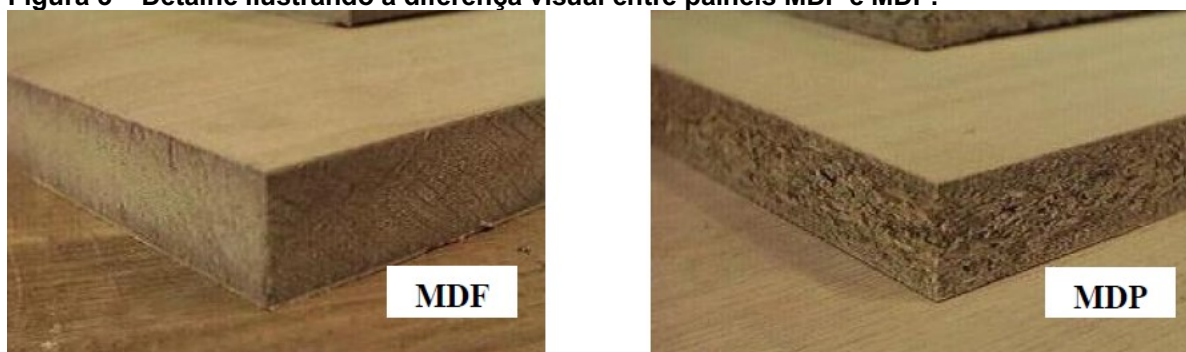
O Brasil é um dos maiores produtores de painéis de madeira do mundo (PIEKARSKI *et al.*, 2017). Os painéis de madeira são utilizados principalmente nas indústrias moveleira e de construção civil, e dentre os tipos de painéis mais comuns estão os painéis de partícula de média densidade (MDP), as placas orientadas em fio (OSB), os painéis de fibra de média densidade (MDF), e os produtos à base de lâminas de madeira (SILVA *et al.*, 2013).

O MDF (*Medium Density Fiberboard*) pode ser definido como um material de média densidade constituído a partir da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas (FEPAM, 2012; ABIPA, 2014). Sua fabricação consiste na decomposição da madeira maciça em fibras de madeira, as quais são combinadas com ceras e resinas adesivas por meio da ação conjunta de pressão e altas temperaturas, de modo a formar os painéis de MDF (PIEKARSKI *et al.*, 2017).

O MDF é um material uniforme, de superfície lisa, plana, livre de nós; e que em comparação à madeira maciça, apresenta melhor rendimento de matéria-prima e preço mais acessível (GOMES *et al.*, 2017). Comparado a outros painéis de madeira

como o MDP, o MDF possui maior densidade (Figura 2), e devido às características proporcionadas pelas fibras, como resistência e estabilidade, ele é amplamente utilizado na produção de peças torneadas, entalhadas e usinadas; na indústria de móveis em geral e no projeto de arquitetura de interiores, como portas, divisórias, revestimento de parede, pisos, rodapés e batentes (ABIPA, 2014; PIEKARSKI *et al.*, 2017).

Figura 3 – Detalhe ilustrando a diferença visual entre painéis MDF e MDP.



Fonte: ABIPA (2014).

2.3.1 Reciclagem do MDF

A indústria de painéis à base de madeira tem se desenvolvido rapidamente e incorporado uma diversidade de aplicações para o MDF, o qual pode ser encontrado na maioria dos móveis residenciais (GU *et al.*, 2017; PIEKARSKI *et al.*, 2017). Com isso, entende-se que seu elevado uso também pode acarretar na geração de grande quantidade de resíduos provenientes de sua fabricação, principalmente na forma de pó (GOMES *et al.*, 2017).

Os resíduos provenientes da transformação de painéis de madeira podem ser classificados de acordo com suas características morfológicas em pó, serragem, maravalha e cavacos (CASSILHA *et al.*, 2004). De acordo com Cassilha *et al.* (2004), o pó é o resíduo proveniente do processo de corte e lixamento da peça e possui tamanho inferior a 0,5 mm; a serragem é o resíduo que possui dimensões entre 0,5 mm a 2,5 mm e é proveniente dos processos de corte e usinagem das peças; a maravalha é o resíduo que apresenta tamanho maior do que 2,5 mm e é gerada nos processos de usinagem, furação e cepilhamento (limpeza das faces da

peça); e o cavaco é o resíduo com maior tamanho dentre estes, apresentando dimensões máximas de 50 x 20 mm e proveniente de uso de picadores.

Os resíduos de MDF podem ser considerados resíduos perigosos (Classe I) (ABNT, 2004), pois contêm em sua composição elementos lignocelulósicos ligados por resinas sintéticas, as quais são em sua maioria termofixas (GU *et al.*, 2017), dentre outros componentes que oferecem risco ambiental e à sociedade, tornando necessário que seja feita uma destinação especial para eles. Contudo, esses resíduos são frequentemente destinados incorretamente em aterros sanitários, potencializando o risco de contaminação do solo e lençóis freáticos e reduzindo a vida útil dos aterros (FONSECA *et al.*, 2018).

A queima dos resíduos sólidos provenientes da madeira maciça não é considerada tóxica, pois se tratam de resíduos biodegradáveis. Porém, a queima e o descarte dos resíduos provenientes dos painéis de MDF são dificultados pelas características tóxicas de alguns de seus componentes, de modo que se realizados de maneira inadequada podem trazer graves prejuízos ao meio ambiente (GU *et al.*, 2017; PIEKARSKI *et al.*, 2017). Por isso, no Brasil já foram criados alguns instrumentos legais com vistas a regular o uso e tratamento destes resíduos, como é o caso da Portaria N°009/2012 da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler) que veta o uso como combustível de qualquer derivado de madeira, incluindo o MDF, que tenha sido tratado e/ou apresente contaminação com produtos halogenados, antifúngicos, tintas, vernizes, adesivos e revestido de plásticos e/ou PVC. Essa Portaria também proíbe a queima de MDF em atividades em que haja contato direto dos produtos de queima com produtos alimentícios (FEPAM, 2012).

Com isso, torna-se necessário a elaboração de estudos que melhorem o perfil ambiental dos componentes do MDF e o desenvolvimento de alternativas viáveis e adequadas de reciclagem e reutilização desses resíduos, de modo a aliviar as preocupações ambientais e com a saúde humana, e acrescentar retornos econômicos à indústria florestal (GU *et al.*, 2017; PIEKARSKI *et al.*, 2017).

Alguns métodos de reciclagem dos resíduos de MDF já foram desenvolvidos como meio de tratá-los e recuperar elementos da madeira, mas na maioria dos casos é necessário o uso de equipamentos especiais de alto custo, que inviabilizam financeiramente a aplicação em larga escala (GU *et al.*, 2017).

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos alguns estudos sobre o uso de fibras naturais em compósitos, devido ao baixo custo relativo, reciclabilidade e resistência desse material. A combinação de recursos derivados do petróleo e recursos biológicos é uma das alternativas consideradas viáveis para o desenvolvimento de um produto econômico e versátil. Assim, os biocompósitos, materiais compósitos feitos de polímeros não biodegradáveis, naturais ou biodegradáveis; se configuram como uma excelente alternativa para reutilização dos resíduos de MDF, os quais podem ser combinados com compósitos plásticos, por exemplo, formando um novo produto (JOHN; THOMAS, 2008).

2.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Em vista dos problemas relacionados à grande utilização de produtos derivados do petróleo e a geração crescente de resíduos, torna-se crucial o desenvolvimento de alternativas que utilizem materiais baseados em compósitos, pois estes materiais podem contribuir simultaneamente para a redução da dependência de combustíveis fósseis e minimização de resíduos (DAS; SARMAH; BHATTACHARYYA, 2015). Nos últimos anos intensificaram-se os estudos envolvendo novos materiais compósitos utilizando-se fibras naturais e polímeros biodegradáveis em substituição aos polímeros sintéticos (MACHADO *et al.*, 2010).

Os compósitos são constituídos por dois ou mais compostos, de modo a formar um material heterogêneo que apresenta diferentes propriedades físicas e químicas. A finalidade de se utilizar materiais com diferentes composições é criar um novo material com uma combinação de propriedades adequada às diversas situações de uso (KREUTZ, 2019). Os compósitos poliméricos têm se apresentado como uma alternativa importante para a utilização de resíduos de madeira e de MDF em compósitos polímero-madeira, os quais têm crescido muito no Brasil devido aos avanços tecnológicos da indústria de plásticos (HILLIG *et al.*, 2008). Assim, o desenvolvimento e a produção de compósitos usando resíduos de madeira e plásticos figuram como soluções promissoras para a reciclagem e utilização de resíduos sólidos como fontes renováveis para diversos usos (BINHUSSAIN; EL-TONSY, 2013).

Há diversos estudos sobre a obtenção de compósitos, como o de Vianna, Correa e Razzino (2014), em que após utilizarem poliestireno de alto impacto (HIPS) com diferentes tamanhos de partículas e farinha de resíduo de madeira para obtenção de compósitos termoplásticos, verificaram que a adição de farinha de madeira ao HIPS proporcionou melhor resistência e rigidez específica ao compósito, quando comparado ao material sem adição desse resíduo.

Binhussain e El-Tonsy (2004) produziram uma madeira artificial ecológica como alternativa à madeira natural, a partir de plástico misto (policarbonato, poliestireno e cloreto de polivinila) proveniente de RSU e do desperdício de folhas de palmeiras de fazendas agrícolas. Os compósitos plásticos de madeira desenvolvidos no estudo apresentaram menor absorção de água, queima linear e maior densidade do que a madeira natural e o MDF, podendo ser muito útil em aplicações em estruturas externas.

No trabalho de Gomes *et al.* (2017), diferentes frações de resíduos de MDF em pó foram utilizados na preparação de compósitos em matriz de resina termofixa de poliéster ortoftálica. Os resultados desse estudo mostraram que houve redução das propriedades mecânicas e aumento no índice de absorção de água dos compósitos. Desse modo, o compósito obtido possui propriedades tecnológicas que possibilitam seu uso na fabricação de peças e estruturas que solicitem menor esforço mecânico tais como embalagens, objetos de decoração e prateleiras, além de apresentar ótimo aspecto visual.

A utilização de resíduos de madeira em materiais compósitos apresenta algumas vantagens como densidade e abrasividade reduzidas, rigidez elevada, reciclabilidade, biodegradabilidade e grande variedade de cargas reforçativas existentes (MACHADO *et al.*, 2010). Além disso, o desenvolvimento de fibras termoplásticas, em especial compostos plásticos de madeira tem comprovado com sucesso sua aplicação em diversas áreas, como na construção civil, em substituição à madeira natural; na indústria moveleira, e para fins decorativos (LEI; WU, 2010).

2.4.1 Caracterização de compósitos poliméricos

A caracterização de compósitos poliméricos é fundamental para a análise de suas propriedades térmicas e mecânicas e para a verificação da aplicabilidade do material obtido (MACHADO *et al.*, 2010; LUIZ, 2016). Dentre as análises mais

comuns estão as análises termogravimétricas (TGA), espectroscopia no infravermelho, degradação ultravioleta (UV), calorimetria diferencial exploratória (DSC) e propriedades de tração; como apontam alguns estudos relacionados ao tema (BENINI, 2011; PENG; LIU; CAO, 2015; POSSIDONIO; CORDEIRO; VIEIRA, 2010).

A TGA é realizada com objetivo de analisar a perda de massa de uma amostra submetida a um aumento de temperatura, ou quando é mantida a uma temperatura fixa em função do tempo. Essa técnica fornece informações importantes a respeito da estabilidade térmica e temperaturas de decomposição dos materiais, e é uma técnica complementar da análise DSC (LEE; HSU; CHANG, 2002).

Por meio da análise DSC é possível observar as transições de um material que ocorrem pela mudança de fluxo de calor (LUIZ, 2016). Essa técnica fornece dados sobre a estabilidade térmica de compostos e possibilita a determinação das temperaturas de fusão e de decomposição. As técnicas de TGA e DSC apresentam algumas vantagens como agilidade no fornecimento de informações e o uso de quantidade reduzida de amostra, além de permitir a obtenção das informações necessárias para a determinação dos parâmetros cinéticos de uma reação (LEE; HSU; CHANG, 2002).

A espectroscopia de infravermelho (FTIR) é um tipo de espectroscopia de absorção da região do infravermelho do espectro eletromagnético, a qual se situa entre as regiões do visível e das micro-ondas. Essa técnica possibilita a determinação de níveis de energia de átomos ou moléculas e a identificação dos compostos de uma amostra, por meio do estudo da interação da radiação eletromagnética com a matéria (MARIN, 2013).

O estudo da degradação ultravioleta (UV) é muito relevante para que se possa avaliar o desempenho de compósitos submetidos a condições severas de utilização, simulando o envelhecimento acelerado (POSSIDONIO, CORDEIRO, VIEIRA, 2016). A exposição à radiação UV pode causar degradação em muitos materiais poliméricos, desde a descoloração da superfície até a deterioração de propriedades mecânicas, afetando o apelo estético de um produto ou mesmo levando à inutilidade do material (XU; LI; PANG, 2011). Estudos como o de Joseph *et al.*, 2002 concluíram que a resistência à tração de compósitos com fibras tende a reduzir de acordo com o aumento do tempo de exposição à radiação UV. Assim, como meio de garantir a durabilidade de um compósito é importante que suas

características de degradação e estabilidade sejam analisadas (ABU-SHARKH; HAMID, 2004).

O ensaio de tração possibilita que seja feita uma análise da qualidade dos materiais, de modo que as propriedades de tração expressam a resistência do material em função da deformação por alongamento (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002 apud LUIZ, 2016, p. 31).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica que pode fornecer informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. Algumas das principais razões para sua vasta utilização é a alta resolução observada nas amostras e a aparência tridimensional das imagens (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Produzir um compósito polimérico a partir da aglomeração de pó residual de MDF em matriz de PET, tendo em vista o aproveitamento de diferentes resíduos na produção de um compósito com rigidez superior a de materiais poliméricos para uso como material de engenharia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

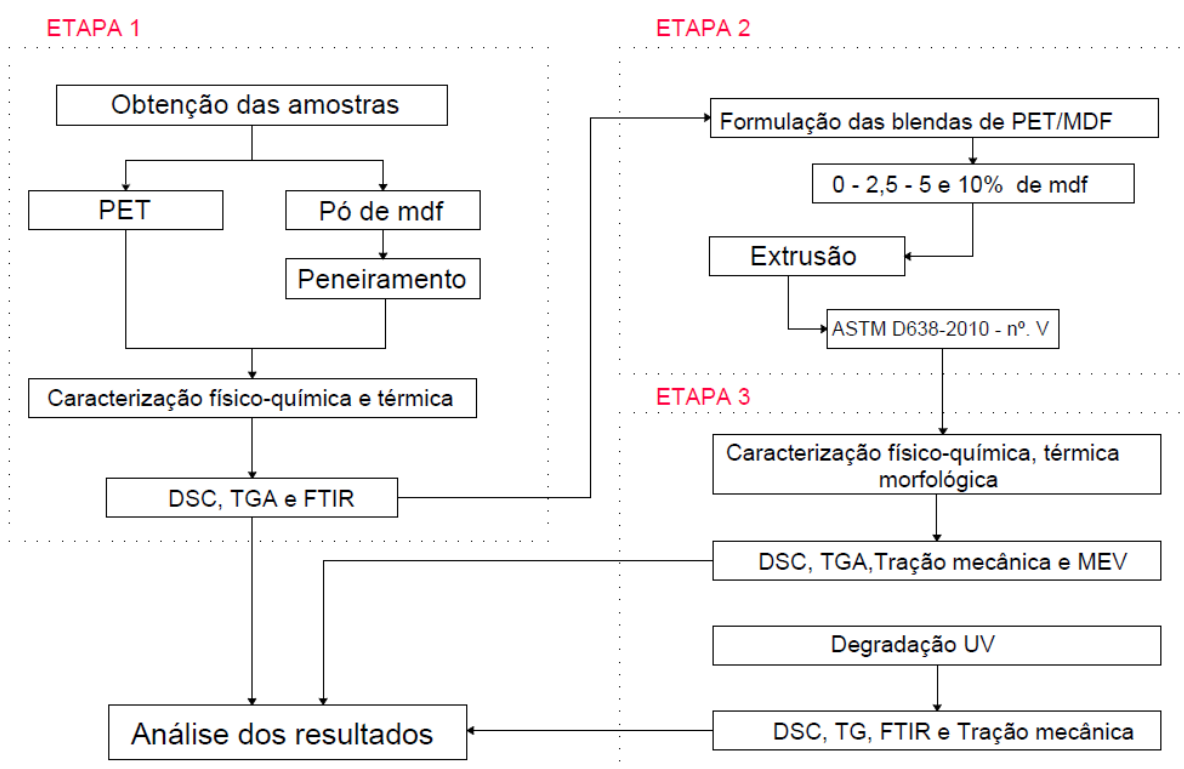
- Avaliar a influência da adição de diferentes teores de pó residual de MDF em matriz de pet, nas propriedades mecânicas dos compostos produzidos;
- Avaliar a influência da degradação da radiação ultravioleta dos compostos produzidos;
- Analisar a viabilidade técnica de utilização do composto produzido como material de engenharia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado, conforme observado no fluxograma da Figura 3, em três etapas, a saber:

- Etapa 1: Seleção e caracterização dos materiais;
- Etapa 2: Produção do compósito PET/MDF;
- Etapa 3: Análises térmicas, mecânicas e de degradação do compósito.

Figura 4 – Etapas da pesquisa.



Fonte: Autoria Própria.

4.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

As amostras peletizadas de resíduo de PET utilizadas neste estudo (Figura 4) advêm da reciclagem de resíduos de resina reciclada (PCR) as quais foram doadas por uma empresa do setor localizada na região metropolitana de Curitiba.

Figura 5 – Amostras peletizadas de PET-PCR.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

O pó residual de MDF (Figura 5) foi obtido em uma indústria moveleira situada na cidade de Medianeira, PR, o qual é oriundo do corte e acabamento de Painéis de MDF utilizados para a produção de móveis. Após a coleta das amostras na fábrica, foi realizado o peneiramento do pó de MDF em peneira 200 msh para retirada de impurezas e fibras de maiores dimensões.

Figura 6 – Pó residual de MDF após o peneiramento.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

4.2 PRODUÇÃO DO COMPÓSITO

Para a produção do compósito em estudo, foi realizada a preparação e extrusão das misturas de PET e pó de MDF. Foram utilizadas diferentes porcentagens do pó de MDF para mistura com a matriz polimérica de PET, as quais

foram 0% (PET puro), 2,5%, 5% e 10%, em massa. Com auxílio de uma espátula foram realizadas pré-misturas da matriz polimérica e dos diferentes teores do resíduo de MDF em frascos. As misturas foram pesadas em balanças de precisão, para posteriormente passarem pelo processo de extrusão.

Para tal empregou-se uma extrusora de bancada modelo AX 16/26 – AX Plásticos, conforme observado na Figura 6. A velocidade de rotação da rosca foi de 45 rpm e as temperaturas para extrusão apresentadas na Tabela 1 foram definidas com base na literatura e nas recomendações do fabricante.

Figura 7 – Extrusora utilizada pra a confecção dos corpos de prova de compósito.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 1. Condições para Extrusão das Misturas PET/MDF.

Área de aquecimento	Temperatura (°C)
Zona 1	215
Zona 2	225
Zona 3	235

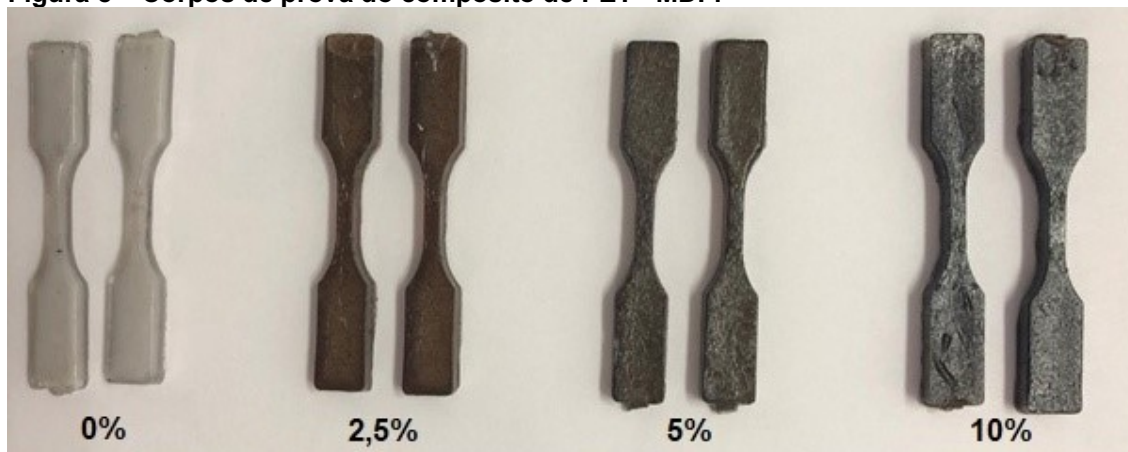
Fonte: Autoria Própria (2019).

O material removido da extrusora, após aquecimento, foi transferido para uma injetora modelo LHS 150-80, fabricante AX PLÁSTICOS. A temperatura de operação para o cabeçote foi de 245°C e para o molde, aproximadamente 20°C.

Então, foram confeccionados corpos de prova (Figura 7) para realização de ensaios de resistência à tração, TG, FTIR e degradação UV.

O total de corpos de provas produzido foi de 48 amostras. Inicialmente foram produzidos quatro corpos de prova para cada porcentagem, totalizando 16 amostras. Foram realizados os ensaios de tração e as análises térmicas. Posteriormente foram produzidas mais oito amostras de cada porcentagem para realizar o ensaio de degradação UV, sendo que quatro corpos de prova foram tirados com 15 dias de exposição UV, e quatro com 30 dias de exposição UV. Após o ensaio de degradação UV foi realizado novamente o ensaio de tração e análises térmicas para cada idade de UV.

Figura 8 – Corpos de prova do compósito de PET+ MDF.



Fonte: Aatoria Própria (2019).

4.3 ANÁLISES TÉRMICAS, MECÂNICAS E DE DEGRADAÇÃO DO COMPÓSITO

4.3.1 Análise termogravimétrica e calorimetria exploratória diferencial

As amostras de PET e pó de MDF foram submetidas às análises TGA e DSC. Para isso foi utilizado o equipamento STA6000 da PerkinElmer, no qual foi colocado aproximadamente 6,0 mg do material amostrado em porta amostras de Platina, que foram submetidas a uma variação de temperatura de 50 até 600 °C, e razão de aquecimento (β) de 10 °C min⁻¹ em atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo de 20 mL min⁻¹.

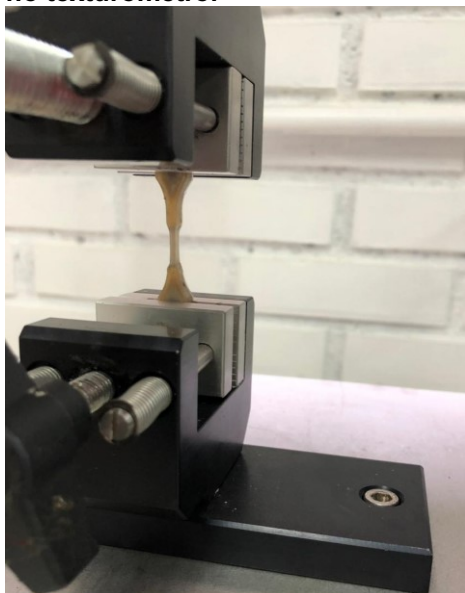
4.3.2 Espectrometria de absorção na região do infravermelho (FTIR)

Os estudos de FTIR foram realizados nas amostras de PET e de pó de MDF em um espectrofotômetro Perkin Elmer Spectrum 100 no modo refletância total atenuada (ATR). Todas as amostras foram analisadas na faixa espectral entre 4000 a 600 cm^{-1} com acumulação de 16 varreduras e com resolução de 2 cm^{-1} .

4.3.3 Ensaio de Tração Mecânica

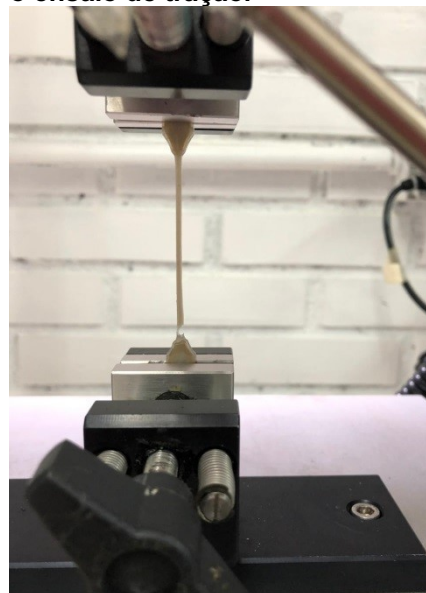
Para o ensaio de tração (Figura 8) realizado com os compósitos foi utilizado um texturômetro modelo TA.HD Plus, marca Stable Micro Systems. A razão de tração utilizada nos corpos de prova foi de 5 mm/s até o rompimento da amostra (Figura 9), os grampos foram dispostos a uma distância de 25,4 mm entre ambos conforme a norma ASTM D-638V. Os resultados do módulo de Young e da tensão de estiramento foram obtidos por meio da análise da curva Tensão versus deformação específica.

Figura 9 – Ensaio de tração sendo realizado no texturômetro.



Fonte: Aatoria Própria (2019).

Figura 10 – Rompimento da amostra durante o ensaio de tração.



Fonte: Aatoria Própria (2019).

4.3.4 Ensaio de degradação UV

O ensaio de degradação Ultravioleta (UV) foi conduzido no LADUR (Laboratório de Durabilidade) do LADEMA (Laboratório de Desempenho, Estruturas

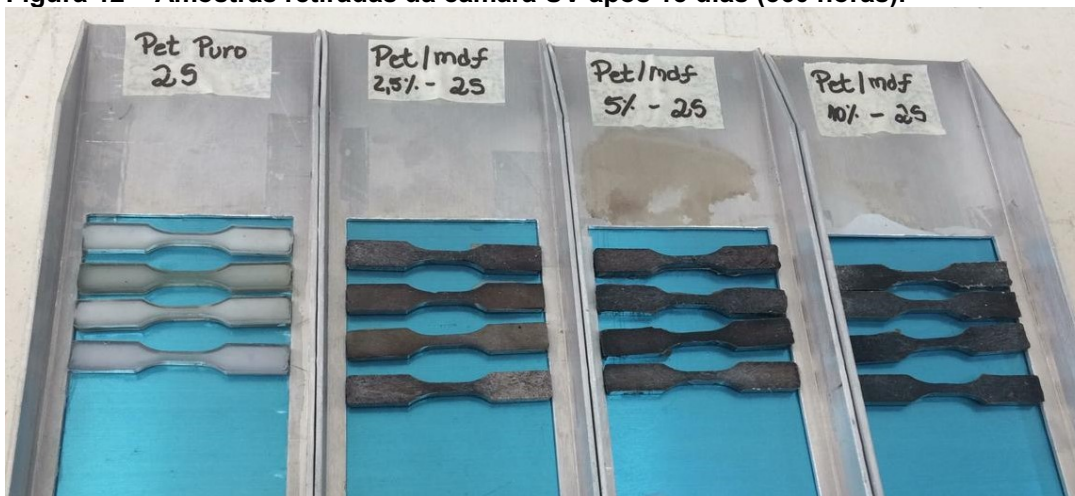
e Materiais) da UNILA (Universidade Federal da Integração Latino-Americana), empregando-se câmara UV da marca “BASS” modelo “UUV Simulador Acelerado de Intempéries” (Figura 10). Para tal, foi adotado o ciclo 6 da ASTM G154-06, com 12 horas de duração sendo 8h de UV a $1,55 \text{ W/m}^2$ com 340 nm a 60°C e 4h de condensação a 50°C . Sendo que W/m^2 representa a irradiação e nm representa o comprimento de onda da luz emitida pelas lâmpadas. Foram avaliados quatro corpos de prova de cada porcentagem, por idade de envelhecimento. As análises foram realizadas aos 15 (Figura 11) e 30 dias (Figura 12) de exposição, correspondendo a 360 e 720 horas.

Figura 11 – Posicionamento das amostras na câmara UV.



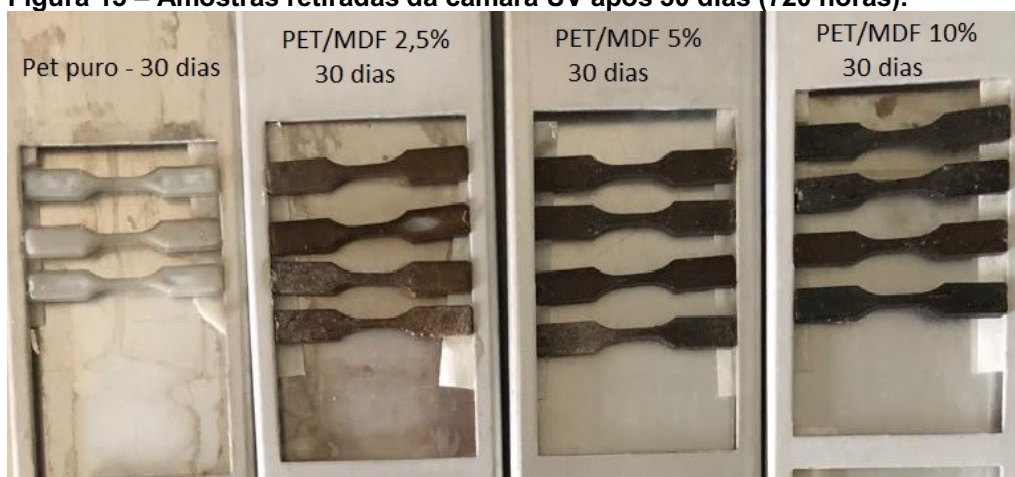
Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 12 – Amostras retiradas da câmara UV após 15 dias (360 horas).



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 13 – Amostras retiradas da câmara UV após 30 dias (720 horas).



Fonte: Aatoria Própria (2019).

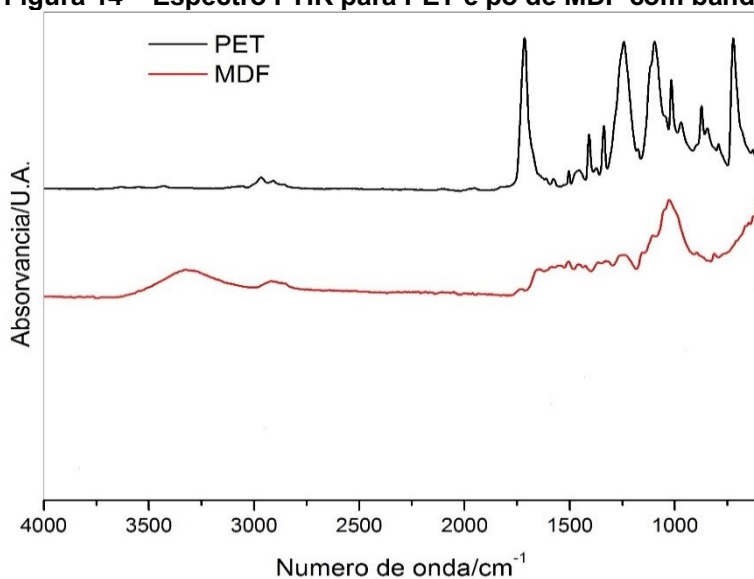
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais para a caracterização dos materiais e das blends de PET e MDF.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PET E DO PÓ DE MDF

As amostras de PET e pó de MDF foram caracterizadas inicialmente por FTIR e TGA. A Figura 13 mostra o gráfico FTIR contendo os resultados de cada resíduo.

Figura 14 – Espectro FTIR para PET e pó de MDF com bandas características.



Fonte: Aatoria Própria (2018).

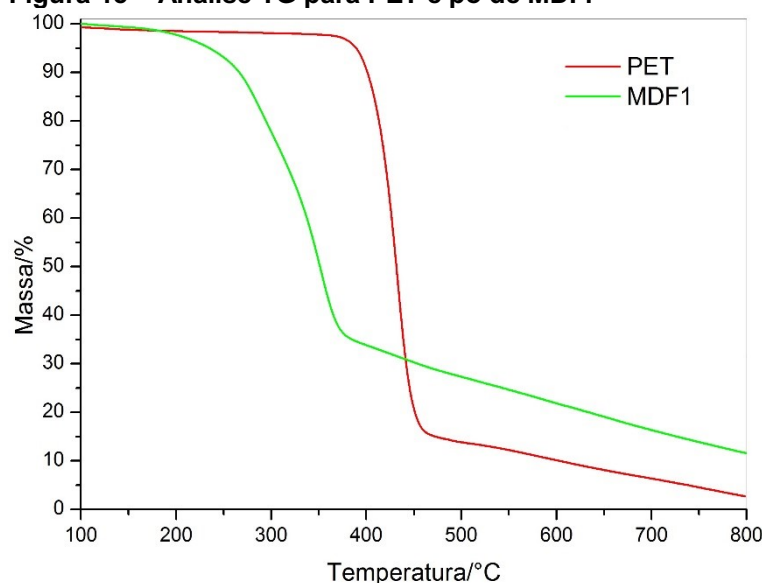
Nota-se que o “PET apresentou bandas de deformações axiais típicas nas regiões de 2900 cm^{-1} para grupo C-H, 1715 cm^{-1} para grupo C=O, 1238 cm^{-1} para o grupo (C=O)-O, 722 cm^{-1} deformações (C=C)-H fora do plano” (LUIZ, 2016).

Em relação ao espectro do pó de MDF foram observadas as principais bandas correspondentes a este material. A banda do estiramento de O-H em 3339 cm^{-1} é referente à resina sintética uréia-formaldeído presente no material. A banda em 1513 cm^{-1} refere-se à amida secundária (-CO- 49 NH-) resultante da modificação da ureia pura (-CO(NH²)²) que é um componente da resina uréia-formaldeído (MÜLLER *et al.*, 2009). Outra banda relevante é a de 1649 cm^{-1} , referente à absorção de O-H e C-O conjugado (éter). Durante o processo de prensagem, a superfície das chapas pode alcançar até 200C° , o que pode levar à abertura do anel de furfural presente no MDF, resultando em resíduos de poliose (MÜLLER *et al.*, 2009).

Tendo em vista a presença de uréia-formaldeído nos pós de MDF, o mesmo é classificado como resíduo perigoso (classe I) pela NBR 10004 (ABNT, 2004) e sua destinação final deve ser controlada tendo em vista os riscos ambientais associados.

Os resultados da caracterização realizada por meio de análise termogravimétrica são demonstrados na Figura 14.

Figura 15 – Análise TG para PET e pó de MDF.



Fonte: Autoria Própria (2018).

Observa-se que o PET se mostrou inicialmente um material termicamente estável até aproximadamente 400°C, sem alterações consideráveis em sua estrutura. A perda de massa e degradação iniciou após essa temperatura e ocorreu muito rápido, reduzindo a sua massa para próximo de 20% quando atingiu a temperatura de 450°C. Percebe-se que as amostras se decompõem praticamente em um único estágio em torno de 400°C e permanece uma quantidade pequena de resíduo ao final da análise. Nota-se que o PET é o material que apresenta a maior temperatura inicial de decomposição térmica (FERREIRA; FONSECA; SARON, 2010).

Para o pó de MDF, a análise TG apresentou três regiões distintas: a 1ª região está entre a temperatura ambiente e cerca de 100°C, representando a volatilização da água e extrativos presentes na madeira; a 2ª região, na qual ocorre a liberação da matéria volátil (entre 225-380°C); e a 3ª região (temperaturas acima de 380°C) em que ocorrem reações envolvendo produto carbonáceo (char) da reação da pirólise (FERREIRA *et al.*, 2014).

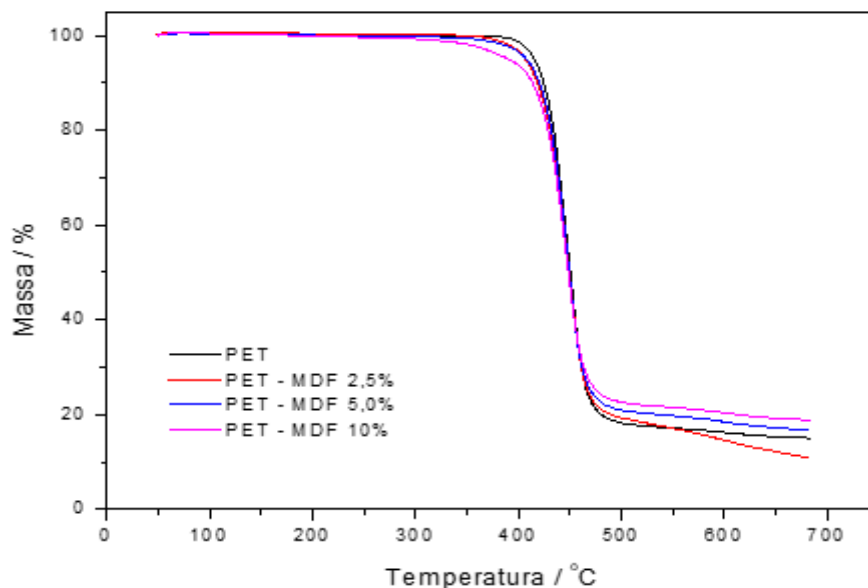
5.2 EFEITO DA ADIÇÃO DE MDF

5.2.1 Análise térmica

Foram realizadas análises térmicas e mecânicas para cada uma das amostras com os diferentes teores de adição de pó de MDF, 2,5%, 5% e 10%.

A TGA demonstra que há pouca variação de degradação da amostra em relação à inserção de pós de MDF até a quantidade de 5%, onde a temperatura inicial de degradação se manteve semelhante a do PET puro, em torno de 400° C. Porém quando a quantidade de MDF é aumentada para 10% a temperatura inicial de degradação cai para próximo de 300° C. A Figura 15 mostra os resultados das análises termogravimétricas com as diferentes porcentagens de MDF.

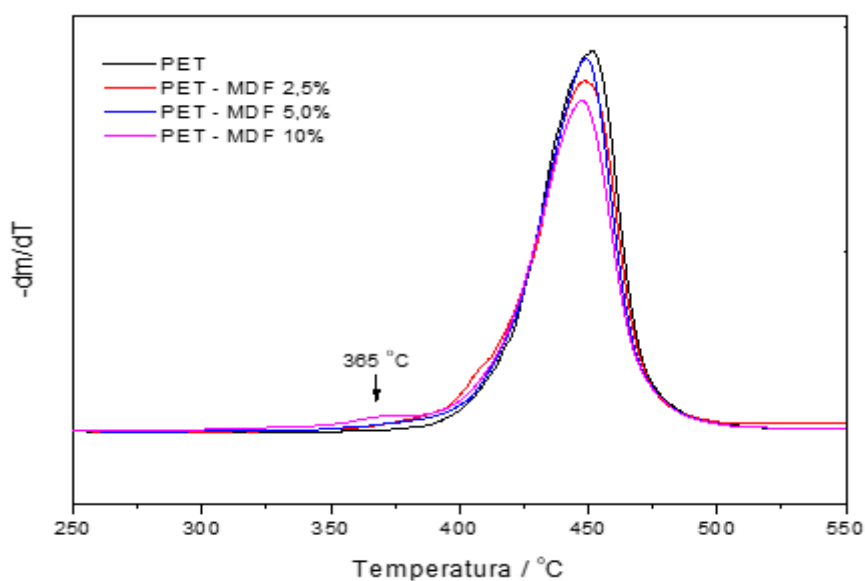
Figura 16 - Análise TG para PET e pó de MDF.



Fonte: Aatoria Própria (2019).

Na figura 16 é apresentada a DTG das amostras de PET e MDF. É possível observar que a adição de MDF reduz o ponto máximo de degradação das amostras. Além disso, com a adição do resíduo em maior proporção foi possível observar que ocorre mais uma etapa de degradação por volta dos 365 °C, devido à heterogeneidade dos materiais e segregação de fases. Isso torna a amostra inviável para uso como material de engenharia, pois possui alta instabilidade térmica.

Figura 17 – DTG para PET e pó de MDF.

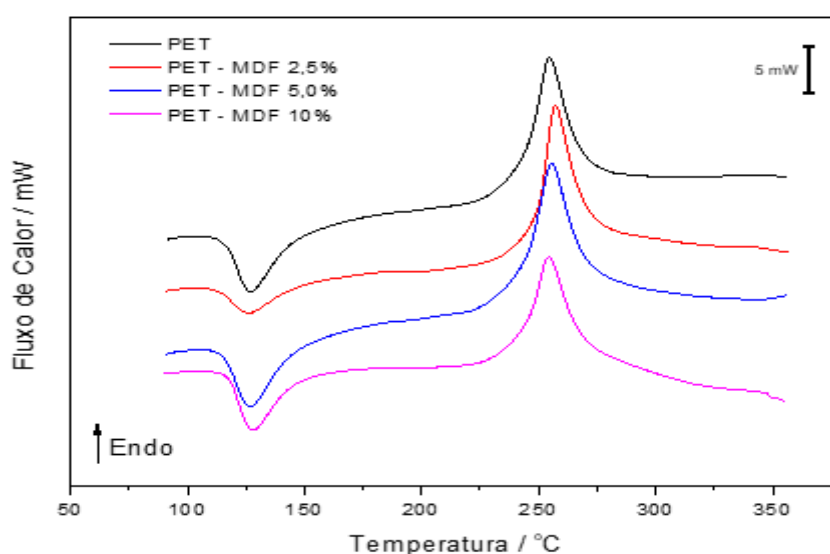


Fonte: Aatoria Própria (2019).

Ao analisar as curvas de DSC das amostras com diferentes porcentagens de adição de MDF, observou-se um evento exotérmico a 125 °C, atribuído à liberação de calor e pré-cristalização do PET. Foi possível verificar a boa interação entre os materiais até a porcentagem de 5% de resíduos, passando a ocorrer segregação de fases quando o teor de adição de MDF passou a 10%.

Em relação ao ponto de fusão, a adição de MDF em maiores porcentagens retardou o ponto de fusão, porém os valores ainda se mantêm próximos a 250°C.

Figura 18 – Termograma DSC para amostra de PET e blendas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

5.2.2 Análise mecânica

Para as amostras descritas nas análises acima, também foi realizado o ensaio de tração, no qual foi possível obter o módulo de Young ou módulo de elasticidade, a tensão e a deformação máximas. Os dados podem ser observados na Tabela 2.

A literatura traz que o módulo de Young obtido para o Polietileno (PET) virgem comercial varia entre 2,76 - 4,14 (GPa). (CALLISTER, 2007). Observou-se que a resistência à tração do PET virgem diminui em relação ao PET virgem comercial, devido ao processamento a que ele foi submetido na extrusora. Trombini, Agnelli e Tafuri (2000) trazem que a tensão máxima suportada pelo PET virgem é de 62,04 MPa, sendo que neste estudo também houve queda no valor encontrado devido ao processo que este material foi submetido. Com a confecção das blendas,

a adição de MDF foi diminuindo a resistência das amostras, e a queda na tensão máxima de deformação pode ser verificada na Tabela 2 e nas Figuras 18 e 19.

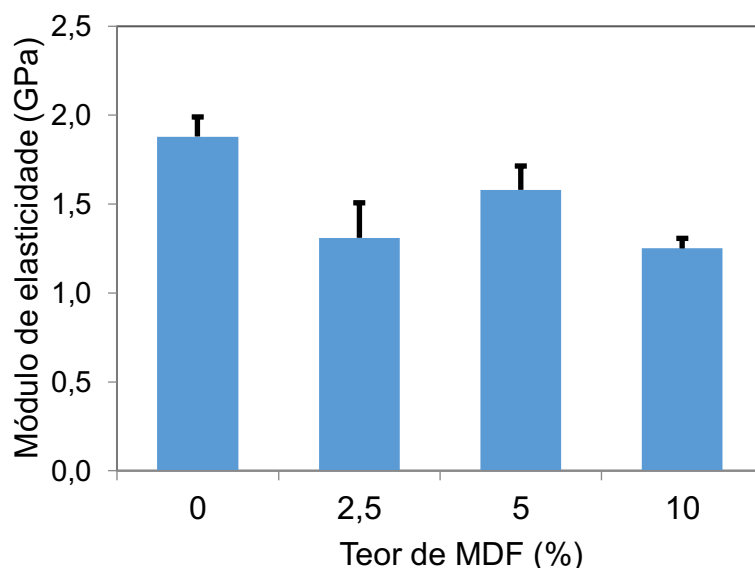
Tabela 2. Variação do módulo de Young e máxima deformação em relação à adição de MDF.

Material ou blenda	Módulo Young (GPa)		Máxima de deformação (mm)	
	Média	σ	Média	σ
Pet Puro	1,88	0,11	8,13	0,63
Pet /Mdf 2,5%	1,31	0,19	6,95	0,69
Pet /Mdf 5,0%	1,58	0,13	5,85	0,25
Pet /Mdf 10,0%	1,25	0,057	5,72	0,24

σ = desvio padrão

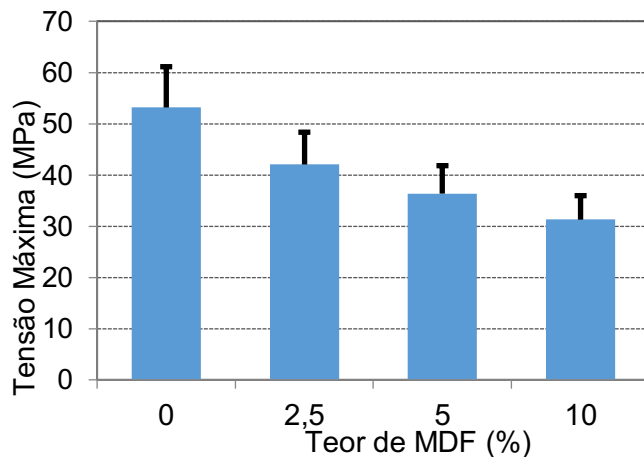
Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 19 – Gráfico de variação do módulo de Young dos compostos com adição de resíduo.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 20 – Gráfico de tensão máxima dos compostos com adição de resíduo.



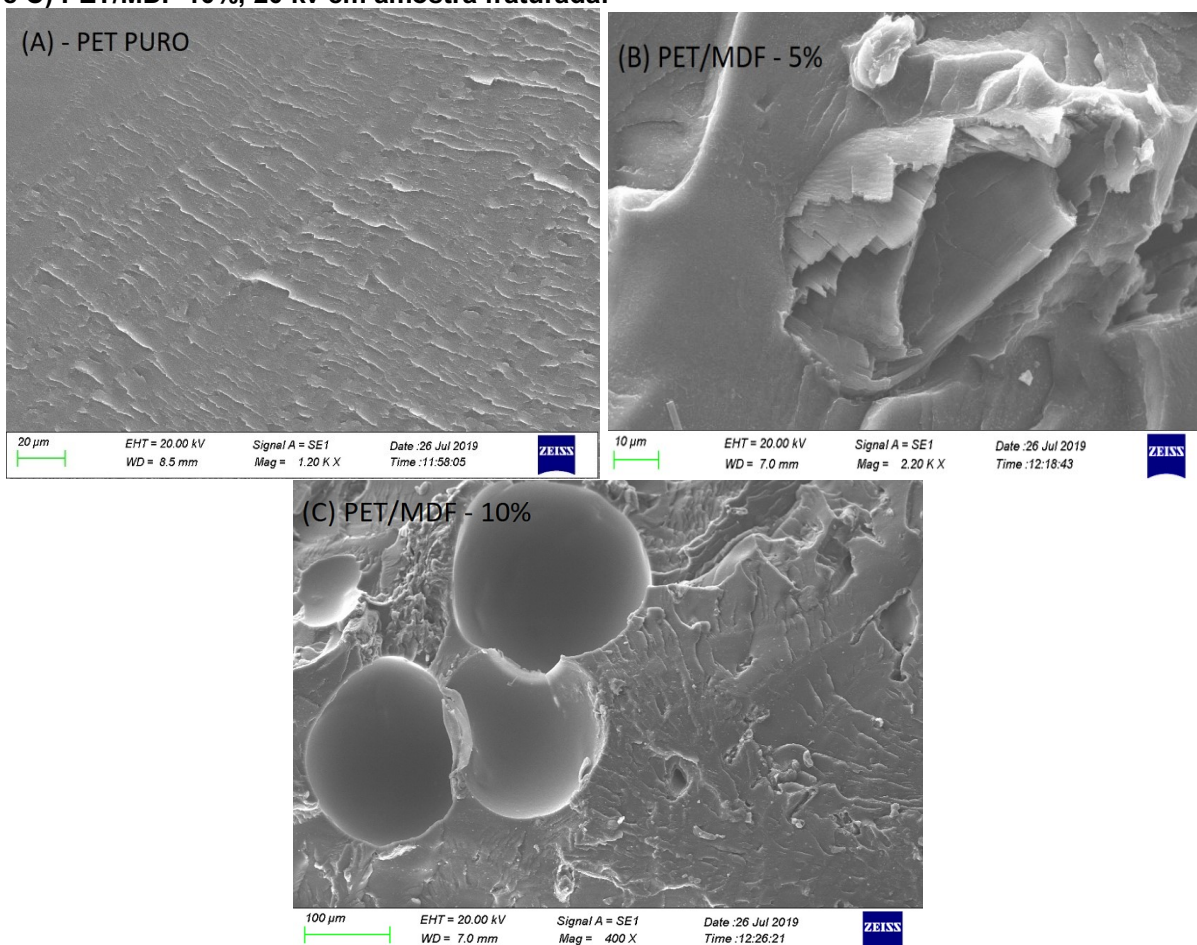
Fonte: Autoria Própria (2019).

5.2.3 Análise morfológica

Também foi realizado um estudo da morfologia das amostras com diferentes teores de resíduo de MDF em matriz de polietileno virgem, apresentado na Figura 20.

Observou-se que o material virgem apresentou morfologia com regiões lisas e rugosas, sem muitos espaços vazios, sendo um material homogêneo. Com a adição do resíduo de MDF, inicialmente, não foram verificadas alterações nas superfícies dos polímeros, porém com a porcentagem de 5% de resíduo já foi possível identificar com maior detalhe as alterações sofridas nas superfícies de fratura do polímero, bem como na estrutura da amostra, apresentando defeitos como bolhas e vazios. Isso sugere que não há homogeneidade entre os materiais. Este resultado foi verificado em um estudo semelhante feito por Luiz (2016), no qual a autora faz a aglomeração de PET e lignina.

Figura 21 – Microscopias eletrônicas de varredura das blendas, A) PET PURO, B) PET/MDF 5% e C) PET/MDF 10%, 20 kv em amostra fraturada.

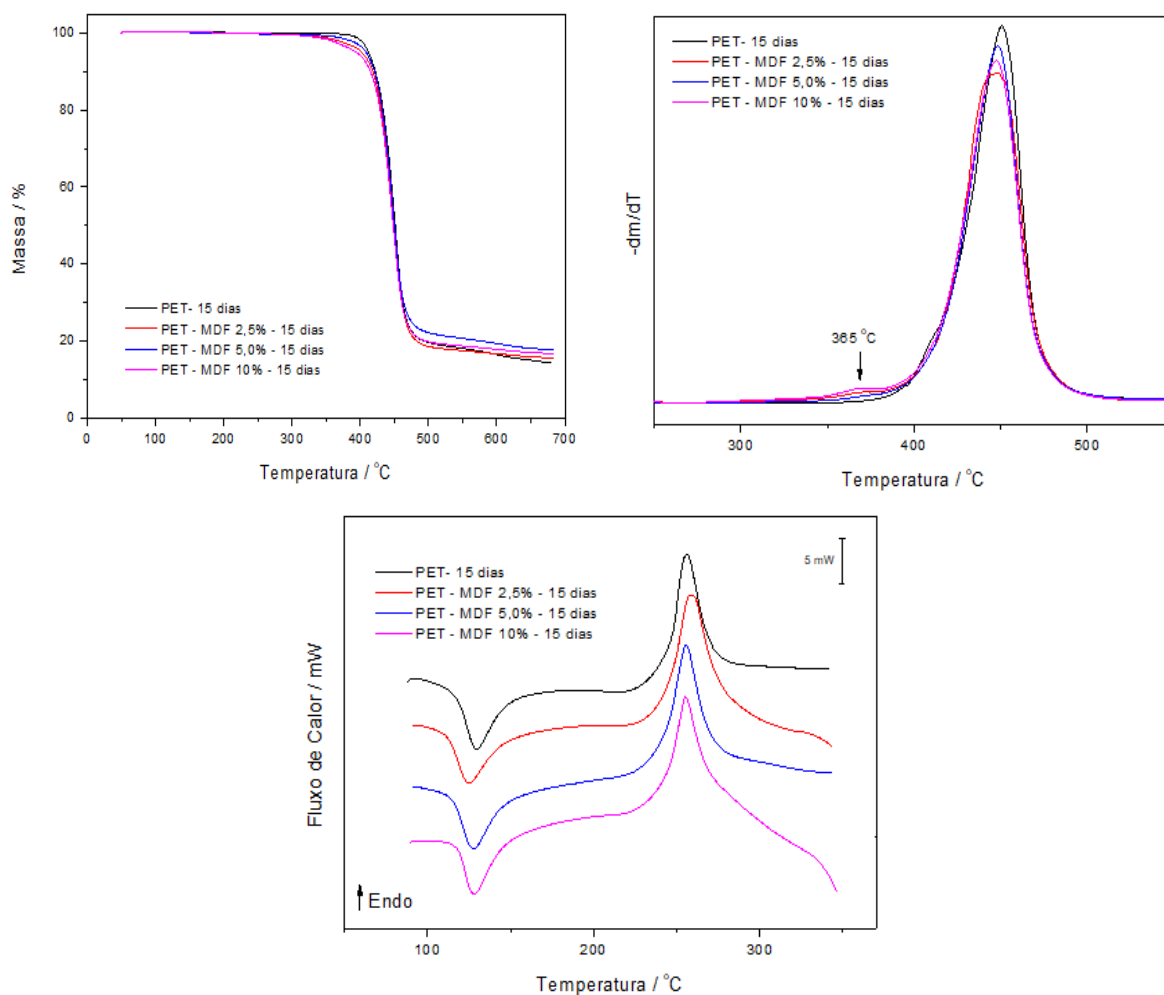


Fonte: Aatoria Própria (2019).

5.3 EFEITO RADIAÇÃO UV

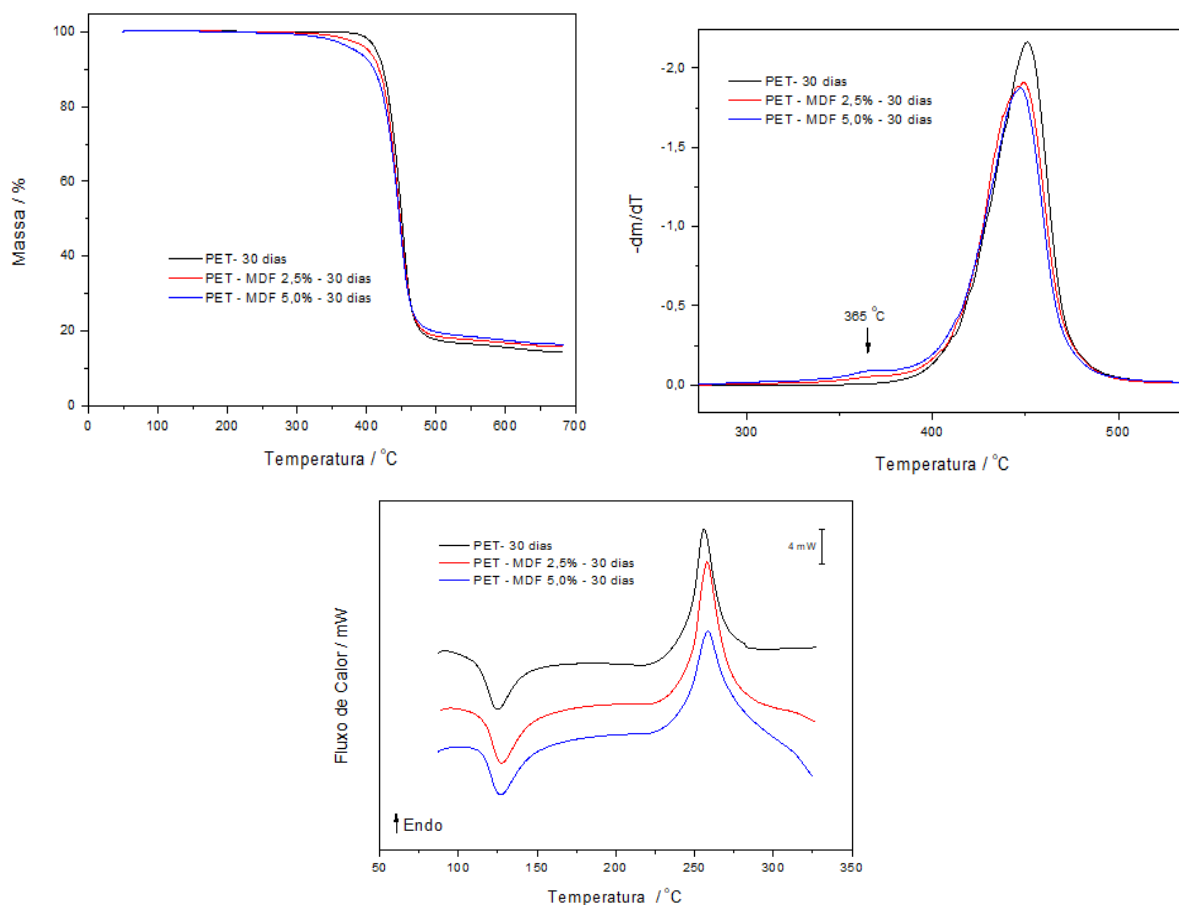
Os compósitos foram submetidos ao ensaio de degradação e caracterizados quanto às suas propriedades térmicas, visando constatar possíveis alterações em sua estrutura. As Figuras 21 e 22 mostram os resultados das análises térmicas, realizadas com as amostras submetidas á radiação UV acelerada por 15 dias e 30 dias, respectivamente.

Figura 22 – TG, DTG e DSC das amostras após 15 dias de exposição UV.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 23 – TG, DTG e DSC das amostras após 30 dias de exposição UV.



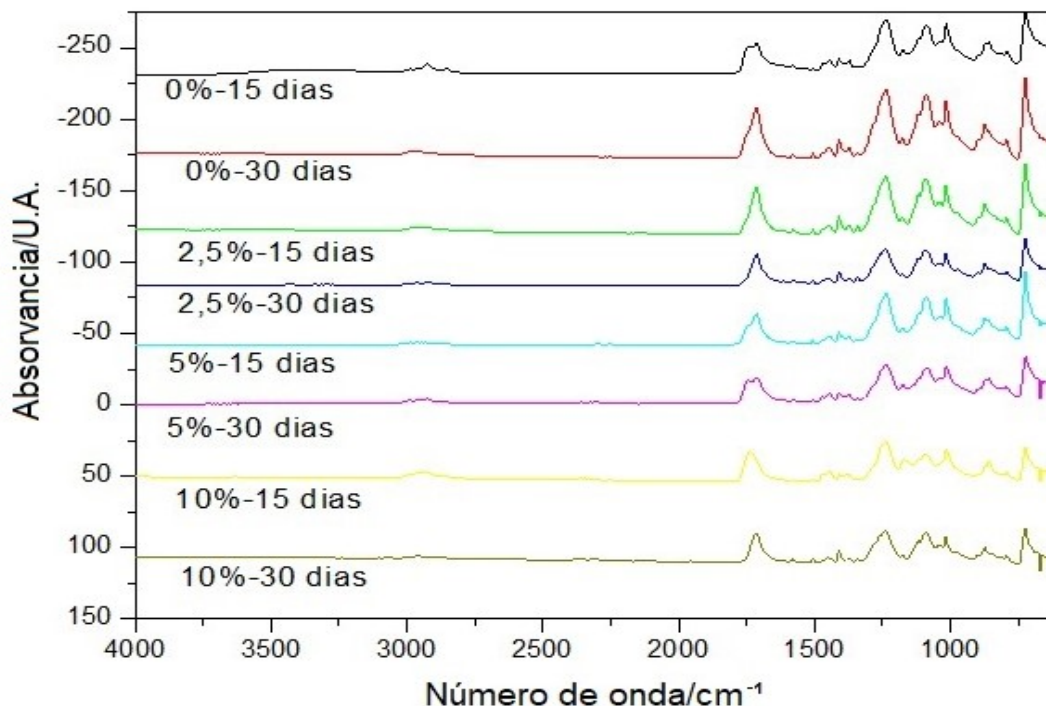
Fonte: Autoria Própria (2019).

Com os resultados obtidos através das análises térmicas pós UV, foi possível observar que de forma global a radiação promoveu uma diminuição no grau de cristalinidade de todas as composições. Isso pode ser atribuído à presença dos processos de oxidação acelerada que além de provocar uma maior redução da massa molar, causa uma modificação da estrutura do polímero com a entrada de grupos oxigenados e carbonila que diminuem a regularidade da estrutura polimérica, podendo ainda contribuir para a formação de novas ligações polares.

Observa-se nas Figuras 21 e 22, que todas as amostras apresentam um único evento de perda de massa. A temperatura de início da degradação do compósito também não sofreu grandes alterações, para as porcentagens de 2,5% e 5%. Para a amostra de PET/MDF 10%, que inicialmente tinha sua temperatura inicial de degradação próximo a 350°C, após o ensaio UV, adquiriu uma resistência inicial maior, iniciando seu processo de degradação próximo a 400°C. Isso pode indicar que a adição de MDF tornou o composto mais estável inicialmente.

A fim de comprovar os resultados obtidos nas análises TG, dTG e DSC, foi realizado novamente o ensaio de espectroscopia no infravermelho, após a exposição dos compósitos a radiação UV.

Figura 243 –Espectro FTIR para compósitos após exposição a câmara UV.



Fonte: Aatoria Própria (2019).

Observando os resultados é possível verificar as modificações da matriz polimérica, e que a adição de pó de MDF em matriz de PET, aliado a exposição ao envelhecimento acelerado em câmara ultravioleta provocou pequenas alterações nas bandas de deformação características do PET.

A banda de deformação axial na região de 2900 cm^{-1} que é referente ao grupo C-H, vai desaparecendo conforme a concentração de MDF e o tempo de envelhecimento são aumentados, bem como as demais bandas referentes a degradação do PET (1715 cm^{-1} para grupo C=O, 1238 cm^{-1} para o grupo (C=O)-O, 722 cm^{-1} deformações (C=C)-H fora do plano) também sofrem mudanças.

Isso indica que houve modificação da matriz polimérica virgem quando adicionado o resíduo de MDF e realizada a exposição à radiação UV podendo ocasionar alterações das propriedades mecânicas dos compósitos em relação à matriz pura.

Além disso, após o envelhecimento em câmara UV, foi realizado novamente o ensaio de tração. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Variação do módulo de Young após envelhecimento em câmara UV.

	Módulo de Young (Gpa)		
	PRÉ UV	15 DIAS UV	30 DIAS UV
Pet Puro	1,88	1,34	1,41
Pet /Mdf 2,5%	1,31	1,42	1,35
Pet /Mdf 5,0%	1,58	1,29	1,37
Pet /Mdf 10,0%	1,25	1,38	1,36

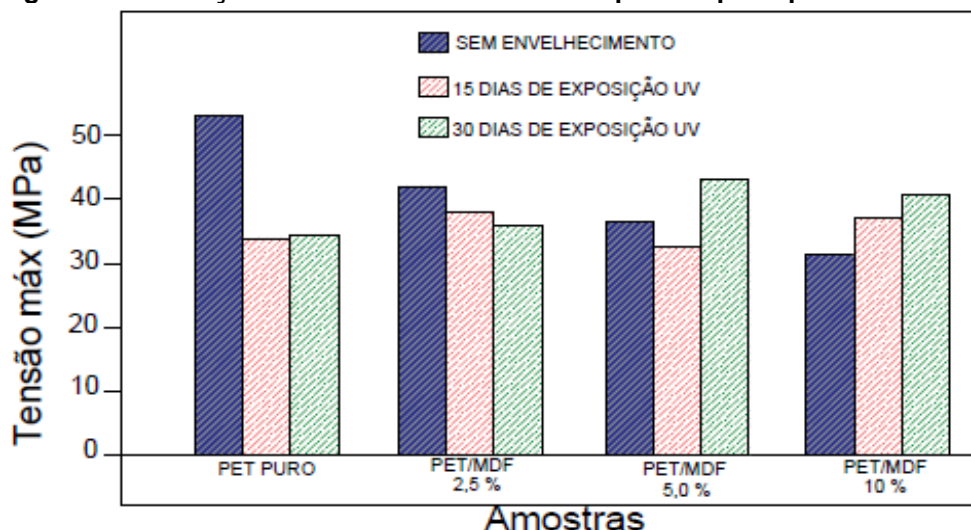
Fonte: Autoria Própria (2019).

Constatou-se que o módulo de elasticidade diminuiu consideravelmente após 15 dias de exposição ao envelhecimento acelerado em câmara de UV, para o PET virgem e para a amostra com teor de resíduo 5,0%, voltando a subir após 30 dias. Para as amostras com teor de resíduo 2,5% e 10% o módulo de elasticidade sofreu um pequeno aumento após 15 dias de UV, se mantendo estável até os 30 dias UV.

Em seu estudo, Kreutz (2019) analisou a fotodegradação de poliestireno aglomerado com resíduo de MDF, e também constatou um pequeno aumento no módulo de elasticidade no decorrer do processo de fotodegradação, que ocorre provavelmente devido a reações de reticulações que podem ocorrer durante o processo fotodegradativo da fase borrachosa presente nos polímeros.

Na Figura 23 é possível analisar as variações ocorridas na tensão máxima suportada pelos compósitos.

Figura 24 – Variação da tensão máxima nos compósitos pré e pós-envelhecimento.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Observou-se que o PET virgem foi o material que mais sofreu alteração em suas propriedades, tendo uma queda de aproximadamente 40% na tensão máxima suportada, após 15 dias, e se mantendo estável após 30 dias. Além disso, é possível concluir que a adição do resíduo de MDF até a porcentagem de 5% aumenta a estabilidade do compósito, sendo que na proporção 2,5% houve pouca variação na tensão máxima suportada pelo composto pré e pós-envelhecimento em câmara UV.

6 CONCLUSÃO

Por meio desse estudo foi possível concluir que a adição de pó de MDF em matriz de PET tende a melhorar a estabilidade térmica do PET até o limite de 10% de adição de MDF, a partir do qual não se obtém mais êxito na melhoria da estabilidade.

Além disso, os compósitos que obtiveram a melhor estabilidade foram os com adição de 2,5% e 5% de pó de MDF, sendo que o de 2,5% foi o melhor compósito, o qual apresentou menos variações nas análises e a possível criação de novos grupos funcionais que otimizam a interação entre os componentes. Foi possível verificar que a adição de quaisquer das porcentagens utilizadas de pó de MDF em matriz de PET não provoca alterações na temperatura de degradação.

Os compósitos desenvolvidos apresentaram homogeneidade até o limite de 5% de adição de pó de MDF, sendo que a partir desse limite é possível observar a ocorrência de alterações nas superfícies do polímero, como formação de bolhas e aglomerados de fibras. Os compósitos desenvolvidos apresentam resistência adequada para uso como materiais de engenharia, exceto para o compósito contendo adição de 10% de pó de MDF, o qual demonstra-se inviável para tal uso devido a menor resistência apresentada.

Conclui-se assim que os resíduos de PET e MDF podem ser utilizados na confecção de compósitos poliméricos, configurando-se em uma alternativa para o aproveitamento ecoeficiente destes resíduos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que os compósitos desenvolvidos neste estudo com adição de até 5% de pó de MDF foram os que apresentaram os melhores resultados e maior viabilidade para uso como materiais de engenharia, sugere-se para estudos futuros que sejam feitas análises de compósitos com a adição de MDF em níveis intermediários de 0% a 5%, como modo de aprimorar o compósito e expandir suas aplicabilidades.

REFERÊNCIAS

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Partículas de Madeira (MDP) e Painéis de Fibras de Madeira (MDF)**. 8. ed. São Paulo: TESIS, 2014. 23 p.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. **Resina PET - História**. 2012. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=46>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. **Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. 10 ed. Brasil, 2016. 12 p. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 18 set. 2018

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2018. 73 p. Disponível em: <https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE_grappa_panoramaAbrelpe_ago_v4.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ABU-SHARKH, B. F.; HAMID, H. Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. **Polymer Degradation And Stability**, v. 85, n. 3, p. 967-973, set. 2004.

ALONSO, Janaína G. *et al.* Modificação química de poli(tereftalato de etileno) pós-consumo por reação com ácido sulfúrico: estrutura e propriedades. **Polímeros**, v. 15, n. 1, p. 27 - 32, mar. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v15n1/24191.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ANTHRAPER, Dhanya *et al.* Hydrothermal deconstruction of municipal solid waste for solid reduction and value production. **Journal Of Cleaner Production**, v. 201, p. 812 - 819, nov. 2018.

BENINI, Kelly C. C. de C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/99334?show=full>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

BERTHIER, Hector C. Garbage, work and society. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 39, n. 3, p.193-210, out. 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222659275_Garbage_Work_and_Society>. Acesso em: 25 jun. 2019

BINHUSSAIN, Mohammed A.; EL-TONSY, Maher M.. Palm leave and plastic waste wood composite for out-door structures. **Construction And Building Materials**, v. 47, p. 1431-1435, out. 2013.

BRAINER, Maria S. de C. P. Setor Moveleiro: Aspectos Gerais e Tendências no Brasil e na Área de Atuação do BNB. **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 3, n. 34, p. 1 - 22, jun. 2018. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/3585904/moveis_34-2018.pdf/f0e0657f-a6c2-db33-f139-04d95692453e>. Acesso em: 25 jun. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2 ago. 2010.

CALLISTER, Jr., W. D. Módulo de elasticidade secante tomado em 25% do limite de resistência à ruptura. **Materials Science and Engineering**. 7 ° ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9, n. 1, p. 29-40, 2004.

CASSILHA, Antonio C. *et al.* Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Educação & Tecnologia**, n. 8, p. 209-228, set. 2004. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/revedutect/article/view/1142/739>>. Acesso em: 17 set. 2018.

COSTA, Elayne C. da S.; CAVALCANTE, Marcos da S. **Gerenciamento de resíduos sólidos**: estudo de caso de uma construtora de grande porte. 2009. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Biológicas, Unidade de Ensino Superior Sul do Maranhão, Imperatriz, 2009.

CURTI, Priscila Schroeder. **Estudos da reação de despolimerização do poli(tereftalato de etileno), PET, pós-consumo em meio alcalino anidro: parâmetros cinéticos e termodinâmicos**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp071521.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

DANTAS, Rosanne de L. F. **Estudo morfológico da blenda polimérica poli(metacrilato de metila)/poli(tereftalato de etileno) reciclado (PMMA/PET)**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12739/1/EstudoMorfol%c3%b3gicoBlenda_Dantas_2011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.

DEDAVID, Berenice A., GOMES, Carmem I., MACHADO, Giovanna **Microscopia eletrônica de varredura : aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre : EDIPUCRS, 2007.

DAS, Oisik; SARMAH, Ajit K.; BHATTACHARYYA, Debes. A sustainable and resilient approach through biochar addition in wood polymer composites. **Science Of The Total Environment**, v. 512-513, p. 326-336, abr. 2015.

FERREIRA, Caio T; FONSECA, Juliana B. da; SARON, Clodoaldo. Reciclagem de rejeitos de poli(tereftalato de etileno) (PET) e de poliamida (PA) por meio de extrusão reativa para a preparação de blendas. **Polímeros**, v. 21, n. 2, p.118-122, 13 maio 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v21n2/AOP_0721.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2018.

FEPAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Portaria Estadual nº 9, de 08 de fevereiro de 2012. Dispõe sobre o regramento para o uso de derivados de madeira, em especial MDP e MDF (Medium Density Fiberboard e Medium Density Particleboard), não contaminados, como combustível alternativo/principal. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS, 15 fev. 2012. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=238776>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

FONSECA, Érika da S. *et al.* Reutilização de resíduos de MDF de pequenas marcenarias da cidade de Itu – SP. In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 6., 2018. **Anais...** Bento Gonçalves, 2018. p. 1 - 7. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=139&ano=_sexto>. Acesso em: 26 jun. 2019.

FRANCHETTI, Sandra M. M.; MARCONATO, José C. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p.811-816, jul. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v29n4/30263.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2019.

FUKUDA, Kazuhiko; DOI, Yoshiharu. **Biodegradable plastics and polymers: proceedings of the Third International Scientific Workshop on Biodegradable Plastics and Polymers**. Osaka: Elsevier, 1994. 646 p.

GOMES, Jailton W. *et al.* Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros**, v. 27, p. 48-55, 16 mar. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v27nspe/0104-1428-po-0104-14281915.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

GOTO, Motonobu. Chemical recycling of plastics using sub- and supercritical fluids. **The Journal Of Supercritical Fluids**, v. 47, n. 3, p.500-507, jan. 2009.

GU, Jin *et al.* Isolation of cellulose nanocrystals from medium density fiberboards. **Carbohydrate Polymers**, v. 167, p. 70-78, jul. 2017.

HILLIG, Éverton *et al.* Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 299-310, abr. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v32n2/a13v32n2.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. **What a waste?: a global review of solid waste management**. Washington, DC: World Bank, 2012. 116 p. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/302341468126264791/pdf/68135-REVISED-What-a-Waste-2012-Final-updated.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Ibá 2017**. Brasil: Studio 113, 2017. 77 p. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2019.

ISOLDI, Ana B. G. **Estudo do efeito da dose de radioesterilização sobre as propriedades do poli(tereftalato de etileno) - PET reciclado**. 2003. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Ciências, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Ana%20Beatriz%20Godoy%20Isoldi_M.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2019.

JOHN, Maya J.; THOMAS, Sabu. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 343-364, fev. 2008.

JOSEPH, P. V. *et al.* Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science And Technology**, v. 62, n. 10-11, p. 1357-1372, ago. 2002.

KIRBAS, Z.; KESKIN, N.; GUNER, A. Biodegradation of Polyvinylchloride (PVC) by White Rot Fungi. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 63, n. 3, p. 335-342, 1 set. 1999.

KREUTZ, Juliana C. **Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de poliestireno e MDF**. 2019. 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2019. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/4364>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

LEE, Jinn-shing; HSU, Chung-king; CHANG, Chih-long. A study on the thermal decomposition behaviors of PETN, RDX, HNS and HMX. **Thermochimica Acta**, v. 392-393, p. 173-176, set. 2002.

LEI, Yong; WU, Qinglin. Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate). **Bioresource Technology**, v. 101, n. 10, p. 3665-3671, maio 2010.

LIMA, Elaine G. de. **Diagnóstico ambiental de empresas de móveis em madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas – PR**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/1195/Dissertacao%20Elaine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 set. 2018.

LOU, Xianfang F.; NAIR, Jaya. The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions: a review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 16, p. 3792 - 3798, ago. 2009.

LUIZ, Franciele Natividade. **Processamento e avaliação físico-química de madeira sintética de blendas extrudadas com politereftalato de etileno (PET) e lignina kraft**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/2928>>. Acesso em: 18 set. 2017.

MACHADO, Miriam L. C. *et al.* Estudo das propriedades mecânicas e térmicas do polímero Poli-3-hidroxitirato (PHB) e de compósitos PHB/pó de madeira. **Polímeros**, v. 20, n. 1, p. 65-71, 12 mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v20n1/aop_0472.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2018.

MANCINI, Sandro D.; BEZERRA, Maxwell N.; ZANIN, Maria. Reciclagem de PET advindo de garrafas de refrigerante pós-consumo. **Polímeros**, v. 8, n. 2, p. 68 - 75, jun. 1998. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v8n2/8320.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2018

MATOS, Tássio F. L.; SCHALCH, Valdir. Composição dos resíduos poliméricos, pós-consumo, gerados no município de São Carlos, SP. **Polímeros**, v. 17, n. 4, p.346-351, dez. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v17n4/a16v17n4.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

MARIN, Eder P. **Espectroscopia de Infravermelho e Suas Aplicações**. 2013. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Física, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119826>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

NORBU, Tenzin; VISVANATHAN, C.; BASNAYAKE, Ben. Pretreatment of municipal solid waste prior to landfilling. **Waste Management**, v. 25, n. 10, p. 997 - 1003, jan. 2005.

OBATA, Yoshihiro *et al.* Recycling of wood waste as sustainable industrial resources — Design of energy saving wood-based board for floor heating systems. **Energy**, v. 31, n. 13, p. 2341-2349, out. 2006.

PENG, Yao; LIU, Ru; CAO, Jinzhen. Characterization of surface chemistry and crystallization behavior of polypropylene composites reinforced with wood flour, cellulose, and lignin during accelerated weathering. **Applied Surface Science**, v. 332, p. 253-259, mar. 2015.

PETRY, J. Responsabilidade ambiental: reciclagem e reutilização de garrafas PET. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.6, n.3, p. 72 - 86, 2012.

PIEKARSKI, Cassiano M. *et al.* Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. **Science Of The Total Environment**, v. 575, p. 103-111, jan. 2017.

POSSIDONIO, M. A. V.; CORDEIRO, G. C.; VIEIRA, J. D. Estudo da degradação por radiação ultravioleta de compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro. In: CONFLICT – Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica, 2., 2010, **Anais...** Rio de Janeiro, 2010. p. 1 - 4. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/conflict/article/view/2649/1497>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

REDDY, C. S. K. *et al.* Polyhydroxyalkanoates: an overview. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 2, p. 137 - 146, abr. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402002122>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A. S.; PAOLI, Marco-A. de. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, v. 19, n. 2, p.121-132, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a09.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. *et al.* **Embalagens plásticas flexíveis**: principais polímeros e avaliação de propriedades. Campinas: CETEA; ITAL, 2002.

SILVA, Diogo A. L. *et al.* Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 7, p. 1404-1411, 9 maio 2013.

SPINACÉ, Márcia A. da S.; PAOLI, Marco A. de. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p.65-72, fev. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

TEIXEIRA, Adriane de O. **Avaliação de oportunidades de implementação de P+L em uma marcenaria de pequeno porte e proposta de ecoproduto**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Tecnologia Ambiental, UNISC, Santa Cruz do Sul, 2011.

TORIKAI, Ayako; HASEGAWA, Hirose. Accelerated photodegradation of poly (vinyl chloride). **Polymer Degradation And Stability**, v. 63, n. 3, p. 441 - 445, mar. 1999.

TROMBINI, R. C., AGNELLI, J. A. M., TAFURI, R. M. **Comportamento Mecânico do PET, do PEN e das blendas poliméricas PET/PEN** – Congresso Brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 14., 2000, São Pedro - SP

UEHARA, Gabriel A. **Estudo de blenda polimérica PET/PE aplicado na reciclagem de aparas de filmes multicamadas**. 2013. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/917?show=full>>. Acesso em: 05 set. 2018.

VIANNA, Wladimir L.; CORREA, Carlos A.; RAZZINO, Carlos A. Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira. **Polímeros**, v. 14, n. 5, p. 339-348, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v14n5/23068.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

VICHESSI, Raquel B., RUVOLO, Adhemar C. Filho. **Estudo do Efeito do Envelhecimento sob Radiação UV no Transporte de Água em Filmes de PET Reciclados de Bebidas Carbonatadas**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 4, p. 326-333, 2008

WILDNER, Marcus V. **Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário**. 2015. 119 f. TCC (Graduação) - Curso de Design, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/867/1/2015MarcusViniciusWildner.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

XU, Tao; LI, Guoqiang; PANG, Su-seng. Effects of ultraviolet radiation on morphology and thermo-mechanical properties of shape memory polymer based syntactic foam. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 10, p.1525-1533, out. 2011.