

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE PEAD E REFORÇO MDF: design como ferramenta para reutilização de matérias-primas

*DEVELOPMENT OF COMPOSITES WITH AN HDPE MATRIX AND MDF REINFORCEMENT:
Design as a tool for the reuse of raw materials.*

SCHÜLER, Carla Cristine; Graduada; Universidade Feevale

carlacristineschuler@gmail.com

CARÚS, Lauren Arrussul; Doutora; Universidade Feevale

lauren@feevale.br

MORISSO, Fernando Dal Pont; Doutor; Universidade Feevale

morisso@feevale.br

LAUX, Felipe Nunes; Mestrando; Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha

laux@liberato.com.br

TAVARES, Rafael Reche; Mestrando; Universidade Federal do Rio Grande do Sul

rafaelrechetavares@gmail.com

Resumo

A pesquisa aplicada em design viabiliza o reaproveitamento e desenvolvimentos de novos materiais, sendo o desenvolvimento de um compósito uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos de pós consumo, como as embalagens poliméricas produzidas em larga escala e resíduos de MDF da indústria moveleira, classificados como tóxicos, que são geralmente encaminhados para aterros sanitários ou à incineração. Por meio das técnicas de TGA, DSC, FT-IR e Microscopia de Luz, o atual trabalho apresenta a caracterização do polietileno (PE) proveniente de embalagens e resíduos de MDF, objetivando a obtenção de um compósito para aplicação em produtos de design. Os resultados mostram a influência do MDF na coloração do compósito obtido .

Palavras Chave: primeira palavra; segunda palavra; terceira e última palavra.

Abstract

Applied research in design enables the reuse and development of new materials, with the development of a composite being an alternative for the reuse of post-consumer waste, such as polymeric packaging produced on a large scale and MDF waste from the furniture industry, classified as toxic, which are generally sent to landfills or incineration. Through TGA, DSC, FT-IR, and Light Microscopy techniques, the current work presents the characterization of polyethylene (PE) from packaging and MDF waste, aiming to obtain a composite for application in design products. As a result, two composites with different MDF percentages were obtained. The results show compatibility between the matrix phase and the reinforcement phase.

Keywords: *first keyword; second keyword; third and last keyword.*

1 Introdução

A crescente preocupação mundial a respeito da preservação ambiental, evidencia a necessidade de ações que contribuam para minimizar os impactos que atividades industriais, comerciais e até residenciais podem causar ao meio ambiente. No Brasil, desde 2010, por meio da Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, foram estabelecidas diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos promovendo estratégias para que materiais recicláveis não sejam dispostos em aterros. No entanto, ainda é comum que essas matérias-primas não tenham um destino adequado. Devido a isso, o desenvolvimento de pesquisas que busquem soluções que promovam a reciclagem, reuso ou reaproveitamento é um dever social.

Dentre os resíduos sólidos existentes, os produzidos em ambientes industriais e urbanos são os que acabam tendo maior impacto sobre os designers, uma vez que estes profissionais estão em fábricas projetando produtos que acabam gerando rejeitos fabris e produção de lixo por parte dos consumidores finais. Compreende-se por resíduos industriais aqueles provenientes dos processos produtivos e por resíduos sólidos urbanos (RSU) os resultantes das atividades domésticas e comerciais gerados pela população (CRUZ et al, 2011).

Os insumos poliméricos constituem 22% dos RSU em sistemas de coleta seletiva no Brasil, correspondendo ao segundo maior percentual mássico produzido. Esses materiais apresentam estabilidade frente aos processos naturais de degradação, motivo pelo qual são vistos como uma das maiores problemáticas ambientais da atualidade (CRUZ et al, 2011). Mesmo possuindo potencial para reciclagem, a gestão inadequada dos resíduos sólidos poliméricos resulta diariamente em milhões de toneladas de RSUs destinados de modo inadequado a aterros sanitários.

De baixo custo e fácil processamento, os polímeros são muito utilizados na manufatura de produtos monouso e bens não-duráveis, principalmente em embalagens, tornando-se resíduos pós-consumo em menos de um ano (BATTISTELLE et al, 2014). Entre as muitas variedades de materiais poliméricos, os termoplásticos polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e politereftalato de etileno (PET) são os mais consumidos, representando cerca de 90% do mercado nacional (SPINACÉ e PAOLI, 2004).

Considerando o fator de alta produção e baixo índice de reutilização, os polímeros termoplásticos pós-consumo devem ser apontados como uma fonte potencial de matéria-prima. Os polietilenos, tanto de alta densidade (PEAD) quanto de baixa densidade (PEBD), correspondem a aproximadamente 35% dos resíduos sólidos encontrados em grandes cidades (CESTARI, 2014). Devido a essa maior presença dos materiais plásticos no meio urbano, iniciativas que visam a reciclagem, reuso ou reaproveitamento de PE são bastante benéficas, pois destinam-se a minimizar a quantidade de resíduos sólidos descartados de modo inadequado, promovendo economia de recursos naturais, não renováveis.

Dentre os resíduos industriais problemáticos para os designers, o MDF tem despertado grande preocupação. Isso porque, os painéis de MDF se tornaram o principal produto brasileiro de madeira reconstituída. Em 2019, o país produziu cerca de 8.610 mil m³ de painéis, mantendo a posição de 8º lugar no ranking mundial de maiores produtores (IBÁ, 2019). Os resíduos sólidos industriais gerados a partir desse material são constituídos, em sua maioria, pelo pó proveniente do corte das chapas, recortes e sobras. Sendo de responsabilidade dos geradores o manejo e o tratamento destes passivos ambientais (RECALCATTI et al, 2020).

Atualmente, os rejeitos de MDF, de qualquer origem ou tamanho, possuem duas destinações. A primeira, está prevista na Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos, neste caso o

material é encaminhado para Centros de Resíduos Industriais. O custo para a empresa geradora é de aproximadamente R\$ 850,00 por tonelada. Porém, na maioria dos casos, pequenos e médios geradores, acabam recorrendo do segundo tipo de destinação, considerada clandestina, ou ilegal. Neste caso, os resíduos de MDF são lançados em lixões ou queimados sem nenhum tipo de controle causando impactos ambientais (JOHANSSON, 2016).

O MDF é composto por resinas sintéticas, como uréia-formaldeído, tanino-formaldeído ou melamina-uréia-formaldeído. Por isso, seus resíduos são classificados como I, pela norma NBR 10.004-2004, ou seja, material tóxico (ABNT, 2004). Sendo assim, a sua queima ou uso como componente de briquetagem deve ser controlada, evitando a emissão de gases tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana (KREUTZ, 2019).

Uma das maneiras de enfrentar a questão dos polímeros pós-consumo descartados é por meio de iniciativas que promovam políticas envolvendo a economia circular (VASCONCELOS, 2019). Pela mesma perspectiva os passivos ambientais gerados pelo consumo de produtos de MDF também poderiam ser considerados. Buscando uma alternativa para o uso dos resíduos citados, o estudo de materiais se torna fundamental para os designers. Assim como, a conscientização sobre a importância do reaproveitamento e da reciclagem como atividades projetuais.

As pesquisas que utilizam rejeitos de MDF o empregam como fase reforço na conjugação com polímeros virgens (KREUTZ, 2019). Enquanto o material das embalagens pós-consumo é avaliado somente em relação a viabilidade de reprocessamento para a reciclagem. A combinação de resíduos visando o desenvolvimento de novos materiais é pouco explorada, principalmente, quando se trata de compósitos, visto que este é resultado de fases heterogêneas que possuem atributos das matérias-primas originais (CALLISTER, 2008).

Compreender materiais de modo efetivo, exige estudos a respeito de técnicas instrumentais que possibilitem o entendimento das suas diferentes propriedades físico-químicas. Mas, para que um material seja novamente utilizado é preciso que o designer tenha como princípio enxergar nos resíduos a possibilidade de reciclagem e, a partir deste momento, o empregue no desenvolvimento de um novo produto.

Esta pesquisa tem como objetivo viabilizar o emprego de dois resíduos, polietileno (PE), proveniente de embalagens, e rejeitos de MDF, oriundos da indústria moveleira, para a manufatura de um material produtivo. Deste modo, após o descarte, estes poderão ser vistos pelos designers como insumos na produção de uma nova opção de compósito. Esta proposta baseia-se nos ideais de design sustentável no qual se busca soluções para amenizar o uso de recursos naturais por meio da escolha de materiais oriundos de fontes renováveis, como os de reaproveitamento e de reciclagem.

Para o desenvolvimento do novo material foram necessárias análises técnicas dos resíduos utilizados como matérias-primas, tais como FT-IR, TGA, DSC e Microscopia. E, a partir destes rejeitos duas formulações de compósitos foram desenvolvidas, uma contendo 2% de MDF na composição e a outra 4%. As amostras de compósito foram injetadas e tiveram suas propriedades mecânicas e ópticas avaliadas de modo comparativo. Na perspectiva do design foram considerados os aspectos inversão de seleção de materiais, conceito que consiste no desenvolvimento da matéria-prima antes da definição de quais produtos será aplicado. No caso desta pesquisa, o ponto de partida se deu pela reutilização de resíduos pós consumo e industriais.

2 Referencial teórico

2.1 Materiais compósitos

Compósitos são definidos como um material heterogêneo resultante da junção física de duas ou mais matérias-primas diferentes. O resultado dessa conjugação, geralmente têm propriedades superiores aos materiais que lhe deram origem (CALLISTER, 2008).

Caracterizados por uma fase contínua, denominada como matriz e por uma fase dispersa, conhecida como reforço ou carga, os compósitos têm suas características vinculadas às proporções dos seus constituintes. A fase matriz responsável por dar estrutura ao compósito pode ser formada por materiais polímeros, cerâmicos ou metálicos. Enquanto na fase reforço, são normalmente empregadas partículas sólidas ou fibras. Para compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa precisa considerar a razão de aspecto entre comprimento e diâmetro, essa relação, influencia diretamente as propriedades de resistência e dureza do material (HILLIG, 2006).

Os compósitos poliméricos, fazem uso dos materiais plásticos como fase matriz, na fase reforço podem ser utilizadas partículas ou fibras. Para a conjugação entre os materiais é necessário que haja interação química e/ou física entre as fases polimérica e o reforço, proporcionando a transferência de esforços mecânicos da matriz polimérica para a fase dispersa. Os compósitos podem ser classificados de acordo com o esforço gerado pelo tipo de reforço em: (a) materiais compósitos cujo reforço principal é unidimensional (fibras), (b) compósitos com reforço principal bidimensional (plaquetas) e (c) compósitos com fase descontínua é tridimensional (esferas) (GOMES, 2008).

Existem inúmeras formas utilizadas para a confecção de materiais compósitos poliméricos. Muitas fazem uso de processos tradicionais adotados na manufatura de produtos termoplásticos. Compósitos de matriz termoplástica, como o caso do PEAD empregado neste trabalho, geralmente são processados por extrusão e moldagem por injeção. Ambas às técnicas usadas no processamento e na confecção dos compósitos dos corpos de prova desenvolvidos nesta pesquisa.

2.2 Medium-Density Fiberboard - MDF

As placas de fibra de média densidade, popularmente conhecidas como MDF, estão entre os materiais mais empregados na indústria moveleira e de maior taxa de consumo doméstico (KREUTZ, 2019). Em 2020, mesmo diante de um cenário de desaceleração econômica mundial, o volume de vendas domésticas de painéis de madeira no Brasil, foi de 6,9 milhões de m³, sendo o valor de 3,9 milhões de m³ para o MDF (IBA, 2020). Desenvolvidas na década 60, as placas de fibra de média densidade são um marco de mudança tecnológica, devido ao seu processamento ocorrer via seco e de modo menos poluente, quando comparado com a fabricação úmida de chapas duras (BENADUCE, 1998 e SANTIAGO, 2007).

No processo de manufatura de placas de MDF, fibras de madeira são aglutinadas com resina sintética formando um compósito homogêneo, consolidado por prensagem a quente. As chapas formadas não possuem veios, nós ou outras imperfeições típicas da madeira natural. O material ainda apresenta características como estabilidade dimensional e excelente usinabilidade, tanto nas bordas, quanto nas faces (BIRLEM, 2020; TORQUATO, 2008 e LIMA, 2006).

As matérias-primas básicas utilizadas para a fabricação de placas de MDF são geralmente, a madeira de Pinus ou Eucalipto, obtidas a partir do processo de corte e resina como uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e melamina-formaldeído. Quando comparadas, a resina de uréia-

formaldeído apresenta como vantagem o baixo custo, porém, as placas produzidas possuem menor resistência à umidade, enquanto a resina fenólica, embora seja de maior custo, garante ao painel maior resistência à umidade (BENADUCE, 1998 e IWAKIRI *et al*, 2005).

Desde a década de 80, por questões ambientais, as indústrias passaram a utilizar painéis construídos a partir de madeira reflorestada, preservando as nativas. A produção de painéis também tem se mostrado uma alternativa de aproveitamento de resíduos da indústria madeireira e de outras atividades florestais. Durante um longo período, estes resíduos eram descartados em aterros ou incinerados, visando aproveitamento energético. Devido a isso, a produção de painéis tem apelo ecológico. No entanto, ainda assim, a manufatura de MDF tem sofrido pressão para minimizar os impactos gerados à saúde e ao meio ambiente (KREUTZ, 2019).

Os resíduos produzidos durante a manufatura do MDF, bem como os gerados na fabricação de móveis, se apresentam na forma de particulados como serragem, maravalha, farinha, pó, ou, como no caso da indústria moveleira, pequenos pedaços sólidos. Este material, devido a conjugação com resina, é considerado Classe I pela norma NBR 10.004-2004, ou seja, resíduo tóxico e, muitas vezes, é destinado à reciclagem energética. Esta reciclagem baseia-se no princípio de transformação de rejeitos em energia por meio de combustão. A queima dos componentes orgânicos do MDF é carcinogênica e emite gases poluentes, provenientes da combustão das substâncias aldeídicas, parafinas e extratos da madeira (TEIXEIRA, 2017 e KREUTZ, 2019). Neste contexto, buscar uma alternativa para o melhor aproveitamento destes particulados vem ao encontro com os princípios do ecodesign, favorável à adoção e ao desenvolvimento de materiais que minimizem os impactos ao meio ambiente e à saúde. Os resíduos das placas de fibra de média densidade possuem potencial econômico ainda pouco explorado e as preocupações ambientais propiciam o estudo de novos materiais que possam auxiliar na solução desta problemática.

2.3 Polietileno de Alta Densidade - PEAD

O polietileno é o material de maior presença na composição dos resíduos plásticos descartados. Motivo pelo qual diversos estudos vêm sendo desenvolvidos empregando esta poliolefina como fase contínua no desenvolvimento de compósitos poliméricos, mais especificamente a de alta densidade (CESTARI 2014).

O PEAD é obtido por meio da poliadição do monômero de etileno formado em cadeia linear. Suas propriedades são influenciadas pela estrutura química, peso molecular, grau de cristalinidade e densidade. Esses fatores, como o aumento da densidade, por exemplo, ocasiona um aumento do ponto de amolecimento, da rigidez e da dureza superficial e, conseqüentemente, uma diminuição da resistência ao impacto. De modo geral, o material possui ponto de fusão próximo a 127°C e densidade entre 0,95 - 0,97 g/cm³ (GRISON, 2015 e HILLIG, 2006).

De estrutura simples e grande versatilidade, este polímero pode ser empregado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, sendo facilmente moldado por diversos processos de fabricação como sopro, extrusão, injeção e outros. Cerca de 30% do consumo mundial de PEAD destina-se à fabricação de produtos conformados por sopro, na qual são exigidas características específicas como resistência à queda, ao empilhamento e a produtos químicos. Pelo processo de injeção, este termoplástico é utilizado na confecção de produtos como baldes e bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, entre outros. Devido ao fato de ser um termoplástico não tóxico também pode ser usado na indústria alimentícia e farmacêutica (COUTINHO *et al*, 2003 e CANDIAN, 2007).

O uso de PEAD em compósitos tem sido estudado por diversos autores. Este material pode ser reforçado com os mais diversos tipos de carga, como partículas minerais e fibras vegetais ou sintéticas (CESTARI, 2014, HILLING, 2006 e GRISON, 2015). O uso de fibras aumenta as propriedades de resistência mecânica do material, garantindo melhor desempenho aos produtos (CESTARI, 2014 e HILLING, 2006). Fibras naturais, como as de madeira, apresentam como vantagem a baixa densidade, o baixo custo e alta disponibilidade uma vez que são provenientes de fontes renováveis e sofrem poucos danos durante o processamento (HILLING, 2006).

O estudo de PEAD como matriz polimérica traz grande apelo em relação a reciclagem de produtos pós-consumo, visto que, é um material altamente empregado na manufatura de embalagens. Esta prática pode trazer reflexos socioeconômicos relacionados diretamente com a melhoria da qualidade de vida da população, além, de reduzir a quantidade de resíduos sólidos plásticos destinados a aterros sanitários ou a reciclagem energética (CANDIAN, 2007).

2.4 Reciclagem Mecânica

Não é difícil compreender o crescimento exponencial dos polímeros nas últimas décadas. Os plásticos são materiais leves e resistentes que possibilitam inovação e desenvolvimento para a sociedade. No entanto, é de se admirar que o Brasil, quarto maior produtor de resíduo plástico do mundo, ainda apresente um baixo índice de reciclagem, cerca de 25,8% segundo a Abiplast (*apud* VASCONCELOS, 2019).

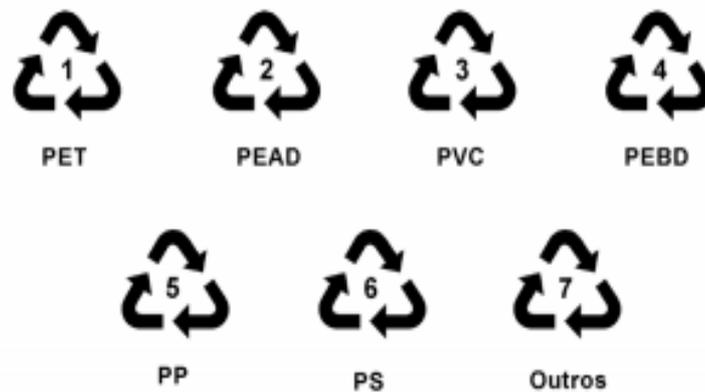
O processo de reciclagem de materiais poliméricos pode ser classificado em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária. A *reciclagem primária* está voltada para os resíduos poliméricos industriais. Trata-se da conversão desses materiais em produtos com características semelhantes às daquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens. Os rejeitos do processo produtivo como aparas, galhos de injeção e outros, são moídos e reinseridos no processamento. A *reciclagem secundária* transforma, por meio de processos ou uma combinação de processos, resíduos sólidos urbanos em matérias-primas para o desenvolvimento de novos produtos. Nesses casos, os produtos manufaturados têm uma menor exigência de mercado do que aqueles nos quais são utilizados polímeros virgens, por exemplo, reciclagem de embalagens de PP para obtenção de sacos de lixo (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005). A *reciclagem terciária*, também chamada de reciclagem química, tem como base a conversão dos materiais poliméricos em moléculas menores, como produtos químicos intermediários, através da utilização de calor e/ou tratamento químico. Neste tipo de reciclagem, é possível se obter polímeros novos com qualidade semelhante às virgens. O último tipo de reciclagem, *reciclagem quaternária*, é processo energético. Trata-se de uma técnica empregada quando o reuso do resíduo não é prático ou viável economicamente. Nesses casos, é possível fazer uso de seu conteúdo energético através da incineração (FIGUEIREDO et al, 2015).

Quando tratamos de resíduos termoplásticos pós-consumo, o processo de reciclagem pode ser viabilizado pelo emprego de técnicas mecânicas como extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão e outros.

Para o processo de reciclagem mecânica, que geralmente é empregado na reciclagem primária e secundária, são necessários alguns procedimentos que incluem as seguintes etapas: 1) separação do resíduo polimérico, 2) moagem, 3) lavagem, 4) secagem, 5) reprocessamento e finalmente, a transformação do polímero em produto acabado. Podem existir algumas variações nestas etapas devido à procedência e o tipo de material, além das diferenças de investimentos e equipamentos utilizados nas plantas de processamento (FIGUEIREDO et al, 2015).

A etapa de separação dos polímeros, que ocorre junto com a coleta, é considerada uma fase muito importante, pois nesta, são eliminadas a maioria dos contaminantes como vidros, metais, papéis e outros. No Brasil, a coleta é realizada por catadores, cooperativas ou pela municipalidade. A maioria das empresas de reciclagem no país são de pequeno porte e a separação dos polímeros é feita de modo manual por meio da identificação da simbologia contida no produto, conforme mostra a Figura 1 (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Figura 1 - Simbologia empregada na identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)



Fonte: Spinacé e De Paoli (2005)

Testes simples também podem ser empregados para identificar materiais poliméricos, como os de densidade (teste mais empregado), ensaio de queima - aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, entre outros. Em alguns casos, a identificação também pode ser realizada de acordo com o produto, em garrafas de refrigerante, por exemplo, o material pet é mais abundante (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Depois da separação, os resíduos poliméricos são encaminhados para a etapa de trituração e moagem, onde ocorre a redução de tamanho do material. Essa fase é necessária pois permite transformar o polímero em pequenas partículas, sendo o mais adequado para o posterior reprocessamento. O fracionamento das embalagens pode ocorrer em dois estágios, o primeiro usando um triturador para se obter partículas grandes de aproximadamente 25-50 mm e em seguida essas partículas são cominuídas em flocos de menores (PESSOA, 2018).

Após a moagem, os materiais poliméricos são higienizados por meio de lavagem em tanques aquecidos contendo água ou solução detergente. A água de lavagem pode ser tratada e reutilizada no processo de limpeza e secagem do material pode ocorrer de modo mecânico ou térmico. Ao final dessas etapas o material está pronto para o reprocessamento (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

Para que o processo de reciclagem de polímeros possa atuar de modo contínuo são necessárias quatro condições básicas: 1) o fornecimento de material bruto para uma organização adequada de coleta, separação e esquemas de pré-tratamento, 2) tecnologia de conversão adequada, 3) mercado para o produto reciclado e 4) viabilidade econômica. Embora o abastecimento de materiais recicláveis seja uma crescente, a capacidade de convertê-los em produtos usáveis é bem menor, por esse fator torna-se difícil o planejamento de um sistema completo (SPINACÉ e DE PAOLI, 2005).

2.5 Design e Materiais

O avanço da ciência e da tecnologia faz com que novos materiais e processos de fabricação sejam emergentes. Isto é de grande importância para a área do design que contribui para novas experiências do usuário e para as possibilidades de inovação em produtos. Os designers são responsáveis por planejar e viabilizar a materialização de objetos e, para isso, é imprescindível que os profissionais tenham conhecimento a respeito dos materiais, entendendo suas características físico-químicas e processamentos. Além disso, a profissão exige a compreensão do projeto de produto como um todo, considerando os níveis econômicos, tecnológicos e culturais da sociedade (CALEGARI; OLIVEIRA, 2013, apud, SANTOS, 2005; SCHNEIDER, 2010).

Os materiais podem ser considerados como uma das fontes mais ricas de inovação e por si, muitas vezes, são capazes de promover o design inovador. Por sua essência também podem continuar existindo além dos produtos constituídos a partir deles, exigindo que a sociedade desenvolva constantes estudos e discussões sobre os impactos ambientais gerados pelo seu descarte inadequado (LIMA, *J et al*, 2018). Ao chegar ao fim do ciclo de vida de um produto dois direcionamentos têm sido realizados, os materiais podem ser incinerados ou reprocessados. Esse último, possibilita que o resíduo seja transformado em matéria-prima secundária, processo também conhecido como reciclagem, viabilizando a criação de novos produtos. A reutilização de materiais também propicia a redução do uso de recursos virgens, o que pode ser considerado uma grande vantagem ambiental, pois minimiza os impactos de processos como extração, beneficiamento etc. (MANZINI E VEZZOLI, 2002).

Nos percursos da reciclagem os materiais podem ser direcionados ao processo em anel fechado, que se refere aos materiais pré-consumo, ou em anel aberto, referente aos pós-consumo. Entre os maiores estímulos para o processo de reciclagem encontram-se dois fatores: a redução substancial do volume de resíduos urbanos e a recuperação de valores contidos neles. No entanto, os plásticos advindos do pós-consumo, devido a sua procedência e mistura com produtos diversificados, podem ser mais difíceis de serem reciclados, perdendo valor de mercado. A maioria dos resíduos são oriundos da indústria de embalagens e chamam bastante atenção devido a sua fácil descartabilidade, resistência à degradação e leveza (ROLIM, 2000).

Quando se trata de reciclagem pós-consumo é imprescindível ações que identifiquem e caracterizem os materiais. Somente deste modo, é possível transformar resíduos em matéria-prima secundária. Também é fundamental que o design seja atuante, projetando produtos duráveis a partir de reciclados ou colaborando para o desenvolvimento de novos materiais, principalmente os fundamentados nos processos sustentáveis (MANZINI E VEZZOLI, 2002 e LIMA *et al*, 2018).

A sustentabilidade relaciona-se com os materiais quando aplica diretrizes para desenvolvimento de produtos, nas quais se destacam: usar materiais reciclados e com potencial reciclável, empregar materiais renováveis e escolher técnicas de produção alternativas, com pouca geração de resíduos (LIMA *et al*, 2018).

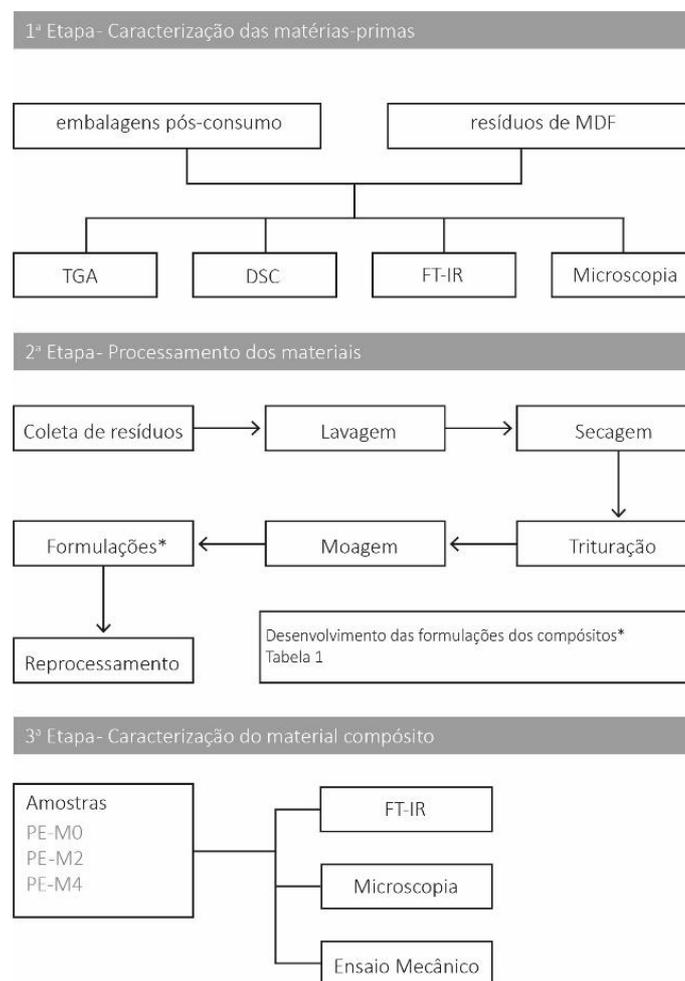
O emprego de matérias-primas oriundas de reciclagem secundária para manufatura de compósitos pode resultar em uma ação sustentável, quando tratamos sob as perspectivas do design. Do ponto de vista da engenharia dos materiais, as propriedades dos compósitos devem ser criteriosamente analisadas por meio de testes que mensuram suas características mecânicas, elétricas, térmicas e outras. Porém, as qualidades deste material também podem ser consideradas pela ótica ou objetivo dos seus idealizadores (LIMA *et al*, 2018). Desse modo, os designers podem ter como propósito a viabilidade de combinação entre resíduos, visando um aumento do ciclo de vida do material por meio do seu emprego em produtos de maior durabilidade. As pesquisas em

materiais, desde o princípio da humanidade, buscam aperfeiçoá-los. No entanto, é imprescindível que no campo do design se estimule estudos que visem a redução do impacto dos materiais ao meio ambiente.

3 Materiais e Métodos

Esta pesquisa foi dividida em três etapas principais, conforme apresentado no fluxograma da Figura 2. A primeira etapa trata da caracterização das matérias-primas. A segunda, do processamento dos materiais e das formulações desenvolvidas para os compósitos. Por fim, a terceira etapa compreende a caracterização do material desenvolvido.

Figura 2 - Fluxograma de atividades desenvolvidas



Fonte: Do autor (2021)

3.1 Caracterização das matérias-primas

Os resíduos de MDF e de PEAD de embalagens foram previamente caracterizados por meio das seguintes técnicas:

Análise Termogravimétrica (TGA): Técnica de caracterização na qual os materiais têm suas propriedades e comportamento analisados quando submetidos a temperatura. Nas amostras

poliméricas é utilizada para inferir a degradação por meio da variação da massa sofrida em relação ao tempo e a temperatura. Neste trabalho, os ensaios foram conduzidos de 0 a 1000°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min em atmosfera de nitrogênio, utilizando equipamento Shimadzu (modelo TGA-51H).

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC): As curvas do ensaio de DSC foram obtidas sob atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo de calor de 0 a 25°C, razão de aquecimento de 10°C/min e temperaturas de 0 a 200°C. O PEAD puro teve sua propriedade física e seus produtos de reação medidos em função de aumento de calor a fim de identificar fenômenos como ponto de fusão, cristalização e transição vítrea. O equipamento utilizado nesta pesquisa é da marca Perkin Elmer (modelo DSC 4000/6000). As curvas de DSC foram obtidas sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de calor de 0 a 25°C e razão de aquecimento de 10°C/min.

Espectroscopia por Transformada de Fourier (FT-IR): A espectroscopia foi utilizada para caracterizar os grupamentos químicos presentes nos materiais. As análises foram realizadas em espectrômetro de modelo Spectrum Two (Perkin Elmer), com acessório Universal (UATR), na faixa de varredura de 450 a 4000 cm⁻¹. Tanto o espectro de fundo (background) quanto o das amostras foram coletados a partir de 4 varreduras. Os espectros tiveram suas linhas de base corrigidas computacionalmente pelo software de controle do equipamento.

Microscopia Óptica: As imagens de microscopia óptica foram obtidas em um Estereomicroscópio marca Karl Zeiss, modelo Stemi 508, com aproximações de 25X e 64X.

3.2 Processamento dos materiais

As embalagens de PEAD pós-consumo foram coletadas em uma empresa especializada em reciclagem na cidade de Nova Hartz, Rio Grande do Sul. O material encontrava-se na forma de galões utilizados para o transporte e venda de produtos de limpeza. O polietileno foi, previamente, higienizado e seco a temperatura ambiente. Posteriormente, o polímero foi levado ao Centro de Tecnologias Limpas – CTL para dar sequência à etapa de reprocessamento.

Os polímeros foram triturados de modo preliminar, em grandes fragmentos, fazendo uso de moinho de facas marca SEIBT, modelo TS 2X20/500. A cominuição foi realizada em moinho de facas, modelo MG HS 1.5/85 e marca SEIBT.

As formulações de compósitos, apresentadas na Tabela 1, foram avaliadas de modo comparativo com as amostras de PEAD puro (PE-M0). A primeira formulação fez uso de 2% de MDF na composição (PE-M2). A segunda, teve o percentual de MDF dobrado atingindo 4% (PE-M4). Os percentuais de MDF testados tiveram como base o trabalho publicado por Kreutz (2019).

Tabela 1 - Formulações dos compósitos para fabricação dos corpos de prova

Amostras	Teor de PEAD (%)	Teor de MDF
PE- M0	100	-
PE- M2	98	2
PE- M4	96	4

Fonte: Do autor (2021)

As formulações mostradas na Tabela 1 foram homogeneizadas utilizando extrusora monorosca, modelo ES25, marca SEIBT com quatro zonas de aquecimento. A extrusão é um processo contínuo no qual o material é aquecido gradualmente e homogeneizado produzindo filamentos. Os parâmetros de temperatura utilizados para foram 167°C, 171°C, 176°C, para as três primeiras zonas, e 178°C, para a zona de fusão. Após esta etapa, o material foi peletizado em peletizadora modelo AxGran da marca Ax Plásticos. Na sequência, o material foi injetado para confecção dos corpos de prova.

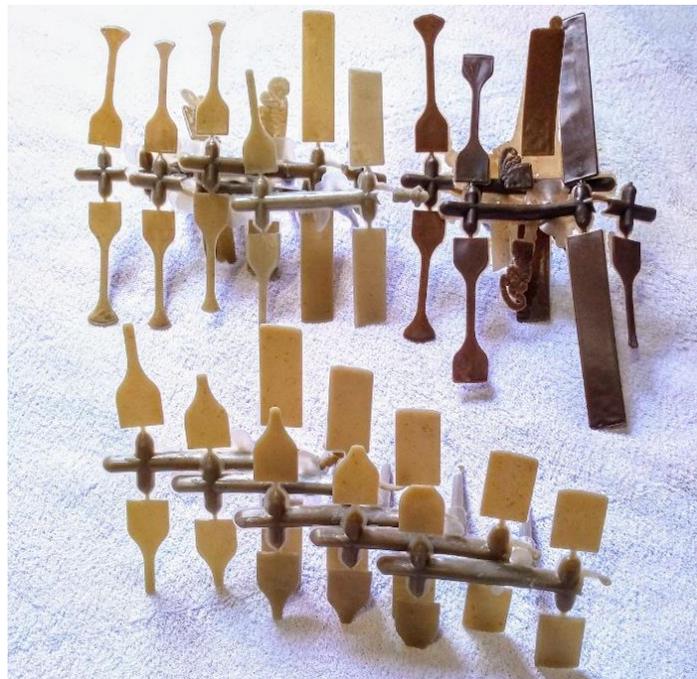
3.2.1 Testes de injeção

As formulações desenvolvidas foram injetadas utilizando uma injetora BONMAQ, modelo APTA80, com quatro zonas de aquecimento. Os corpos de prova seguiram a normativa ASTM D638 – 10, que pode ser aplicada tanto para materiais não reforçados como reforçados.

As amostras de PE-M0 tiveram os seguintes parâmetros de perfil de temperatura: 199°C, 199°C, 206°C e 221°C, esta última refere-se à temperatura de controle do bico injetor. A pressão de injeção foi de 190 MPa com velocidade de 99s.

Os testes de injeção dos corpos-de-prova com as formulações de compósito resultaram em preenchimento incompleto do molde (Figura 3), fator relacionado ao baixo Índice de Fluides (IF) do PEAD. Embalagens conformadas por sopro apresentam IF próximo a 0,35 enquanto as resinas utilizadas para injeção possuem IF superior a 7,2 (BRASKEM, s.d). A fim de melhorar as condições do processo foram acrescidos 2% de PEBD virgem, sobre o peso total das composições formuladas com MDF.

Figura 3 - Imagem fotográfica das amostras PE-M2 e PE-M4 com defeitos de injeção



Fonte: Do autor (2021)

As formulações contendo PEBD também foram homogeneizadas em extrusora, com os parâmetros de 167°C, 171°C, 173°C e 178°C para a zona de fusão. Após esta etapa, o material foi

peletizado. A confecção dos corpos de prova das amostras de compósitos PE-M2 e PE-M4 tiveram como parâmetros de injeção de 200°C, 210°C, 210°C e 219°C, com pressão de 190 MPa e velocidade de 99s. Ao total, foram injetadas quatro amostras por formulações.

3.3 Ensaio mecânico

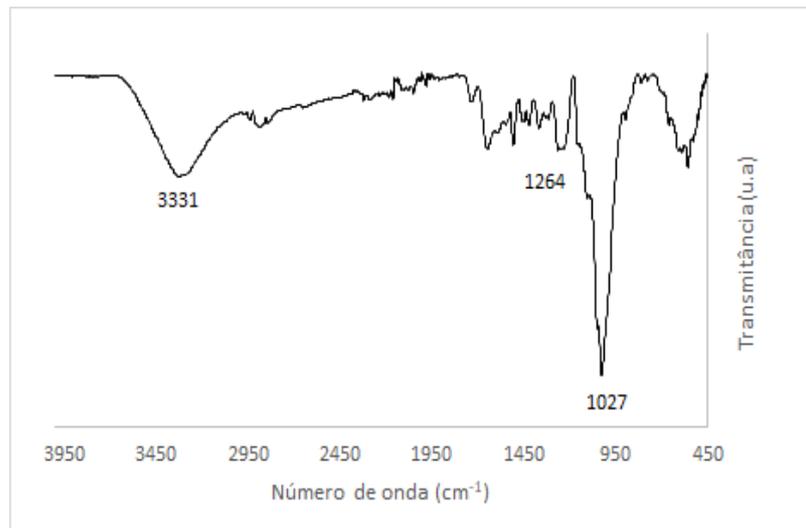
O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração axial num corpo de prova padronizado, promovendo a deformação do material na direção do esforço. Neste ensaio, foram utilizados corpos de prova no formato de gravata borboleta, confeccionados por injeção. O equipamento utilizado foi uma máquina de ensaio universal modelo DL 500, marca EMIC, com célula de força de 500 kgf e uma taxa de 5 mm/min.

4 Resultados e discussões

4.1 Análise dos resíduos utilizados como matérias-primas secundárias

A espectroscopia do resíduo de MDF é apresentada na Figura 4. Infere-se pelos espectros obtidos uma larga banda de absorção em 3331,83 cm^{-1} atribuída ao estiramento de O-H, esta faixa corresponde a umidade absorvida pela celulose e pela resina uréia-formaldeído, componentes estruturais dos painéis de madeira compensada. Os dados também mostram uma banda de transmitância na região de 1264,68 cm^{-1} , referente ao estiramento C-O, característico do grupo acetil presentes na lignina e na hemicelulose, ambas estruturas macromoleculares dos tecidos vegetais. A vibração de C-O e O-H foi registrada no espectro a 1027,61 cm^{-1} , essa banda é atribuída aos polissacarídeos presentes na molécula (KREUTZ, 2019).

Figura 4 - Espectro de FTIR do resíduo de MDF



Fonte: Do autor (2021)

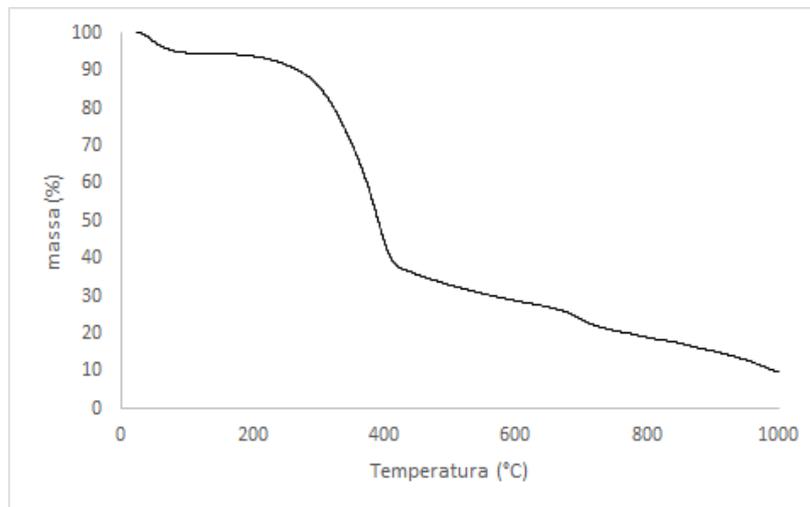
A avaliação da curva termogravimétrica, na qual ocorre a perda de massa em função da temperatura do resíduo de MDF, é apresentada na Figura 5. De acordo com os dados foram registradas três regiões de perdas de massa. A primeira, é identificada entre as faixas de temperatura de 35°C a 100°C, essa, é diretamente associada à total evaporação da água e aos extrativos existentes nos componentes da madeira. Conforme o TGA, a perda de massa nesta faixa

de temperatura foi de aproximadamente 6,5%.

A segunda perda apresentada no ensaio térmico, ocorre próximo a 300°C e se estende até cerca de 400°C, nessa faixa de temperatura ocorre a degradação das fibras do material, ocasionando uma perda de ~56 % de massa, também, é nessa região em que um dos principais componentes químicos do MDF, a resina uréia-formaldeído, se decompõe, concomitante, aos demais aditivos presentes no produto (BIRLEM, 2020 e FERREIRA, 2015).

O último estágio, no qual ocorre a terceira perda de massa, inicia a partir de 410°C e continua até a temperatura final do ensaio. Nele estão registradas as reações de produtos carbonáceos e pirólise (BIRLEM, 2020 e FERREIRA, 2015).

Figura 5 - Curva termogravimétrica do resíduo de MDF



Fonte: Do autor (2021)

A Figura 6 apresenta a morfologia do rejeito de MDF. Conforme imagem obtida em microscopia, o resíduo é constituído de fibras com elevada razão de aspecto entre comprimento e espessura. Infere-se pela Figura 6 que há desorganização na distribuição das fibras, ou seja, as mesmas não estão dispostas de modo paralelo ou ordenado, fato que pode estar relacionado ao desfibramento que ocorre durante o processo de manufatura das chapas de MDF (BIRLEM, 2020).

Figura 6 - Imagem obtida em microscopia óptica do resíduo de MDF, aumento de 64x

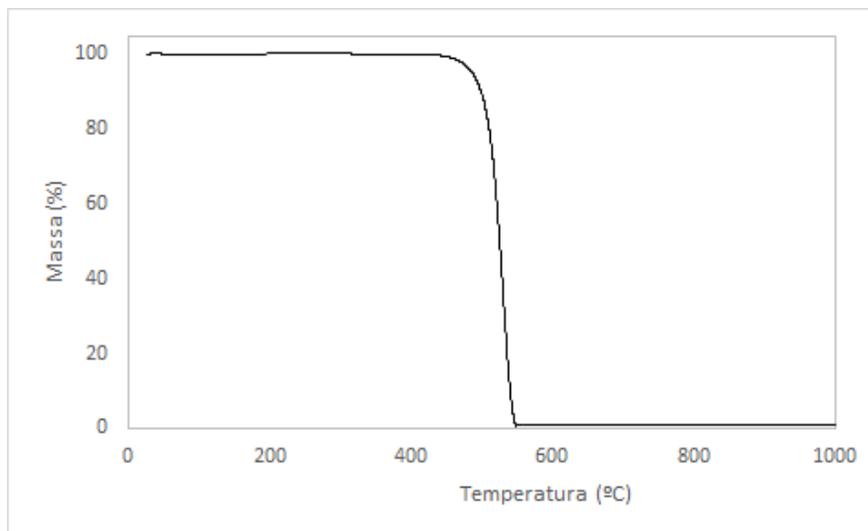


Fonte: Do autor (2021)

O termoplástico de PEAD oriundo de embalagens pós - consumo também foi caracterizado. O material submetido a análise de TGA tem sua curva térmica apresentada na Figura 7. De acordo com os resultados obtidos no ensaio, o PEAD apresenta perda de massa constante até aproximadamente 500°C. Após essa temperatura foi registrado uma queda acentuada na variação de massa, fenômeno que ocorre até a temperatura de ~ 524°C. A perda de massa apontada refere-se ao processo de degradação completa do material.

As curvas de TGA para polímeros de PEAD virgens se assemelham aos dados registrados neste trabalho. Deste modo, compreende-se que o processamento por sopro de embalagens pós-consumo não afeta a temperatura de degradação do material. Segundo os dados registrados pela bibliografia o PEAD virgem tem sua degradação concluída em temperaturas próximas a 510°C (KUMAR e SINGH, 2013).

Figura 7 - Curva termogravimétrica do PEAD de embalagens pós-consumo

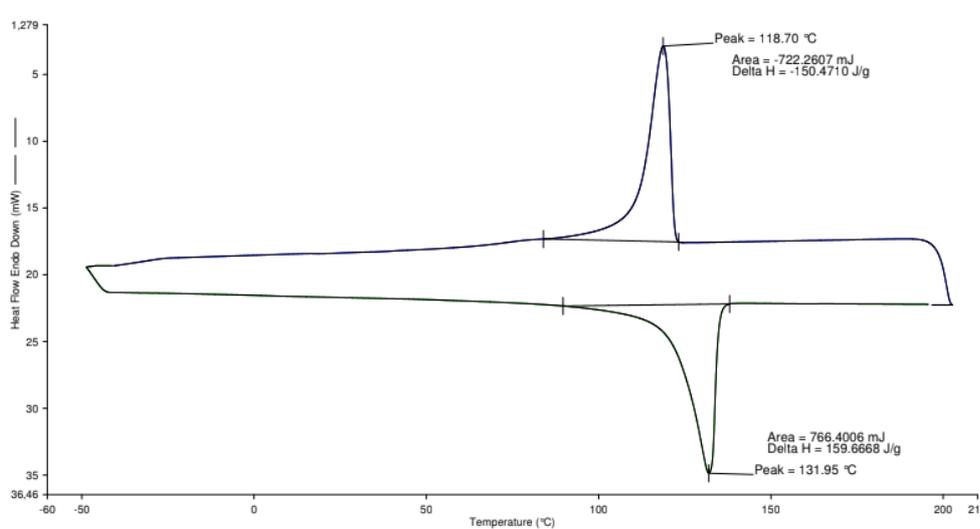


Fonte: Do autor (2021)

Os resultados de calorimetria exploratória diferencial do polímero de PEAD são mostrados na Figura 8. Nas curvas obtidas pelo ensaio de DSC foram registrados dois picos, um exotérmico e o outro endotérmico. Infere-se, pelos dados, que a ~118°C ocorre a temperatura de cristalização do material, evento térmico marcado pela transição de primeira ordem. O processo de cristalização é um fator de grande importância, principalmente quando se trata de operações práticas, como extrusão, pois a cristalinidade do material afeta propriedades mecânicas, térmicas e ópticas. Nas curvas de DSC a cristalização é acompanhada da liberação de calor latente, que gera um pico exotérmico (GARY et al, s.d). O registro do pico ocorre durante o ciclo de resfriamento do material e marca o processo de solidificação.

De acordo com o resultado de DSC, na Figura 8, também foi registrado um pico endotérmico a ~131°C. O evento que ocorre durante o ciclo de aquecimento se refere a um fenômeno de primeira ordem. Nesse caso, trata-se do calor de fusão ou entalpia de formação que pode ser determinado pela área contida sob o pico endotérmico, relacionando-a com a massa de amostra utilizada (GARY et al, s.d).

Figura 8 - Curvas de DSC para o polímero de PEAD de embalagens pós-consumo



Fonte: Do autor (2021)

A temperatura de fusão próxima a 131°C (Figura 8), também é relatada na bibliografia a qual apresenta pico de fusão cristalina a ~132°C (COUTINHO et al, 2003).

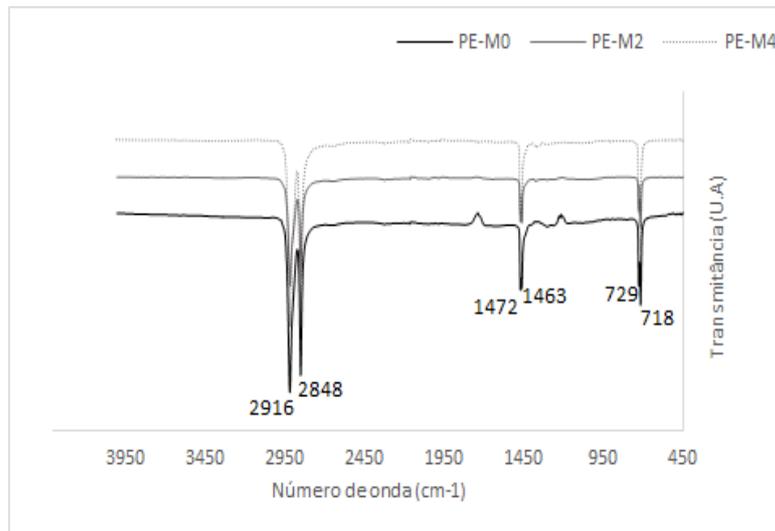
4.2 Ensaios de caracterização dos compósitos com MDF

As formulações de materiais compósitos desenvolvidos PE-M2 e PE-M4 foram analisadas de modo comparativo com amostras de PEAD pura, PE-M0.

De acordo com os dados apresentados na Figura 9 a conjugação dos resíduos de MDF com a matriz de PEAD, não causou alterações significativas nos espectros de FTIR, quando comparados à amostra branca (PE-M0). Ou seja, não foram detectadas bandas atribuídas ao MDF para as amostras dos compósitos.

Conforme os dados observados na Figura 9 todas as amostras apresentam bandas nos comprimentos de onda 2916 cm^{-1} e 2848 cm^{-1} , atribuídas ao estiramento simétrico e assimétrico de C-H. Conforme os resultados de espectroscopia próximo a 1472 cm^{-1} há uma banda de deformação CH_2 (cristalina) (SOUZA, et al, 2014 e FURTADO, et al, 2020). Para todas as amostras, também foi registrado bandas em 1463 cm^{-1} e 729 cm^{-1} , associados a vibração rocking CH_2 (cristalina). O PEAD é um polímero de cadeia linear que contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal, com isso, pode-se dizer que esse polímero possui baixo índice de ramificações, o que aumenta seu percentual de cristalinidade (COUTINHO et al, 2003). No entanto, o material também possui regiões amorfas registradas pela banda característica da sequência de grupos de vibração rocking CH_2 (amorfo) aproximadamente 718 cm^{-1} (SOUZA, et al, 2014 e FURTADO, et al, 2020).

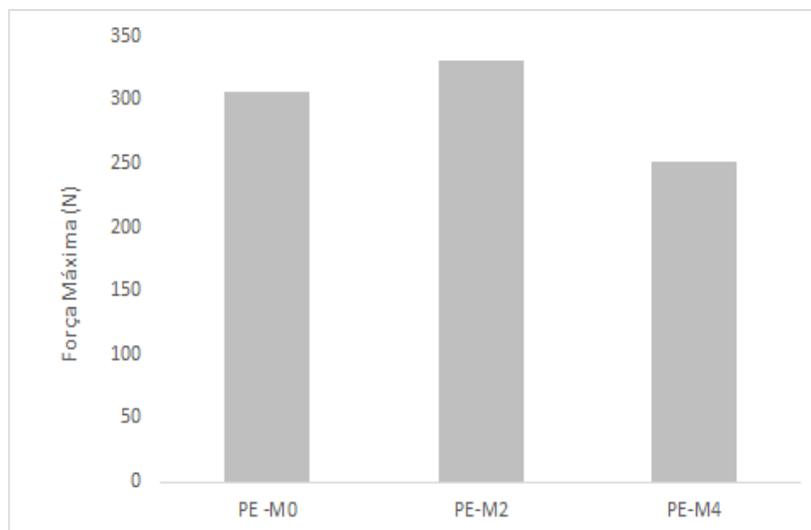
Figura 9 - Espectros de FT-IR das amostras desenvolvidas



Fonte: Do autor (2021)

Embora não tenham sido identificadas bandas características do MDF no ensaio de espectroscopia para as amostras de compósito, os resultados do ensaio mecânico mostram um aumento na resistência do material para a amostra de PE-M2 de 7,76% em relação a amostra de PE-M0. Os dados obtidos estão de acordo com a literatura. O trabalho de Kreutz (2019) encontrou aumento de resistência para a amostra com menor percentual de MDF e queda de resistência para amostras com percentuais acima de 4% de reforço. O mesmo foi observado para amostra de PE-M4 que apresentou uma redução na força máxima de 17,9% quando comparado com a amostra pura de PE-M0. Robin e Breton (2001 apud HILLING et al, 2008) afirmam que as baixas proporções de resíduos de serragem pouco afetam a resistência à tração de um compósito quando comparado com o material em sua pureza. Porém, quando se trata de ensaio mecânico de flexão, os resultados podem apresentar maior impacto, os autores constataram que a resistência à flexão cresce com o aumento da proporção de serragem na composição.

Figura 11 - Ensaio mecânico de tração



Fonte: Do autor (2021)

As imagens obtidas em microscopia mostram a influência da fase reforço em relação às propriedades ópticas das amostras. Infere-se pela Figura 10 (a) que o PE-M0 possui superfície lisa e coloração clara enquanto que as amostras PE-M2 e PE-M4 assumem coloração mais escura conforme se acresce MPF, fator que pode estar atrelado às interações entre as resinas de PEAD e do formaldeído presentes no MDF. Além disso, o aumento de MDF na composição torna mais evidente a presença das fibras aderidas à matriz (Figuras 10 b e c).

Figura 10 - Imagem de Microscopia de óptica (a) amostra branca - PE-M0; (b) compósito com 2% de mdf PE-M2; (c) compósito com 4 % de mdf - PE-M4 (d) Chapa produzida com a formulação PE – M2.



Fonte: Do autor (2021)

4.3 Design e o desenvolvimento do compósito

De acordo com Bastos et al. (2018 apud ASHBY; JOHNSON, 2011) a engenharia de materiais e o design de produto podem ser vistos como uma combinação funcional entre a arte e a ciência. Compreende-se que são áreas complementares. A engenharia de materiais busca avaliar os atributos físico-químicos das matérias-primas em função do seu desempenho. Quando se trata de compósitos, o objetivo é a combinação de materiais com foco na melhoria das propriedades estruturais (CALLISTER, 2008). Por isso, no desenvolvimento destes materiais é incomum o emprego de dois resíduos, pois há a necessidade de um maior controle em relação às matérias-primas. Pela perspectiva da engenharia de materiais, o compósito desenvolvido não apresenta melhorias significativas em relação às suas propriedades mecânicas. Quanto às suas propriedades ópticas, todas as amostras testadas são opacas não conferindo ao material um grande diferencial de mercado.

No entanto, ao abordar o desenvolvimento de um compósito pela perspectiva do design pode-se considerar os aspectos da inversão da seleção de materiais bem como as propriedades intangíveis conferidas a eles (Nejeliski 2021). O conceito de seleção de materiais invertida (SMI) tem como fundamento a introdução de um novo material ou de um material não convencional no mercado antes mesmo que seja definido a qual produto será aplicado. O design possui um papel importante neste cenário, pois tem por objetivo desenvolver projetos que tragam experiências únicas aos usuários e a utilização de materiais é determinante para que isso aconteça. Com base nesta premissa, o compósito desenvolvido surge no contexto da busca por soluções mais sustentáveis, visando a reutilização de resíduos pós consumo, a fim de gerar produtos com vida útil mais longa e reinserção na cadeia produtiva ao final do uso. Esta pesquisa visa inicialmente, definir as propriedades e atributos estéticos do compósito, para posteriormente direcionar a sua aplicação para um ou mais produtos (Nejeliski, et al 2021).

Dias (2009 apud Nejeliski et al 2021) classifica os atributos intangíveis em estéticos, práticos

e simbólicos. Os atributos estéticos estão relacionados à percepção por meio dos sentidos, como forma, figura, texturas, sensação do tato. Os atributos práticos são atribuídos a experiência dos usuários com o material, como usabilidade e ergonomia. Por fim, aos atributos simbólicos são resultado dos aspectos psíquicos e sociais, sujeitos a variações culturais e diferenças individuais, como identidade, memória, cultura e associações.

Quanto aos aspectos estéticos do material desenvolvido, o compósito PE-M2 (Figura 10 d) apresenta rugosidade em sua superfície, característica resultante do seu processamento. Caligari (2013 apud Nejeliski, et al 2021) mostrou que os atributos intangíveis de compósitos estão relacionados com as características como as cores e a textura associadas ao apelo ecológico. A textura do compósito e a sua coloração amadeirada propiciam a ele aparência rústica, remetendo a produtos utilizados em áreas externas. Os atributos práticos do compósito podem ser atribuídos ao polietileno, que garante seu uso em ambientes externos/internos e estabilidade química. Pelo viés simbólico, o material tem suas qualidades vinculadas à visão sustentável, por se tratar de um compósito formado unicamente por resíduos oriundos de descarte industrial e urbano.

5 Considerações finais

O desenvolvimento de compósitos tem como premissa melhorias de propriedades em materiais, geralmente, obtidas pela combinação entre as matérias-primas que lhe dão origem. Pela perspectiva do design, o compósito pode ser uma solução sustentável no qual a priori seja a identificação dos polímeros pós-consumo como matérias-primas secundárias essenciais para a fabricação de novos materiais. Além disso, o uso dos resíduos poliméricos como matriz, abarcando rejeitos industriais de MDF, resulta em uma menor agressão ao meio ambiente.

Os polietilenos correspondem a aproximadamente 35% dos resíduos sólidos encontrados em grandes cidades e embora tenham boas propriedades continuam sendo destinados a aterros sanitários. A caracterização térmica do PEAD oriundo de embalagens pós-consumo mostrou que o material apresenta características semelhantes ao seu equivalente virgem sendo uma alternativa viável para o desenvolvimento de compósitos.

As propriedades dos materiais determinam o seu emprego, esta questão é abordada na confecção dos corpos-de-prova para o ensaio mecânico. O PEAD utilizado como matriz possui baixo índice de fluidez dificultando o seu processamento por injeção. A partir deste resultado, compreende-se que o compósito proposto necessita de um processo compatível com esta especificação dentre as técnicas que podem ser empregadas na manufatura deste novo material destaca-se a prensagem, para fabricação de chapas.

Os resíduos selecionados apresentam compatibilidade o que os torna matérias-primas secundárias potenciais para o desenvolvimento de um compósito. Conforme os resultados de ensaio mecânico há melhoria na resistência do PEAD quando acrescido 2% de MDF em sua composição. A análise de FTIR das amostras de PEAD puro e dos compósitos desenvolvidos com 2% e 4% de rejeitos de MDF não mostraram mudanças significativas nos espectros, fato que pode estar vinculado ao baixo teor de MDF em relação às limitações da análise.

As propriedades ópticas do material foram alteradas, sem que houvesse perdas significativas nas propriedades mecânicas. Os compósitos apresentam textura e cor amadeirada, mas seu valor sustentável pode conferir seu emprego por meio da seleção de materiais invertida.

6 Referências bibliográficas

- ARAUJO, A, et al. **Propriedades reológicas do PEAD verde submetido a múltiplos reprocessamentos**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 2016.
- BATISTELE, R, et al. **Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos**. Revista. Materia. v.19, n.01, pp. 07-15, 2014.
- BASTOS, M, et al. **Design e seleção de materiais sob uma perspectiva sociotécnica: fabricação sustentável de gesso com cascas de arroz**. Ângulo. p.153-154, 2018.
- BENADUCE, C. **Fabricação de painéis de média densidade (MDF) a partir de fibras de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden E Pinus caribaea Morelet var.hondurensis Barret e Golfari**, 1998.
- BIRLEM, E, L. **Estudo da mistura de PLA com resíduos de MDF para a manufatura aditiva**, 2020.
- BRAKSEM. **Poliolefinas Tabelas de propriedades**. Disponível em:<https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/docs/pt-BR/Propriedades.pdf>. Acesso em: 11/06/2021.
- BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 ago. 2010.
- CALIGARI E OLIVEIRA. **Aspectos que influenciam a seleção de materiais no processo de design**. Arcos Design. Rio de Janeiro, 2014.
- CALLISTER JUNIOR, William D. e RETHWISCH, David. G. **Materials science and engineering: An introduction**. 8. ed. New Jersey: Wiley, 2008.
- CANDIAN, M, L. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**, 2007.
- CESTARI, P, S. **Compósito de polietileno de alta densidade reciclado e borra de café para uso na construção civil**, 2014.
- COUTINHO, B, M, F, et al. **Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações**, 2003.
- CRUZ, A, S, et al. **Polímeros reciclados para contato com alimentos**. Polímeros, vol. 21, nº 4, p. 340-345, 2011.
- FERREIRA, D, S, et al. **Degradação térmica de resíduos de Medium Density Fiberboard (MDF): estudo da cinética da reação de pirólise**, 2014.
- FIGUEIREDO, A, L, et al. **Reciclagem Terciária do Poli(etileno tereftalato) Visando a Obtenção de Produtos Químicos e Combustível: Uma Revisão**. Rev. Virtual Quim. Vol. 7. No. 4. 2015.
- GARY, B, et al. **Estudo térmico do pead e pebd através de análise térmica diferencial scanning calorimeter (DSC)**. Grupo Educacional Oswaldo Cruz.
- GOMES, J. **Influência de variáveis de processo nas propriedades mecânicas dos compósitos PEAD/Pinus e PEAD/Algarobeira**. Campina Grande, 2008
- GRISON, K. **Desenvolvimento, caracterização e avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas de compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com pó de pinus taeda e/ou alumina calcinada**, 2015.
- HILLIG, E, et al. **Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade**

(HDPE) e serragem da indústria moveleira, 2008.

HILLIG, E. **Viabilidade técnica de produção de compósitos de polietileno (HDPE) reforçados com resíduos de madeira e derivados das indústrias moveleiras, 2006.**

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores, **Relatório anual, 2020.**

IWAKIRI, S, et al. **Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído, 2005.**

JOHANSSON, F. **Alternativas de destinação de resíduos de MDF, 2016.**

KREUTZ, C, J. **Propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de poliestireno e MDF, 2019.**

KUMAR E SINGH. **Thermolysis of High-Density Polyethylene to Petroleum Products.** Journal of Petroleum Engineering. 2013.

LIMA, J, et al. **Materiais que geram novos materiais: uma percepção simbólica sobre os compósitos, 2018.**

LIMA, M, A, M. **Introdução aos materiais e processos para Designers.** Editora Ciência Moderna LTDA, Rio de Janeiro, 2006.

LIMA, J, et al. **Materiais que geram novos materiais: uma percepção simbólica sobre os compósitos.** P&D. 13º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. 2018.

MANZINI E. e VEZZOLI C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** Edusp, São Paulo, 2002.

NEJELISKI, D. et al. **Seleção de materiais invertida: da caracterização do material as possibilidades de aplicação no design de produto.** DAPesquisa, Florianópolis, v. 16, p. 01-23, ago. 2021.

PESSOA, V. **Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos.** Rio de Janeiro. 2018.

RECALCATTI, S, et al. **Identificação e quantificação dos resíduos sólidos gerados por uma indústria moveleira no município de Joaçaba/SC, 2020.**

SANTIAGO, S, L, F. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para aproveitamento de cascas de eucalyptus gerados no processo de fabricação de painéis de madeira, 2007.**

SPINACÉ, S, A, M e DE PAOLI, A, M. **A tecnologia da reciclagem de polímeros, 2004.**

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. 2000.

TEIXEIRA, G, M. **Concepção de paleta de cores para compósito de resíduo particulado de MDF com poliéster termofixo e aplicação em um produto conceitual, 2017.**

TORQUATO, P, L. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil, 2008.**

VASCONCELOS, Y. **Planeta Plástico.** Revista Pesquisa. Fapesp. Ed.281, 2019 Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/planeta-plastico/>. Acesso em: 05/04/2021