

VESTIMOS PLÁSTICO! Então, vamos requalificar esses resíduos têxteis sintéticos com tal?

WE WEAR PLASTIC! So, are we going to requalify these synthetic textile wastes as such?

Wanderley, Renata Garcia; Doutora; Universidade Federal de Pernambuco

Renata.wanderley@ufpe.br

Rodrigues, Laís helena Gouveia; Universidade de Aveiro

lais_hgr@hotmail.com

Resumo

A indústria da moda tem causado grandes impactos ambientais, sendo a segunda mais poluidora do mundo. Dentre as fibras sintética desenvolvidas por esta indústria, a produção anual de poliamidas representa 8 milhões de toneladas. Deste modo, este estudo focou na requalificação de resíduos têxteis de poliamida e elastano a partir da utilização dos equipamentos da comunidade Precious Plastic para reciclagem de plásticos. Considerando a natureza plástica destes resíduos, os equipamentos foram adaptados para criar novos materiais e produtos. Objetivou-se (a) identificar vantagens e desvantagens de cada equipamento, (b) definir o processo e equipamentos mais eficientes para manipulação destes resíduos e (c) sugerir aplicações para os novos materiais obtidos. A metodologia envolveu pesquisa empírica e experimental, usando métodos indutivo e comparativo, combinando pesquisa bibliográfica e testes práticos. O estudo resultou em novos materiais e produtos com efetivo caráter funcional, estético e simbólico com abordagem sustentável na gestão de resíduos têxteis.

Palavras Chave: sustentabilidade; requalificação; têxteis e resíduos.

Abstract

The fashion industry has caused significant environmental impacts and is the second most polluting industry in the world. Among the synthetic fibers developed by this industry, the annual production of polyamides represents 8 million tons. Therefore, this study focused on re-qualifying polyamide and elastane textile waste using equipment from the Precious Plastic community for recycling plastics. Considering the plastic nature of this waste, the equipment was adapted to create new materials and products. The aim was to (a) identify the advantages and disadvantages of each piece of equipment, (b) define the most efficient process and equipment for handling this waste and (c) suggest applications for the new materials obtained. The methodology involved empirical and experimental research, using inductive and comparative methods, combining bibliographical research and practical tests. The study resulted in new materials and products with a practical, functional, aesthetic, and symbolic character with a sustainable approach to textile waste management.

Keywords: sustainability; requalification; textiles and waste

1 Contextualização

O mercado da moda tem grande importância econômica, cultural e social. Seu processo linear de produção, consumo e descarte de produtos, contudo, vem provocando significativos impactos ambientais negativos. Esse cenário promoveu a busca pelo desenvolvimento sustentável com diversas pesquisas, leis e pactos.

A indústria da moda participa do PIB mundial em 2%, segundo Gregori e Maier (2023). No contexto brasileiro, segundo a Pesquisa Industrial Anual / PIA do IBGE (2021), as confecções correspondem a 2ª maior empregadora da indústria de transformação. E como apresenta o Relatório Brasil Têxtil do IEMI (2022) as confecções produziram mais de 8 bilhões de peças e a indústria têxtil, 2 milhões de toneladas em 2021. Entretanto, a Associação Brasileira de Indústria Têxtil / ABIT (2023) aponta que elas geram entorno de 175 mil toneladas de resíduos têxteis ao ano.

Phan et al (2023) afirma que menos de 1% do material têxtil são reciclados em circuito fechado para produtos de qualidade semelhante, 12% são reciclados em circuito aberto para produtos de menor valor e 73% são encinerados ou aterrados.

O setor da moda compreende (a) industriais têxteis, produtoras de tecidos, (b) confecções, produtoras de peças de vestuários (c) lavanderias de beneficiamento, produtoras de melhoramento e variação dos tecidos e peças e (d) lojas e feiras, responsáveis pelas vendas dos tecidos e peças. Ele constrói e trabalha com materiais-primas (naturais e sintéticas), materiais (como tecidos, linhas e etc.), processos (como desenho, corte, costura) e produtos (peças finais). Contudo, desenvolve inúmeros resíduos: (a) resíduos de produção (refugos líquidos, sólidos e gasosos), (b) descarte de peças (com defeito, usadas ou não consumidas) e (c) tecidos não comercializados (com defeitos ou não vendidos).

O Brasil (2010) implantou desde 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), exigindo a gestão adequada dos resíduos sólidos. Como alguns princípios ela define: (a) cooperação (lei nº 12.305/10, Artigo 6º, inciso VI), (b) responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (lei nº 12.305/10, Artigo 6º, inciso VII), (c) a visão sistêmica na gestão dos resíduos sólidos englobando variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública (lei nº 12.305/10, Artigo 6º, inciso III) e (d) "o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania" (lei nº 12.305/10, Artigo 6º, inciso VIII). Dentre tantos objetivos, busca a (a) não geração, (b) redução, (c) reutilização, (d) reciclagem, (e) tratamento dos resíduos sólidos e (f) disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (lei nº 12.305/10, Artigo 7º, inciso II).

Além disso, a Organização das Nações Unidas (2015) propôs os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) para que países, empresas, instituições e sociedade civil protejam o meio ambiente, o clima e as pessoas trabalhando com segurança, inclusão, resiliência e sustentabilidade. Todos os ODS influenciam essa pesquisa, mas o ODS 12 Consumo e Produção Sustentável se destaca. Este foca no (a) uso eficiente, (b) manejo correto, tanto de uso como de descarte e (c) redução de desperdícios de recursos naturais ou residuais, (d) desenvolvimento e implementação de ferramentas de monitoramento de impactos e ações sustentáveis, (e) fornecimento de informação no contexto da sustentabilidade para, enfim, (f) a promoção e instituição da conscientização e implantação do desenvolvimento e estilos de vida sustentáveis como práticas de compras, consumo e produção, públicas e privadas, sustentáveis.

Dentre os resíduos sólidos se sobressaem os retalhos de tecidos das confecções e das industriais. Os tecidos, como caracteriza Pezzolo (2007), consistem em superfícies estruturadas com

o entrelaçamento de fios. Os tecidos, ou melhor, os retalhos são identificados pela NBR 10004 da ABNT (2004) como resíduos sólidos de classe II - não perigosos: (a) não tendo periculosidade, (b) não apresentando isco à saúde e (c) sendo não inertes.

Os tecidos são fabricados com diversas matérias-primas correlativos às necessidades funcionais, estéticas e simbólicas. Elas têm origem, como aponta Udale (2009), (a) naturais, existentes de forma bruta na natureza (como algodão, linho, seda, lã) ou (b) químicas, derivadas da regeneração de fibras (as artificiais como a viscose, acetato, triacetato) ou de subprodutos da petróleo (as sintéticas, como poliuretano, poliamida, poliéster). Portanto, são esses materiais a composição dos resíduos têxteis.

De acordo com a ABIT (2023), o Brasil se destaca em moda praia, fitness e lingerie. Eles são compostos principalmente de poliamida (PA) e elastano em variadas composições. A poliamida, popularmente conhecido como náilon, é caracterizada com um plástico de engenharia e considerada uma das fibras sintéticas mais importantes, como afirma Wiebeck e Haranda (2012). Já o elastano, comercialmente conhecido como spandex ou LYCRA é uma fibra elastomérica

De acordo com Hirschberg e Rodrigue (2023), as poliamidas representam em torno de 7% das fibras poliméricas empregadas no mundo, com uma produção de 8 milhões de toneladas por ano. A PA 6 e PA66 representando entorno de 2/3 (5 milhões de toneladas) e 1/3 (5 milhões de toneladas) da produção mundial de Poliamidas.

Sendo considerados como material plástico, os resíduos têxteis sintéticos possivelmente podem ser trabalhados por meio de processamentos e equipamentos para a reciclagem de plástico. A comunidade Precious Plastic disponibiliza de forma livre e aberta o projeto de várias máquinas para a reciclagem de plásticos desde a trituração a fusão e modelagem de artefatos.

Diante desse contexto, essa pesquisa visou a requalificação de resíduos têxteis composto por poliamida e elastano. Portanto, objetivou a criação de novo(s) material(is) por meio de equipamentos de reciclagem de plástico. Assim sendo, buscou: (a) identificar os pontos positivos e negativos do processamento dos resíduos em cada um dos equipamentos da Precious Plastic, (b) definir o processo e o(os) equipamento(s) viável e eficiente para a geração dos materiais e (c) apontar algumas aplicações para o(s) material(is).

Para tanto, desenvolveu pesquisa empírica com base experimental, focando na vivência e experimentação prática das possibilidades de processamento dos resíduos. Caracterizou-se como aplicada e projetal, gerando diretamente tanto materiais com produtos. Como método de abordagem utilizou o método indutivo e como método de procedimento, o comparativo quando trabalhou e avaliou diversos equipamentos e processos. Envolveu (a) pesquisa bibliográfica para a fundamentação teórica e o estado da arte e (b) testes para o processamento dos materiais.

2 Revisão teórica

A reciclagem de materiais se caracteriza por 02 contextos: (a) circuito fechado e (b) circuito aberto. No circuito fechado há como resultados o mesmo tipo de produto (por exemplo, retalhos de tecidos gerando novos tecidos). Já o circuito aberto se caracteriza por gerar materiais para aplicações diferentes (por exemplo, retalhos de tecidos gerando placas plásticas).

A reciclagem de polímeros, de acordam Mihut et al (2001), acontece em quatro níveis: (1) reciclagem primária, (2) reciclagem secundária, (3) reciclagem terciária, (4) reciclagem quaternária. Na reciclagem primária há despolimerização com a divisão das cadeias em seus monômeros

originais e na secundária há recuperação de materiais individuais sem interferência nos monômeros. Na reciclagem terciária há o desenvolvimento de mistura enquanto na reciclagem quaternária há incineração de materiais para a recuperação de energia.

E envolve três principais processos: (a) reciclagem mecânica (reciclagem secundária), (b) reciclagem química (reciclagem terciária) e (c) reciclagem energética (reciclagem quaternária). Para artefatos pós consumo, Hirschberg et al (2023) indicam também (a) reciclagem biológica (reciclagem primária), (b) reciclagem física e (f) reciclagem térmica (reciclagem quaternária).

A reciclagem mecânica envolve mudanças do estado físico (sólido, líquido, gasoso) do material sem alteração químicas. Na reciclagem química ocorrem mudanças na estrutura básica do material. A reciclagem energética queima polímeros para a recuperação de energia. A reciclagem biológica utiliza a ação (digestão) de microrganismos nos materiais. E na reciclagem física há dissolução do material por meio de um solvente ou combinação deles. Como comenta Phan et al (2023) os resíduos têxteis podem ser reciclados de forma (a) mecânica para as fibra, (b) física para polímeros ou (c) química para polímeros e monômeros.

A maioria dos resíduos têxteis, além de sua composição básica (como a poliamida e o elastano do objeto de estudo dessa pesquisa) possuem produtos químicos utilizados para adquirirem propriedades têxteis específicas (como tingimento e estampagem). Embora a maioria deles seja eliminada com o uso dos artefatos têxteis, alguns permanecem nos produtos têxteis, possivelmente interferindo na sua reciclagem.

Biachine et al (2023) comenta que a reciclagem de resíduos têxteis para novos fios não é viável pois estes exigem desempenho termomecânico para sua fiação. Tecidos não tecidos e composições (blenda e compósitos) são técnicas eficazes no contexto do circuito aberto. As blendas são misturas física de pelo menos dois polímeros diferentes, miscíveis ou imiscíveis. Os compósitos, como afirma Callister (2011), são construídos por mistura de materiais bifásicos com natureza distintas sendo uma matriz (principal) e pelo menos um material de reforço (secundário).

2.1 Plásticos e o Precious Plastic

Os plásticos, 'aquilo que pode ser moldado', são materiais poliméricos sintéticos ou semi sintéticos. Com base em Canevarolo JR (2002), os polímeros se caracterizam como materiais formados por unidades moleculares (monômeros) repetidas e estruturadas em cadeia polimérica fundada por reação química. Sintético significa ser produzido em laboratório. Derivam principalmente de resinas do petróleo, mas também de milho, beterraba, mandioca, cana-de-açúcar, entre outros.

Como os polímeros, os plásticos são classificados em: (a) termoplásticos e (b) termorrígidos. Materiais termoplásticos se qualificam pela possibilidade de fundição e moldagem algumas vezes originando novos materiais (como, por exemplo, Polietileno/PE, Polipropileno/PP e Poliamida /PA) Os materiais termorrígidos são construídos por reação química irreversível, ou seja, não fundem novamente quando reaquecidos (como o Poliuretano).

Também são identificados como (a) plásticos commodities e (b) plásticos de engenharia. Os commodities são materiais com produção em larga escala (como, por exemplo, Tereftalato de polietileno/PET, Polietileno PE, Policloreto de vinila/PVC). Os plásticos de engenharia são materiais de alta performance (como, por exemplo, Acrilonitrila butadieno estireno/ABS, Policarbonato/PC, Poliamida/PA, entre outros).

Segundo Piatti (2005), os plásticos se caracterizam por: (a) impermeabilidade; (b) baixa condutibilidade elétrica e térmica, (c) maleabilidade à extrema dureza, (d) resistência à contaminação por fungos e bactérias e (e) resistência a substâncias químicas como oxigênio, ácidos e bases. Também são (f) insolúveis, (g) de baixa toxicidade (quando puros) e (h) não biodegradáveis. Seu processamento é descomplicado e se mistura com facilidade à outras substâncias (os aditivos) para a aquisição de outras qualificações (como cor, cheiro, elasticidade, resistência a impactos, resistência ao calor e à luz).

Diversos processos são empregados para processar plásticos e construir e moldar os produtos, segundo Piatti (2005) e Sindiplast (ano): (1) extrusão; (2) injeção; (3) sopro; (4) rotomoldagem; (5) vazamento; (6) compressão; (7) fiação por fusão; (8) termoformação a vácuo. A extrusão é um processo de fusão com variação de temperatura e deslocamento. A extrusão envolve em tubo a fusão do material por aquecimento com, ao mesmo tempo, mistura por deslocamento de rosca. A injeção significa a introdução do material fundido por aquecimento em fôrmas por meio de pressão de um pistão. Na injeção por sopro ocorre o processo de injeção com insuflação de ar no molde. Com a Rotomoldagem o material sofre rotação para sua conformação. No vazamento o material fundido é despejado em molde. A compressão envolve a pressão do material fundido em um molde. A fiação por fusão pressiona o material fundido por orifícios de uma placa. Na termoformação a vácuo laminados ou chapas aquecidas são submetidas ao vácuo em fôrmas.

O plástico tem aplicações diversas em artefatos, em áreas e em contextos. Tem como principal aplicação embalagens, mas também são empregados em componentes de equipamentos. No mercado da moda está presente em tecidos, aviamentos, expositores, artefatos de acondicionamento e transporte de peças. Seu volume de produção, consumo e descarte é enorme, causando significativos impactos ambientais negativos.

Diante desse contexto, o engenheiro e designer holandês Dave Hakkens desenvolveu em sua dissertação de mestrado em 2013 o 'Precious Plastics', um conjunto de máquinas para reciclagem de plásticos. Ele é constituído por 05 máquinas: (a) shredder de bancada, (b) extrusora, (c) injetora, (d) prensa e (e) moduladora por rotação. Elas picam, derretem, injetam, moldam plásticos. Têm operação e manutenção de fácil execução.

Esse projeto tem acesso livre com permissão para sua reprodução. Busca, portanto, a expansão da utilização dos conhecimentos, das ações, dos equipamentos, das orientações, dos integrantes do Universo da Precious Plastic. Assim sendo, vem se tornando uma rede integrada, uma comunidade mundial de orientação e ações para trabalhar o problema do plástico.

2.2 Poliamida

A poliamida é um plástico de engenharia dúctil, plásticos com propriedades superiores com capacidade de deformação quando tensionado sem sofrer rompimento. É um polímero termoplástico deformando, fundindo ou moldando em determinadas temperaturas.

Existem diversos tipos de poliamidas devido aos diferentes números de átomos de carbono nas unidades monoméricas originárias. Elas são nomeadas com (a) único número, quando derivadas de aminoácidos ou lactamas (como a PA6) ou (b) dois números (amina e ácido) quando envolvem a reação de diaminas e ácidos dibásicos (como a PA6.6).

Segundo Oliveira et al (2011), Wiebeck e Haranda (2012) e Data (2018) possuem: (a) boas propriedades mecânicas, (b) boa resistência ao impacto, ao tempo, à intempéries, a solventes orgânicos, à abrasão, a óleos (vegetais, animais e minerais) e a gorduras, (c) resistência à degradação

por microrganismos, (d) alta resistência a fadiga, ao desgaste e ao tracionamento, (e) baixa resistência a ácidos inorgânicos e a álcoois aromáticos. Também, com base nos mesmos autores, são (f) leves, (g) higroscópicas, (h) impermeáveis á gases, (i) auto lubrificável. Igualmente tem (j) ponto de fusão alto (temperatura para derretimento), (l) estreita faixa de fusão (tempo de derretimento), (m) alto grau de cristalinidade, (n) grande encolhimento no resfriamento, (o) baixo coeficiente de atrito, (p) baixa viscosidade (muito líquido) no estado fundido e (q) tendência a oxidação em temperaturas elevadas.

Por causa de algumas dessas características o processamento das poliamidas é complexo. Segundo Wiebeck e Haranda (2012), Manrich (2013) e Senai (2019) é importante: (a) tempo adequado (controle) de fusão, secagem e resfriamento, (b) temperatura adequada (controle) de fusão, secagem e resfriamento, (c) temperatura uniforme; (d) resfriamento lento e com alta pressão; (e) estufagem do material antes do processamento em temperatura entre 70 a 90°C para diminuição da umidade, (f) reidratação do material processado por meio de imersão em água em temperatura de 100°C, (g) bicos especiais na injeção (como valvulados), (h) sem “zonas mortas” e (i) extrusão com zona de compressão o mais curta possível.

Conforme apresenta o Senai (2019) a temperatura de transição vítrea (T_g) das poliamidas estão entre 40 a 50°C, enquanto a temperatura de fusão (T_m) está entorno de 220°C. Segundo o Senai (2019, p.154), “a elevação da temperatura das poliamidas não provoca nenhum amolecimento progressivo da matéria, mas conduz diretamente à fusão.”

As poliamidas têm múltiplas aplicações. São empregadas, por exemplo, nas indústrias automobilísticas, eletroeletrônicas, de construção, móveis e têxteis. No campo têxtil, destaca-se a poliamida 6 (PA6).

A reciclagem da poliamida pode ocorrer por meios mecânicos e, como aponta Data (2019), químicos. A reciclagem mecânica envolve principalmente fusão ou dissolução.

Fangbing et al (2015) utilizaram o processo de fusão para reciclar resíduos têxteis compostos por poliamida e elastano mas com a degradação do elastano. Já Brasil et al (2016) e Wanderley et al (2019 e 2022) reciclaram através do processo de fusão dos resíduos têxteis originais. Utilizaram (a) temperatura de processamento de 240°C e 220°C, em Reômetro e prensa quente e forno doméstico, respectivamente.

2.3 Elastano

O elastano é uma fibra elastomérica, de acordo com Calister Jr (2002), é um polímero com propriedade elástica significativa. Essa qualidade elástica acontece, bomo apresenta Fangbing et al (2015), a alternância de segmentos rígidos e flexíveis,

Ele é formado de 85% de um poliuretano segmentado. O poliuretano é um plástico termorrígido, não podendo ser fundidos e solidificados novamente. E o poliuretano segmentado, como caracteriza Szycher (2013), se compõe de uma estrutura bifásica tendo, como comenta Phan et al (2023), com a fase rígida com segmentos duros e fortes unida à fase elástica com segmentos flexíveis e mais fracos.

É empregado principal em tecidos com foco na conformação no corpo, como comenta Lee (1997). Segundo Xie et al (2019) são também empregados em produtos médicos (como bolsas de sangue, eletrodos de marca-passo).

Nos materiais têxteis é utilizado em conjunto com outras fibrastanto sintéticos como

naturais e em pequenas quantidades, variando de 1 a 20%. Com isso, dificulta a reciclagem desses têxteis, como afirma Boschmeier et al (2023) e Phan et al (2023).

A reciclagem do elastano é complexa. Phan et al (2023) acredita no processo de dissolução seletiva para o trabalho com o elastano. De acordo com Biachine et al (2023) deve ocorrer a separação de materiais por meio de processos químicos ou enzimáticos.

3 A pesquisa experimental: processos e resultados

Com a fundamentação teórica se conclui que os tecidos sintéticos são na prática plásticos, termoplásticos. Com isso, podem ser processados por meio do processo de fusão e dos equipamentos da Precious Plastic: (a) shredder de bancada, (b) prensa quente pro (c) injetora pro e (d) extrusora pro (figura 1).

Figura 1 – Shredder, prensa quente pro, injetora pro e extrusora pro, respectivamente



Fonte: As autoras

Esse pesquisa trabalhou com retalhos de tecidos de moda praia e moda fitness doados pela confecção Camboriú da cidade de Santa Cruz do Capibaribe em Pernambuco. Eles são compostos de poliamida e elastano em 03 composições diferentes: (a) 90% de poliamida e 10% de elastano, (b) 85% de poliamida e 15% de elastano e(c) 80% de poliamida e 20% de elastano. Além disso, também se compõem com produtos químicos do tingimento, não especificados. Os resíduos foram trabalhados como recebidos, sem nenhum tipo de pré tratamento.

Os retalhos foram triturados na Shredder. Os resíduos foram introduzidos na alimentadora aos poucos e triturados por duas vezes. A figura 2 apresenta o resultado da trituração: retalhos mais desfibrilados do que cortados em tamanhos bem pequenos.

Figura 2 – Resíduos originais e após trituração.



Fonte: As autoras

Por meio do teste de Análise Termogravimétrica (TGA) foram caracterizadas as temperaturas de transição vítrea (Tg), temperatura em que o material começa a amolecer, e de fusão (Tm), temperatura em que o material derrete, dos resíduos, importante para processá-los. Todas as composições obtiveram temperaturas semelhantes de Tm entorno de 220°C. Com essas informações, eles foram fundidos por meio de 03 equipamentos: (a) prensa quente, (b) injetora e (c) extrusora.

A fusão em prensa quente demandou: (1) pré aquecimento da prensa até a temperatura de fusão de 220°C em ambas as bases inferior e superior, (2) pesagem dos tecidos, (3) preparação da fôrma com spray de silicone, (4) espalhamento dos resíduos na fôrma de forma homogênea, (5) introdução da fôrma na prensa com o rebaixamento da base superior até encostar na base da mesma sem derramar tecidos, (6) fusão do material e (7) resfriamento da placa em prensa fria. A fusão do material envolve o constante rebaixamento da base superior da prensa a medida que os resíduos vão fundindo e, conseqüentemente, diminuindo de volume. A quantidade de resíduos é calculada pelo volume da fôrma vezes a densidade do material (no caso, 1,14 g/cm³ da poliamida). Como resultado são construídas placas lisas e compactas como demonstrado na figura 3. Há (a) a redução para 1/3 do volume do material e (b) uma mistura parcial das cores e seus escurecimentos.

Figura 3 – Resíduos originais e a placa resultante.



Fonte: As autoras

A injetora para fundir os resíduos implica: (1) acomodação da fôrma no bico da injetora, (2) pré aquecimento da injetora até a temperatura de fusão de 220°C, (3) pesagem dos tecidos, (4) introdução dos resíduos no tubo alimentador, (5) rebaixamento da alavanca até ficar difícil, (6) fusão do material por 5 minutos com sua injeção na fôrma, (7) resfriamento da fôrma em água e (8) extração do material da fôrma. A quantidade de resíduos necessária para o completo preenchimento fôrma é definida como na prensa. Igualmente é demandado o constante rebaixamento da alavanca a medida que os resíduos se fundem até sua completa introdução no tubo injetor. Esse processo gera formas (ou artefatos) já prontos para o uso dentro de fôrmas, como observados na figura 4. Os resíduos são modelados imediatamente com a mesclagem das cores.

Figura 4 – Processo de injeção.



Fonte: autoras da pesquisa.

O processo de fusão na extrusora exige: (1) pré aquecimento da extrusora até a temperatura de fusão de 220°C para a temperatura inicial e 240°C para a temperatura final, (2) definição da velocidade de rotação da rosca, geralmente de 30 cm/s, (3) introdução dos resíduos no tubo alimentador e (4) fusão do material. A extrusão permite também o trabalho com fôrmas presas ao seu bico (mas não foi utilizada). O resultado da fusão é um material homogêneo de cor e de textura em forma filamento, como apresentado na figura 5.

Figura 5 – Material final gerado



Fonte: autoras da pesquisa.

Por fim, são construídos os artefatos com os materiais. Essa pesquisa só desenvolveu artefatos com as placas da presa e com as fôrmas da injetora. Para tanto, foram (1) conceituados e desenhados os projetos dos artefatos, (2) modelados (cortado, furado, colado e etc) esses projetos e (3) acabados (como lixamento). A figura 6 apresenta exemplos desses artefatos.

Figura 6 – Artefatos construídos com as placas da prensa e com as fôrmas da injetora.



Fonte: autoras da pesquisa.

4 A pesquisa experimental: análise e conclusão

Os resíduos são bastante flexíveis, finos e elásticos, atrapalhando sua trituração na shredder. São também bastante leves e volumosos, dificultando sua introdução e deslocamento pela extrusora. E, devido a sua capacidade de absorção de umidade, tendem a gerar vapor no processamento de fusão da injetora.

O material desenvolvido é um termoplástico. Permite vários reprocessamentos (novas reciclagens). Não permite modelagem direta pois se solidifica com rapidez com a diminuição da temperatura (assim que sai do equipamento aquecido). Quando finos são flexíveis e quando grossos são bastante rígidos e resistentes. Tem estética e simbologia próprias.

A shredder de bancada consegue tornar os resíduos menores. Contudo, não é um processo simples, pois os resíduos por serem leves exigindo pressão (ou peso) para serem agarrados nas lâminas e tentem a se prender nas lâminas devido a elasticidade dos mesmos. Também os resíduos triturados por ficarem unidos de forma superficial não passam na peneira, demandando não utilizá-la e, conseqüentemente, retrituração. Exige instalação elétrica não comum, a trifásica. Demanda recurso espacial pequeno. Sua utilização requer cuidado e atenção e sua manutenção (principalmente limpeza) deve ser constante (a cada trituração de preferência) com lubrificante de óleo de peixe (WD40) Tem custo moderado, mas se comparado a outros equipamentos no mercado, pequeno. Portanto, é um equipamento importante e viável.

A fusão é um processo eficaz para requalificar resíduos têxteis composto por poliamida e elastano. A temperatura de 220°C definido no TGA como base é eficiente para o a fusão dos resíduos, independente da composição. Essa temperatura foi também competente para processá-los nos 03 equipamentos.

A prensa fundi e comprime com tranquilidade os resíduos. Usa apenas um outro produto químico (um desmoldante spray de silicone) em bem pequena quantidade e como ferramentas, fôrmas metálicas compostas de duas placas e uma base de limite. Tem processo de utilização e manutenção simples (como lixamento e raspagem), porém tem custo expressivo e exige estrutura (bancada e instalação elétrica) reforçada. Emprega gasto de energia significativo mas pouco recurso temporal. Constrói placas de diversos tamanhos, espessuras e formas. Seus resultados (as placas) são bastante versáteis e de fácil trabalho. Assim sendo, é um equipamento notável e recomendado para diversos contextos, sendo eficiente e acessível (pelo menos, enquanto uso).

A extrusora realiza a fusão e a mistura dos resíduos, mas seu processamento não acontece com facilidade. A inserção dos resíduos na alimentadora e, conseqüentemente, na rosca demanda certa pressão (não sendo automático) devido a sua leveza e volume. A fusão e o deslocamento dos resíduos é complexa pois, no contexto da pesquisa, eles com frequência entupiram o equipamento e impediram a rosca de girar. A modelagem é complicada tanto em fôrma (principalmente quando grande) como de modo manual direto devido ao endurecimento rápido. Não utiliza nenhum outro material. Sua utilização e limpeza exigem conhecimentos técnicos e materiais específicos. Desta forma, é um equipamento mais direcionado para a área acadêmica e semi industrial para construção mais de materiais do que produtos.

A injetora consegue fundir bem o material. Contudo, sua injeção na fôrma não acontece de modo fluído, exige pressão e rapidez pois perde temperatura no bico, podendo solidificar. Também o material fundido, durante a pesquisa, tendeu a subir pelo tudo e gerou vapor. Ela é um equipamento de fácil operação, de baixo gasto energético, temporal e espacial. Já gera o artefato pronto, mas limitado em tamanho pequeno. Não necessita nenhum outro material. Portanto, é um equipamento acessível e adequado para construção de artefatos repetíveis.

5 Considerações finais

A pesquisa experimental conseguiu requalificar os resíduos têxteis. Gerou 02 materiais bases, placas e filamentos, com diferentes processos de aplicação, modelagem construtivas ou direta, respectivamente. Demonstrou 03 possibilidades de processamento para esses resíduos: fusão por (a) prensagem, (b) extrusão ou (c) injeção, com diferentes níveis de complexidade e eficiência.

A fundamentação teórica orientou de forma direta e hábil a pesquisa, fornecendo os conhecimentos teóricos e as experiências práticas já construídas no contexto acadêmico e de mercado. As ações empregadas na pesquisa experimental demonstraram ser importantes e foram bem operadas. Os resultados da pesquisa, tanto materialmente (os artefatos e os materiais) como de conhecimento (utilização dos equipamentos), são funcionais, interessantes, acessíveis e simbolicamente forte e próprio.

Apesar dessa competência, pesquisas futuras podem ser indicadas. Trabalhar com outros resíduos têxteis sintéticos (como poliéster, acrílico e pet) e até naturais (como o algodão e linho) nesses mesmos processos aumenta a operacionalidade dos equipamentos. Envolver outros materiais com os resíduos têxteis pode otimizar o processamento dos materiais. Experimentar a construção de novos artefatos com os materiais demonstra e estimula a reciclagem.

O processamento dos resíduos na prensa é realizado de forma eficaz, sem necessidade de mudanças. Já os processamentos com a extrusora e a injetora precisam ser melhores estudados. Na injetora é necessário entender a problemática da introdução na fôrma (por exemplo, o porquê dos resíduos fundidos não fluírem para dentro da fôrma com facilidade). A extrusora exige melhoramento no próprio processo de fusão e deslocamento do material (o porquê de os resíduos entupirem o equipamento, de ficarem presos no tudo da rosca). Provavelmente, os equipamentos necessitam de modificações para melhor trabalhar com os resíduos têxteis sintéticos.

Enfim, essa pesquisa contribui de forma eficiente para a minimização dos impactos negativos dos resíduos têxteis por meio de suas possibilidades de requalificação funcional, estética e simbólica através das máquinas do Precious Plastic. Também estimula e orienta outras pesquisas na área de sustentabilidade, reciclagem e processamento de materiais.

6 Referências

- ABIT. **Perfil do Setor**. In: Abit, 2023. (<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>).
- ABNT. NBR 10004 - **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, ABNT,2004.
- BIANCHINE, S.; BARTOLI, F.; BRUNI, C.; FERNANDEZ-AVILA, C.; RODRIGUEZ-TURIENZO, L.; MELLADO-CARRETERO, J.; SPINELLI, . D.; COLTELLI, M.B. (2023). **Opportunities and Limitations in Recycling Fossil Polymers from Textiles**. Macromol. v.3, p.120–148., 2023.
- BOSCHMEIER, E.; ARCHODOULAKI, V.A.; SCHWAIGHOFER, A.; LENDL, B.; WOLFGANG IPSMILLER, W.; BARTL, A.. **New separation process for elastane from polyester/elastane and polyamide/elastane textile waste**. Resources, Conservation & Recycling. v.198, p.1-10, 2023.
- BRASIL. **Lei Nº 12305 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**. In: Planalto, 2010. (https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm).
- BRASIL, M. A.; MARTINS, S.B.; SAMPAIO, C. P. **Desenvolvimento de um novo material a partir da fusão e moldagem de resíduos têxteis sintéticos**. Revista Icônica. v.2, p.75-88, 2016.
- CALLISTER JR, W.D.. **Ciências e Engenharia dos materiais – uma introdução**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos – LTC, 2002.
- CALLISTER JR, W.D.. **Fundamentos da Ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CANEVAROLO Jr., S. V.. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo, Artliber Editora, 2002.
- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE COMÉRCIO E DESENVOLVIMENTO. **Sustainability: lawmakers begin to catch up with ‘fast fashion’ industry**. International Bar Association, 16 out. 2023.
- DATTA, J.; BŁAŻEK, K.; WŁOCH, M.; BUKOWSKI, R.. **A New Approach to Chemical Recycling of Polyamide 6.6 and Synthesis of Polyurethanes with Recovered Intermediates Journal of Polymers and the Environment**. v.26, p.4415–4429, 2018.
- FANGBING Lv.; YAO, D.; WANG, C.; ZHU, P.; HONG, Y.. **Recycling of waste nylon 6/spandex blended fabrics by melt processing**. Composites Part B Engineering.v.77, p.232–237, 2015.
- GREGORI, I.C.S. e MAIER, J. P. **O modelo de produção fast fashion na ótica da sustentabilidade**. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v.20, 2023.
- HIRSCHBERG, V.; RODRIGUE, D.. **Recycling of polyamides: Processes and conditions**. Journal of Polymer Scienc. v.61. p.1937–1958, 2023.
- IBGE. **Pesquisa Industrial Anual 2021**. In: IBGE, 2021. (<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrial-anual.html>).
- IEMI. **Brasil Textil 2002**. In: Iemi, 2022. (<https://www.iemi.com.br/produto/brasil-textil/>).
- LEE, HS.; KO, JH; SONG,KS.; CHOI, KH.. **Segmental and chain orientational behaviour of spandex fibers**. Journal of Polymer Science - Part B Polymer Physic. v.35, n.11, p.1821-1832, 1997.
- MANRICH, S.. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo: Artliber Editora LTDA, 2013.
- MIHUT, C.; CAPTAIN, D.K; GADALA-MARIA, F.; AMIFUDIS, M.D.. **Review: Recycling of Nylon from**

Carpet Waste. Polymer Engineering and Science. v. 41, n.9, p. 1457–1470, 2001.

OLIVEIRA, A. D. de; LAROCCA, N. M.; PESSAN, L. A.. **Efeito da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas PA6/ABS Compatibilizadas com o Copolímero SMA.** Polímeros. v.21, n.1. p. 27-33, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Nova Iorque, Organização das Nações Unidas, 2015.

PHAN, K., ÜGDÜLER, S., HARINCK, L., DENOLF, R., ROOSEN, M., O’ROURKE, G., De Vos, D., VAN SPEYBROECK, V., DE CLERCK, K., DE MEESTER, S.. **Analysing the potential of the selective dissolution of elastane from mixed fiber textile waste.** Resources, Conservation and Recycling. v.191. p.1-15, 2023.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos.** São Paulo, Editora Senac São Paulo, 2007.

PRECIOUS PLASTIC. **Equipamentos Precious Plastic.** In: Precious Plastic. ([https:// preciousplastic.com /solutions/ machines/overview](https://preciousplastic.com/solutions/machines/overview)).

PIATTI, T. M.. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** Maceió: EDUFAL, 2005.

SENAI. **Ciência e caracterização dos materiais plásticos.** São Paulo: Senai –SP Editora, 2009.

SINDIPLAST. **Cadeia-produtiva-da-reciclagem-do-plastico.** In: Sindiplast ([https:// www.sindiplast.org.br / plasticos/ cadeia-produtiva-da-reciclagem-do-plastico/](https://www.sindiplast.org.br/plasticos/cadeia-produtiva-da-reciclagem-do-plastico/))

SZYCHER, M. **Szycher’s Handbook of Polyurethanes.** Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2013.

UDALE, J.. **Fundamentos de design de moda: tecidos e moda.** Porto Alegre, Bookman, 2009.

WANDERLEY, R.G. et al. **Nutrientes Criativos: Resíduos de confecções.** Pernambuco: FacForm,2019.

WANDERLEY, R.G. et al. **Requalificação funcional, estética e simbólica de resíduos de tecidos composto por poliamida e elastano.** Revista Design & Tecnologia. v.12, n.25. p. 28-37, 2022.

WIEBECK.H; HARANDA, J.. **Plástico de engenharia.** São Paulo: Artiliber Editora, 2012.

XIE,F.; ZHANG, T.; BRYANT, P.; KURUSINGAL, V.; COLWELL, J.M.; LAYCOCK, B.. Degradation and stabilization of polyurethane elastomers, **Progress in Polymer Science.** v.90, p.211-268, 2019.