

Área: Inovação | **Tema:** Inovação, Sustentabilidade e Inclusão Social

PROPOSTA DE MELHORIA DE MATERIAL ATRAVÉS DA ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DE RESÍDUOS TÊXTEIS E POLIETILENO VERDE: UMA ABORDAGEM PRELIMINAR

PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF MATERIAL THROUGH THE PREPARATION OF A COMPOSITE FROM TEXTILE RESIDUES AND GREEN POLYETHYLENE: A PRELIMINARY APPROACH

Georgio Enrico Tirloni, Patrícia Stefan De Carvalho e Leandro Cantorski Da Rosa

RESUMO

À crescente demanda por bens de consumo e a falta de efetividade dos processos industriais acarretam numa produção alarmante de resíduos. O setor têxtil é um dos grandes segmentos com maior impacto ambiental negativo, onde os resíduos sólidos provenientes principalmente do processo de corte representam um grande percentual desse desperdício. Além disso, a utilização de polímeros é cada vez maior e consequentemente o seu descarte. Por isso, se faz necessário a reciclagem e o uso de plásticos verdes, originários de fontes renováveis ou biodegradáveis, que diminuam o impacto gerado pelos combustíveis fósseis. Com essa problemática, surge a possibilidade de união entre estes materiais com o intuito de encontrar uma solução sustentável, economicamente viável e com boas propriedades mecânicas. Este trabalho tem como objetivo a exposição de estudos relacionados à fabricação de compósitos utilizando fibras têxteis e polietileno para obtenção de materiais com boas propriedades mecânicas. Além disso, objetiva-se ainda, através de uma abordagem preliminar, propor a elaboração do compósito em questão, explanando as etapas pertinentes à fabricação do mesmo. A pesquisa foi realizada seguindo os conceitos da produção mais limpa, metodologia que visa melhorar a eficiência do uso de matéria-prima dos processos, minimizar a produção de resíduos ou ainda, utilizar as sobras para o desenvolvimento de novos produtos, aliada ao processo de desenvolvimento de produto, que define as melhores atividades para o planejamento e execução de um projeto.

Palavras-Chave: Produção mais limpa, resíduos têxteis, compósito, polietileno verde.

ABSTRACT

Growing demand for consumer goods and the ineffectiveness of industrial processes lead to alarming waste production. The textile sector is one of the largest segments with the greatest negative environmental impact, where solid waste mainly from the cutting process represents a large percentage of this waste. In addition, the use of polymers is increasing and consequently their disposal. Therefore, the recycling and use of green plastics from renewable or biodegradable sources that reduce the impact of fossil fuels is necessary. With this problem, there is the possibility of joining these materials in order to find a sustainable solution, economically viable and with good mechanical properties. This work aims to expose studies related to the manufacture of composites using textile fibers and polyethylene to obtain materials with good mechanical properties. Moreover, it is also intended, through a preliminary approach, to propose the elaboration of the composite in question, explaining the pertinent steps to its manufacture. The research was conducted following the concepts of cleaner production, a methodology that aims to improve the efficiency of the use of raw materials of processes, minimize waste production or use the leftovers for the development of new products, allied to the development process, which defines the best activities for project planning and execution.

Keywords: Cleaner production, textile waste, composite, green polyethylene.

PROPOSTA DE MELHORIA DE MATERIAL ATRAVÉS DA ELABORAÇÃO DE UM COMPÓSITO A PARTIR DE RESÍDUOS TÊXTEIS E POLIETILENO VERDE: UMA ABORDAGEM PRELIMINAR

PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF MATERIAL THROUGH THE PREPARATION OF A COMPOSITE FROM TEXTILE RESIDUES AND GREEN POLYETHYLENE: A PRELIMINARY APPROACH

1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, com o crescimento progressivo da população e o consumo inconsequente, a utilização de recursos ambientais vem aumentando de maneira substancial, principalmente para suprir as necessidades básicas do homem, como alimentação e vestuário. Essa utilização indevida de recursos naturais em conjunto com a falta de efetividade dos processos produtivos vem elevando cada vez mais a geração de resíduos, alertando a comunidade científica, promovendo um relevante aumento de pesquisas com o intuito de diminuir esse impacto ambiental (KUMAR, et al., 2017; SANTOS & CABRAL, 2013).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) (2017), o Brasil é referência mundial no setor, sendo o quinto maior produtor têxtil do mundo. Com uma produção aproximada de 1,7 milhão de toneladas, representando US\$ 37 bilhões de faturamento, com mais de 29 mil empresas formais espalhadas pelo país, sendo o segundo setor que mais emprega, representando 16,7% dos empregos formais no Brasil. Com base nesses dados compreende-se a importância deste setor para o país.

Contudo, o setor têxtil é um dos segmentos com grande potencial de impactos ambientais negativos, pois, toda a sua cadeia de produção é ampla e diversificada. Resíduos associados aos processos produtivos são os grandes geradores de desperdício. Como exemplo, se destacam os resíduos sólidos, retalhos e aparas, gerados principalmente no processo de corte, resultado da ineficiência da modelagem manual ou automatizada, limitação essa que pode ocasionar uma perda de até 30% do tecido (ANICET et al., 2014).

O resíduo gerado pelo processo de corte é estimado em pelo menos 170 mil toneladas por ano e destes, aproximadamente 40% são reprocessados. Dessa forma, cerca de 100 mil toneladas de retalhos e aparas são descartados em aterros sanitários (ABIT, 2017). A decomposição desses resíduos é lenta e produz metano, contribuindo para o aquecimento global e também lixiviado, contaminando a água e a superfície. Isso se agrava ainda mais quando são tecidos sintéticos, onde a decomposição pode levar centenas de anos (LEE, 2009).

A Lei nº 12.305/2010 (PNRS) demonstra a diferença entre rejeitos e resíduos (BRASIL, 2010). Os restos de tecidos são resíduos porque podem ser reaproveitados, reciclados e tratados e devem ter sua disposição final adequada, são 100% recicláveis e dispõe de tecnologia para ser reciclado e reutilizado, porém, essa ainda não é uma realidade no Brasil.

Outro grande problema ambiental é a produção desenfreada de resíduos poliméricos. Segundo a Abiplast (2017), o consumo de polímeros no Brasil no ano de 2016 foi de 6,3 milhões de toneladas, e apesar da evolução do índice de reciclagem, este reaproveitamento não chega a 30%. Uma possível resposta para isso seria a substituição de polímeros originários do petróleo por aqueles reciclados ou oriundos de fontes naturais, como é o caso do polietileno verde, polimerizado a partir da cana de açúcar (BORONAT et al., 2015).

A norma ABNT NBR ISO 9001 afirma que, o desenvolvimento sustentável das organizações passa pelo emprego de sistemas de qualidade e a tomada de decisões que promovam a melhora dos processos e a eficiência no que diz respeito à sustentabilidade. Para

isso, aplicar as estratégias da produção mais limpa (PML) podem promover a diminuição da produção de resíduos, otimizando, reciclando e reutilizando os insumos e matérias-primas utilizadas nos processos produtivos (GUIMARÃES; SEVERO; VIEIRA, 2017; ROY, 2016; ABNT, 2015).

Dessa forma, salienta-se a importância da participação da PML neste trabalho, visto que, disponibiliza ferramentas e reforça a necessidade de encontrar soluções para os problemas ambientais em questão. Aliar a busca por soluções sustentáveis com alternativas para aperfeiçoar produtos é uma tendência global e os materiais compósitos apresentam uma enorme capacidade para esses casos, uma vez que possibilitam, através da união de duas ou mais fases, um material com características diferenciadas em relação aos seus constituintes (SHETTY et al., 2017; CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

O processo de desenvolvimento de produto (PDP) pode facilitar os trabalhos na elaboração de um novo material, pois consiste em um conjunto de atividades que têm como objetivo atender às expectativas estipuladas no escopo do projeto. Fazer uso de ferramentas de gerenciamento de projeto torna o processo mais simples, claro, flexível e interativo, de forma a obter melhores resultados (AMARAL, et al., 2011).

A substituição de materiais comumente utilizados em diversos segmentos industriais por compósitos já é uma realidade (SHETTY et al., 2017; CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). O número de estudos com compósitos feitos a partir de resíduos e fontes renováveis aumenta gradativamente, tendo em vista que suas propriedades costumam atender de maneira satisfatória aos requisitos mecânicos e estéticos exigidos pelos produtos (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

Nesse contexto, objetivando aplicações onde há exigências mecânicas, como por exemplo, capacetes de segurança e pallets plásticos para movimentação de carga, reforçar o polietileno (material comumente utilizado nesses casos) com resíduos, pode além de aprimorar mecanicamente o material, encontrar uma alternativa para o resíduo gerado pela indústria têxtil. Como salientam Arpitha e Yogesha (2017) a importância e a capacidade da utilização de fibras naturais como reforço para polímeros, possíveis aplicações na construção civil e para aplicações mais comuns onde se exige uma boa resistência do material.

Malhotra, Sheikh e Rani (2012), ressaltaram em sua revisão bibliográfica, que a utilização de fibras naturais como reforço para polímeros apresenta boas possibilidades de mercado em um futuro próximo. Zhang et al. (2019), fizeram um comparativo de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com fibras de casca de amendoim, arroz e noz, aprimorando o material. Elcheverria et al. (2019), confeccionaram um compósito utilizando resíduos da indústria têxtil para reforçar polipropileno.

Mesmo tendo foco na otimização mecânica, o uso de fibras têxteis como reforço para compósitos se justifica principalmente pela necessidade de reutilização de materiais que teriam como destino os aterros sanitários, ou descartados de maneira indevida (NAJAFI; NASRI; KOTEK, 2017; BORSOI et al., 2011). O número de pesquisas relacionadas a encontrar soluções para resíduo é cada vez mais expressivo, mas ainda faltam estudos relacionando a união das fibras têxteis com polímeros verdes.

Com base nesse princípio, reforçado pela abundância de resíduos têxteis e ainda pelo pioneirismo brasileiro no desenvolvimento de polímeros verdes, justifica-se a presente pesquisa. Dessa forma, objetiva-se apresentar trabalhos já realizados, empregando o uso de fibras, principalmente as fibras têxteis, como reforço para materiais poliméricos, com foco no emprego do polietileno, investigando as possíveis melhorias mecânicas e comparando com os materiais tradicionais presentes no mercado. E ainda, seguindo a metodologia da produção mais limpa e através de uma abordagem preliminar, propor a elaboração de um material desenvolvido a partir de resíduos da indústria têxtil como reforço para o polietileno verde,

fazendo uso das práticas de um PDP, definindo os procedimentos necessários à elaboração do mesmo e proporcionando uma alternativa ao mercado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A PML busca minimizar a produção de resíduos de um processo, aumentando a eficiência da utilização da matéria-prima, investigando processos que poderiam ser melhorados, reaproveitando e reciclando aqueles materiais que não puderam ser realocados no sistema (GUIMARÃES; SEVERO; VIERA, 2017). Definida em 1988, pelo UNEP (*United Nations Environmental Program*), metodologicamente, busca uma integração entre as estratégias econômicas, ambientais e tecnológicas dos processos e produtos.

Resumidamente, a produção mais limpa consiste em eliminar a poluição durante o processo produtivo, atacando nas causas do problema (TAGLIARI et al., 2015). Ainda, quando o problema não pode ser solucionado no processo, é possível utilizar uma das estratégias da PML, que é a reciclagem dos resíduos, onde estes podem ser então reaproveitados para a criação de um novo produto (GUIMARÃES; SEVERO; VIEIRA, 2017).

O método da PML tem intensificado melhorias em grandes indústrias, principalmente naquelas onde há um conhecimento técnico e a capacidade organizacional de aplicar ideias inovadoras (SATISH; NAGESHA, 2018). Ozturk et al. (2016) demonstraram que a PML é amplamente utilizada pelo setor têxtil. Sua aplicação quando bem executada pode trazer benefícios em pouco tempo, reduzindo a degradação ambiental ocasionada por um dos segmentos mais poluidores.

Neto et al. (2019) avaliaram a aplicação das práticas da PML em uma indústria têxtil e através da inovação tecnológica, puderam comprovar os ganhos financeiros e ambientais relacionados aos objetivos da empresa. Souza et al. (2018), utilizaram como norteador de sua pesquisa a produção mais limpa para desenvolver um compósito com resíduos de madeira e resíduos de tinta à base de epóxi como adesivo para a confecção de painéis. Os resultados demonstraram um desempenho físico e mecânico satisfatório, mas principalmente, o estudo destacou o ganho ambiental em utilizar resíduos para a confecção destes painéis, diminuindo a emissão de gases na atmosfera.

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

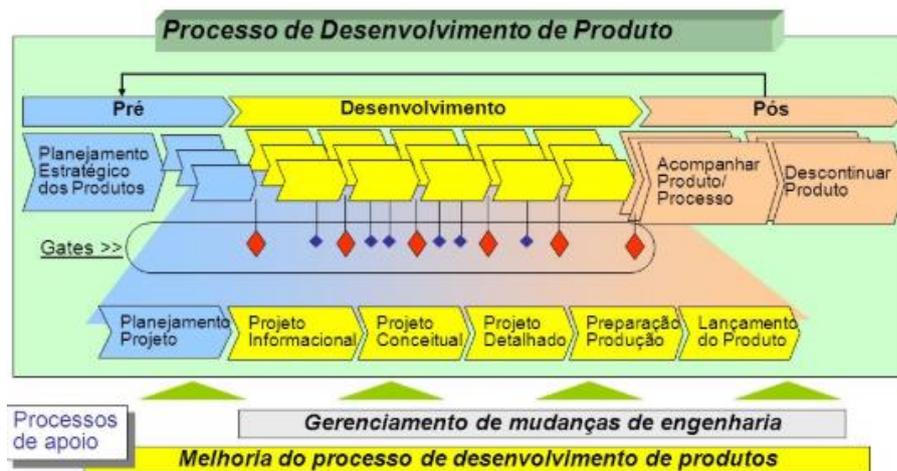
A PML serve como o preceito da presente pesquisa, uma metodologia capaz de encontrar uma possível solução para o problema ambiental em questão, mas para facilitar o desenvolvimento do material, é necessário entender todas as etapas necessárias envolvidas neste processo. Para isso, o processo de desenvolvimento de produto (PDP), compreende um conjunto de atividades que, com base nas necessidades do mercado, nas restrições e possibilidades tecnológicas, visa atender as especificações de projeto de um produto e seu processo produtivo, ou seja, envolve uma sequência de práticas nas quais a informação é processada através da decomposição de etapas do projeto em subtarefas menores (HOLAHAN et al., 2014).

Normalmente, as ferramentas de PDP são utilizadas para a elaboração de projetos que visam atender uma grande demanda. Faz uso de equipes multifuncionais, um processo formal e estruturado e planejamento de mercado (GENÇ; DI BENEDETTO, 2015). Como cada projeto é peculiar, não existe uma única prática de desenvolvimento que atenda a todos,

portanto, a escolha do processo a ser seguido deve ser determinada pelas características do projeto, diferenciando assim, as maneiras de gerenciamento (MEDEIROS et al., 2018).

Existem muitas metodologias de PDP, cada uma com suas particularidades, compostas de diversas etapas e fases. Um dos modelos mais completos e usados atualmente é o proposto por Rozenfeld et al. (2010) (Figura 1), que adota um escopo expandido, incluindo atividades de planejamento estratégico do início ao fim do processo, dividindo as atividades de PDP em três etapas: pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

Figura 1 – Etapas do processo de desenvolvimento de produto



Fonte: Rozenfeld et al. (2010, p. 44)

Na fase de pré-desenvolvimento é planejado o escopo do produto a ser desenvolvido, as avaliações econômicas do projeto, avaliação de riscos e definição de indicadores. Na etapa de desenvolvimento, através de uma análise de mercado, informações obtidas com clientes e necessidades a serem atendidas, são definidos os conceitos a serem adotados, funções a serem desempenhadas, materiais, métodos de fabricação e tolerâncias e então o produto é lançado. O pós-desenvolvimento inicia-se com o planejamento de acompanhamento do produto onde são definidas as alterações necessárias, visando a melhoria do produto após seu lançamento e ainda, devem ser tomadas as providências de sustentabilidade do projeto (ROZENFELD et al., 2006).

Como definido por Hallstedt e Isaksson (2017), que enfatizam a necessidade de práticas adequadas de comunicação organizacional para a integração bem-sucedida de elementos sustentáveis no PDP. Ainda, Brones et al. (2014) destacam a importância do mapeamento dos requisitos ambientais a serem considerados ao longo do projeto. Nappi e Rozenfeld (2015) indicam que adicionar indicadores de sustentabilidade em projetos de desenvolvimento de produtos é possível, desde que haja interessados empenhados com objetivos ambientais, podendo trazer ótimos benefícios para a empresa.

Gmelin e Seuring (2014) reforçam a importância da aderência da avaliação do ciclo de vida do produto ao gerenciamento do PDP, que é uma ferramenta amplamente conhecida que auxilia o design de produto verde, demonstrando toda a capacidade de produção de resíduo de um processo, destacando os pontos fracos deste, facilitando redução na produção de resíduos. Dessa forma é possível salientar a importância do PDP para o desenvolvimento de um material sustentável, visto que é primordial realizar um bom planejamento das atividades, ter ciência da problemática em questão e definir metas e objetivos claros.

2.3 POLIETILENO VERDE

O polietileno (PE) é o termoplástico mais usado na atualidade, representando cerca de 32% do emprego de polímeros a nível mundial. Em 2016 o consumo brasileiro de PE foi de 2320 milhões de toneladas, aplicados principalmente em embalagens, mas também em brinquedos, peças da indústria automotiva, entre outras milhares de possibilidades (ABIPLAST, 2017).

Como o próprio nome sugere, ele é formado através da polimerização dos meros de etileno, que de acordo com a organização da estrutura linear, ocasionam diferentes tipos de PE (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). Os mais utilizados são o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno de baixa densidade (PEBD), que se diferem pelo nível de cristalinidade em sua estrutura, sendo o PEAD mais cristalino, ocasionando um polímero mais rígido e resistente (Tabela 1) (SOGANCIOGLU; YEL; AHMETLI, 2017).

Tabela 1 - Algumas propriedades do polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de alta densidade (PEAD)

Propriedade	PEBD	PEAD
Tm (°C)	110-125	130-135
Densidade (g/cm ³)	0,91-0,94	0,94-0,97
Resistência à Tração (MPa)	6,9-16	20-45
Dureza Rockwell R	10	65
Alongamento máximo (%)	100-800	50-900
Modulo de Flexão (GPa)	0,06-0,5	0,7-1,5
Resistência a Flexão (MPa)	-	18-28
Resistência ao Impacto (kJ/m ²)	-	9-35
Condutividade Térmica (10 ⁻⁴ cal/s cm ² °C/cm)	8,0	11,0-12,4
Modulo de Young (GPa)	0,25	1,0

Fonte: Coutinho et al. (2003, p. 3)

No caso dos materiais poliméricos, o prejuízo ao ambiente vem desde a sua produção até o descarte. Não utilizar polímeros provenientes de origens fósseis reduz a emissão de CO₂ na atmosfera, pois de acordo com Brito et al. (2011), na produção de 1 tonelada de polietileno oriundo do nafta, são liberados em média 2,5 toneladas de dióxido de carbono.

Sintetizado a partir da cana-de-açúcar, o PE ganha a nomenclatura de polímero verde, pois é um material que normalmente é polimerizado utilizando matéria-prima proveniente de fontes fósseis (BRITO, et al., 2011). Foi desenvolvido no Centro de Tecnologia e Inovação da Braskem, empresa brasileira que atua no setor petroquímico. O processo de transformação começa pela desidratação do etanol, resultando no eteno, matéria prima então polimerizada para a produção do PE verde, gerando apenas água e componentes oxigenados como subprodutos (BRASKEM, 2017).

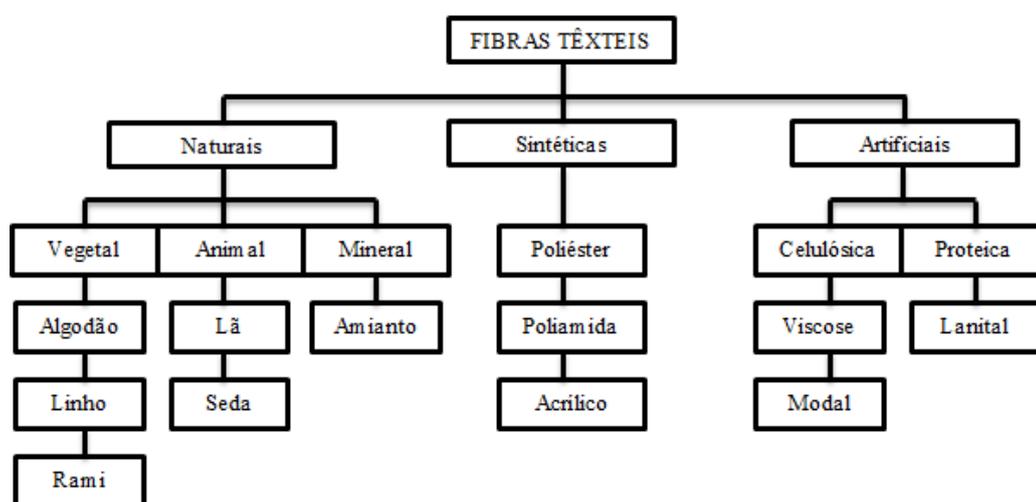
Segundo a Braskem (2017), graças à tecnologia é possível produzir qualquer tipo de polietileno através da cana de açúcar, mantendo as mesmas propriedades, desempenho, versatilidade de aplicações do polímero tradicional, sendo reciclável e ainda contribuindo para a redução do efeito estufa. Como o PE verde pode ser utilizado em qualquer aplicação do PE convencional, seu uso como matriz para compósitos é possível e necessário quando se aborda questões ecológicas.

2.4 RESÍDUO TÊXTIL

É nomeado como fibra têxtil qualquer material de origem natural ou sintética passível de ser fiado ou tecido (ECHEVERRIA et al., 2019). Normalmente possuem boa relação comprimento/diâmetro e características como flexibilidade, suavidade, resistência, tenacidade, finura e elasticidade (ECHEVERRIA et al., 2019; CONMETRO, 2008).

As fibras podem ser de origem natural, provenientes de animais, vegetais ou minerais; artificiais, oriundas de polímeros naturais regenerados; sintéticas, que são resultadas das reações de polimerização (Figura 2) (ECHEVERRIA et al., 2019; ANDRADE; BORELLI; GIACOMINI, 2014).

Figura 2 – Classificação das fibras têxteis



Fonte: Andrade, Borelli e Giacomini (2014, p. 5)

A fibra de algodão, de natureza hidrófila, origina-se de uma planta denominada algodoeiro (ABRAPA, 2013). É a fibra mais utilizada no mundo para a confecção de roupas, representando quase 50% da matéria prima total empregada pelo setor (ABIT, 2017; ABRAPA, 2013). Composta basicamente de celulose, possui alta tenacidade, boas propriedades mecânicas e baixo custo (BORSOI et al., 2011).

O poliéster é uma fibra sintética, composta por éster de álcool dihidrico e ácido tereftálico. É hidrofóbico, ou seja, sua absorção de umidade é baixa, possuindo alta resistividade, sendo um bom isolante térmico, muito empregado para a confecção de roupas e sacos de dormir (ANDRADE; BORELLI; GIACOMINI, 2014). Das fibras sintéticas é a mais usada pelo setor têxtil e a união das fibras de algodão e poliéster representam boa parte da confecção de roupas (ABIT, 2017; ABRAPA, 2013).

Este trabalho dará enfoque para as principais fibras utilizadas pelo setor, conseqüentemente, também representam o maior volume de resíduos têxteis. Reutilizar o algodão e poliéster como reforço para compósitos pode ser uma alternativa ambientalmente correta para o seu descarte indevido (NAJAFI; NASRI; KOTEK, 2017; BORSOI et al., 2011). Contudo, o objetivo primordial da confecção de materiais compósitos é obter um material com melhores propriedades em relação aos seus constituintes separados. Para isso, é importante conhecer algumas propriedades das fibras em questão (Tabela 2).

Tabela 2 – Propriedades do algodão e do poliéster

Propriedade	Algodão	Poliéster
Densidade (g/cm ³)	1,5-1,6	1,04-1,46
Alongamento (%)	7,0-8,0	18-75
Resistência à Tração (MPa)	287-597	35-100
Tm (°C)	-	265
Condutividade Térmica	Moderada	Baixa
Modulo de Young (GPa)	5,5-12,6	2,1-4,4

Fonte: Lau et al. (2018, p. 223)

Diversos autores salientam a capacidade das fibras têxteis como reforço para matrizes poliméricas. Contudo, Lau et al. (2018) explanaram em sua pesquisa a dificuldade de interação entre as fibras naturais como o algodão com matrizes poliméricas, visto que a natureza hidrofílica da fibra e hidrofóbica da matriz causa uma diferença de polaridade, dificultando a ligação entre os materiais. Sood e Dewivedi (2018) também demonstraram em sua revisão a importância do tratamento superficial das fibras de celulose para melhorar a adesão à matriz, com o intuito de otimizar as propriedades de flexão do compósito.

Outra importante variável que afeta diretamente a resistência à compressão de um compósito reforçado com tecido é a arquitetura deste. Como Sasikumar et al. (2019) explicam, além da espessura da camada ou camadas dos tecidos, sua tecelagem, ou seja, a maneira que os fios da trama e do urdume estão organizados, como tela, sarja ou outros, pode influenciar nas características de um compósito.

3 METODOLOGIA

Através de uma abordagem preliminar, propõe definir as etapas para a elaboração de um material compósito utilizando o polietileno verde como matriz e resíduos têxteis como reforço, objetivando encontrar um material para substituir o polietileno tradicional em algumas de suas aplicações industriais, como capacetes de seguranças e paletes plásticos. Configurando-se como uma pesquisa aplicada, quantitativa, de caráter exploratório e explicativo, valendo-se da pesquisa bibliográfica, através de consultas a livros, artigos científicos e técnicos, com o intuito de explicar o potencial mecânico do material sustentável proposto (GIL, 2010).

A pesquisa será alicerçada pelos preceitos da produção mais limpa concomitante as práticas dos processos de desenvolvimento de produto, uma vez que a proposta do trabalho consiste na elaboração do escopo para o desenvolvimento de um material renovável, reciclável e de baixo impacto ao meio ambiente.

4 RESULTADOS

Diversos trabalhos empregando polietileno como matriz reforçado por fibras e utilizando fibras têxteis como reforço para polímeros foram publicados. Essas pesquisas servirão como base para o planejamento e elaboração do material em questão.

Aji et. al (2013), utilizaram como reforço para o PEAD fibras de cânhamo e folhas de abacaxi, realizando a hibridização entre as fibras para promover uma maior capacidade mecânica do compósito, mantendo constante o volume de fibras em 40%. Demonstrando que com uma proporção percentual igual das fibras, houve ganhos de resistência nos testes de tração (30 MPa) e flexão (28 MPa), contudo, o maior valor de resistência ao impacto (9 kJ/m²) foi obtido com uma proporção de 60% cânhamo/40% folha de abacaxi, concluindo que

a fibra de folhas de abacaxi ajudou o compósito nas propriedades de tração e flexão. O cânhamo forneceu resistência ao impacto e redução da absorção de água.

Zhang et al. (2019), fizeram um comparativo de compósitos de PEAD reforçados com fibras de casca de amendoim, arroz e noz. Verificaram que o compósito com casca de arroz apresentou melhores propriedades mecânicas em comparação com os outros dois materiais, sendo 16 MPa de resistência à tração, 15 kJ/m² de resistência ao impacto e ainda, uma interface de ligação entre os componentes mais lisa e uniforme.

Elzubair e Suarez (2012) investigaram o efeito do tratamento da fibra de piaçava (palmeira nativa da Amazônia) em junção com o PEAD. Utilizando o processo de molde por injeção e proporções variadas de fibra (0-20%), definiram que as propriedades mecânicas do compósito melhoraram de acordo com o aumento da porcentagem de fibra, apresentando com 20% do volume em fibras 22,76 MPa de resistência à tração e 27,81 MPa de resistência à flexão.

Boronat et al. (2015) desenvolveram um compósito sustentável com PE verde e carga de casca de ovo modificada, melhorando a adesão do conjunto com titanato. Os pesquisadores realizaram ensaios mecânicos, onde encontraram melhores propriedades em relação ao PE verde nos módulos de tensão e flexão, obtendo 439 MPa e 1021 MPa respectivamente, comprovando que a adição da carga melhorou efetivamente as propriedades do material.

Castro, Ruvolo-filho e Frollini (2012) uniram filamentos de PEAD verde e fibra de carauá (Bromélia Amazônica) em um misturador seguido por termopressão e polibutadieno como agente compatibilizante. O compósito apresentou a maior resistência à flexão sem a presença do compatibilizante (24 MPa). O polibutadieno melhorou a adesão fibra/matriz, otimizando a resistência ao impacto do compósito.

Elcheverria et al. (2019), confeccionaram um compósito usando resíduos da indústria têxtil para reforçar polipropileno. Para isso, misturaram resíduos de algodão, lã, poliéster e nylon triturados e orientados de maneira aleatória. Fabricado através do método de compressão a quente, utilizando anídrico maleico como agente de acoplamento, os compósitos com 40% de reforço em peso foram os que obtiveram a melhor resistência mecânica (34,9 MPa).

Borsoi et al. (2011), demonstraram que com 20% de percentual de fibras de algodão como reforço para poliestireno, o material obteve um aumento de resistência em relação ao polímero puro, atingindo 51 MPa de resistência à tração e 250 J/m² de resistência ao impacto. Filkler et al. (2005) usaram de fibras de algodão e acrílico em união ao polietileno de alta densidade, concluindo que o compósito apresentou uma ótima resistência a tração (31 MPa) e flexão (37 MPa), sendo uma boa solução para a indústria moveleira.

Peña-Pichardo et al. (2018), utilizaram resíduo de calça jeans 100% algodão como reforço para matriz de poliéster, com tratamento superficial por irradiação gama para as fibras. Os resultados demonstraram uma melhora de 40% na resistência à compressão e 7% na resistência à flexão. Petrucci et al. (2015), desenvolveram um compósito laminar com resíduos de algodão e matriz de polipropileno, modificando a estrutura da fibra com acetato de polivinilo, possibilitando uma melhora na resistência a tração (31,89 MPa) em relação a matriz isolada.

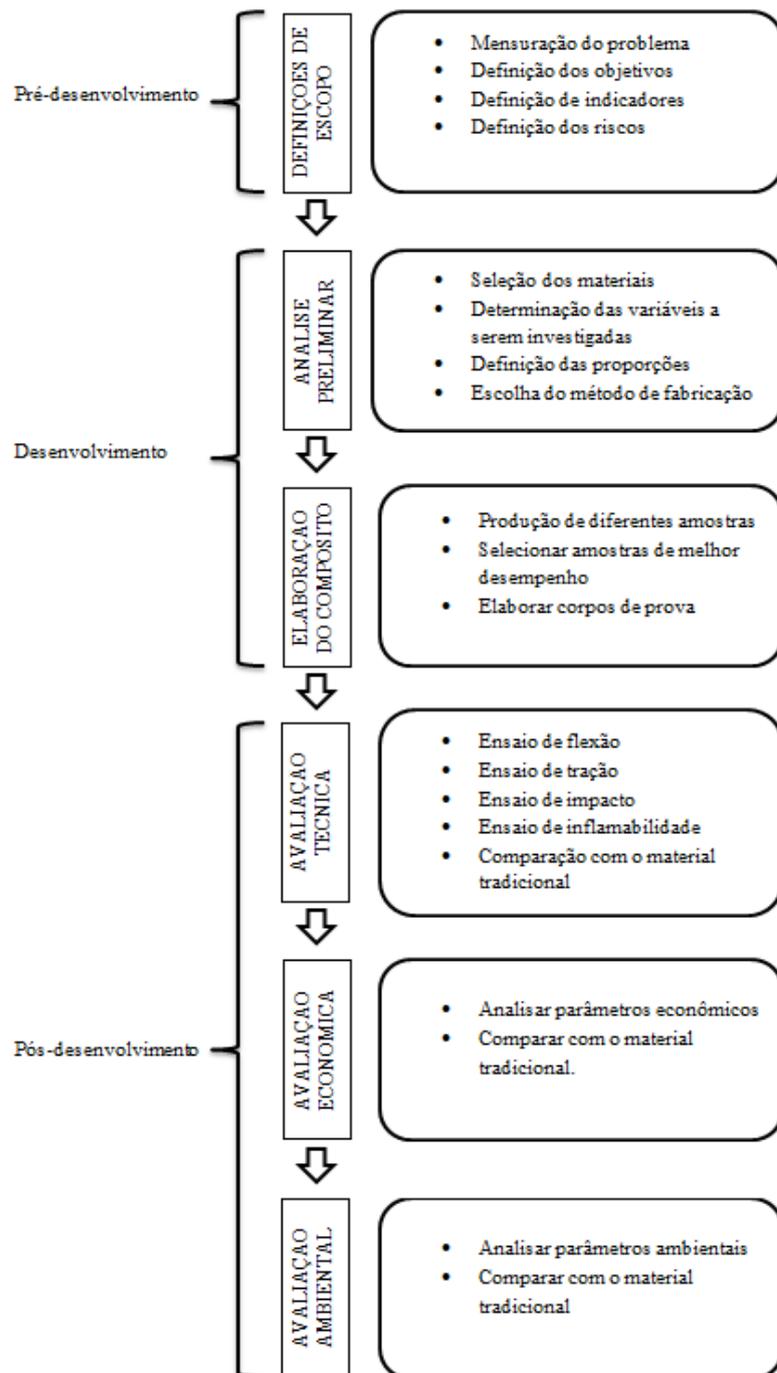
4.1 PROPOSTA DE ELABORAÇÃO DO COMPÓSITO

Na elaboração do compósito com resíduo têxtil e polietileno verde, foram estabelecidas as etapas seguindo o modelo proposto por Rozenfeld et al. (2010). Dessa forma, o planejamento e as atividades foram divididas entre as fases de pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

Para a definição de cada etapa foram utilizados os estudos demonstrados na seção de revisão bibliográfica, levando em consideração uma análise das tecnologias disponíveis e informações de especialistas. No modelo de Rozenfeld et al. (2010), a pesquisa de mercado e o contato com os clientes é de extrema importância, visto que, normalmente é adotado para o desenvolvimento de produtos a serem comercializados.

Contudo, como a presente pesquisa trata-se da elaboração de um novo material em meio acadêmico, algumas atividades do modelo não serão executadas. O fluxograma a seguir apresenta o passo a passo a ser seguido (Figura 3).

Figura 3 – Fluxo de etapas para elaboração do compósito



Fonte: Autores (2019).

Na fase de pré-desenvolvimento foi definida a problemática a ser resolvida, os objetivos para solucionar a questão, os indicadores que servirão como base para poder avaliar a execução das atividades e o material em si, ainda, os riscos do projeto, como por exemplo, a limitação de prazo, as limitações de tecnologias e materiais disponíveis.

No desenvolvimento será feita a definição dos materiais e suas composições, as variáveis a serem investigadas, entre elas o tratamento superficial das fibras e a organização dos fios na trama e no urdume. Através de uma avaliação mecânica preliminar, serão determinadas as proporções de matriz e reforço, com a intenção de encontrar o melhor equilíbrio para o conjunto do ponto de vista mecânico, para que então sejam confeccionadas as amostras.

Com as amostras prontas será dado início a fase de pós-desenvolvimento, onde serão realizados os ensaios mecânicos, comparando os resultados com as propriedades do polietileno verde sem reforço e com o polietileno tradicional. Será realizando uma comparação econômica e ainda uma avaliação ambiental, calculando o nível de sustentabilidade do compósito desenvolvido.

3 CONCLUSÃO

Através da revisão apresentada é evidente a necessidade de pensar em alternativas sustentáveis para a produção e o descarte incorreto de resíduos. O avanço tecnológico nos permite buscar soluções cada vez mais inovadoras, desenvolver novos materiais e processos que permitam a utilização de matérias primas de origem renovável.

Pesquisas abordando a busca por materiais sustentáveis, utilizando resíduos e componentes ecologicamente corretos estão cada vez mais em pauta, demonstrando a preocupação e a urgência em encontrar alternativas para propiciar um futuro menos danoso ao planeta e conseqüentemente, melhor para as futuras gerações. Foi possível observar nos estudos realizados por diversos pesquisadores, demonstrados na seção de resultados, a possibilidade de desenvolver um material compósito com o polietileno reforçado por fibras e também, a capacidade que as fibras têxteis têm de reforçar materiais poliméricos, onde foram encontrados resultados mecânicos satisfatórios para promover a substituição de materiais tradicionais.

A metodologia de desenvolvimento de produto trouxe a pesquisa uma maneira mais clara de planejamento do escopo do projeto. Dessa forma, os trabalhos para o futuro projeto de desenvolvimento do material serão melhor arquitetados, diminuindo a possibilidade de erros e riscos da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: sistema de gestão da qualidade: requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, p. 9, outubro 2015.
- ABIT. Associação brasileira da indústria têxtil e de confecção. **Cartilha Indústria Têxtil**. São Paulo: Abit, 2017. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em: 20 mai. 2018.
- ABIPLAST. Associação brasileira da indústria do plástico. **Perfil 2016: Indústria brasileira de transformação de material plástico**. São Paulo: Abiplast, 2017. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/abiplast>>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- ABRAPA. Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. **Algodão no Brasil**. Disponível em <<http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 10 jun. 2018.

AJI, I. S. et al. Mechanical properties and water absorption behavior of hybridized kenaf/pineapple leaf fibre-reinforced high-density polyethylene composite. **Journal of Composite Materials**, v. 47, n. 8, p. 979-990, 2013.

AMARAL, D. C. et al. **Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores**. São Paulo: Saraiva, 2011.

ANDRADE, G.; BORELLI, C.; GIACOMINI, R. Um novo sensor têxtil de toque para aplicação em vestuário. In: 2º CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E DE MODA, v. 1, p. 1-15, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTT, 2014. Disponível em: <<http://www.contexmod.net.br/index.php/segundo/index>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ANICET, A. et al. Upcycling de fios de malharia retilínea em produtos de moda sustentável. In: 2o. CIMODE-Internacional Fashion and Design Congress, p. 2420-2429, 2014, Milão - Itália. **Anais...** Milão: Politecnico di Milano/Scuola del Designe, 2014. Disponível em: <

<https://www.eko.polimi.it/index.php/cimode2014/index/schedConfs/archive>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

ARPITHA, G. R.; YOGESHA, B. An Overview on Mechanical Property Evaluation of Natural Fiber Reinforced Polymers. **Material Today:Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 2755-2760, 2017.

BORSOI, Cleide et al. Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 271-279, 2011.

BORONAT, T. et al. Development of a biocomposite based on green polyethylene biopolymer and eggshell. **Materials & Design**, v. 68, p. 177-185, 2015.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 8 out. 2017.

BRASKEM. **Polietileno verde I'm Green (PE verde I'm Green)**. 2017. Disponível em: <<http://www.braskem.com/site.aspx/PE-Verde-Produtos-e-Inovacao>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6.2, p. 127-139, 2011.

BRONES, F. A. et al. Reviews, action and learning on change management for ecodesign transition. **Journal of Cleaner Production**. v. 142, p. 8-22, 2017.

CALLISTER Jr. D. W. RETHWISCH, G., D. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em debate**. Brasília, v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016.

CASTRO, D. O; RUVOLLO-FILHO, A.; FROLLINI, E. Materials prepared from biopolyethylene and curaua fibers: Composites from biomass. **Polymer Testing**, v. 31, n. 7, p. 880-888, 2012.

COUTINHO, F. M. B. et al. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, p. 1-13, 2003.

CONMETRO. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Resolução n.º 02**, de 6 de maio de 2008. Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial.

São Paulo, 2008. Disponível em: <
<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000213.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2018.

ECHEVERRIA, C. A. et al. Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1524-1536, 2019.

ELZUBAIR, A.; SUAREZ, J. C. M. Mechanical behavior of recycled polyethylene/piassava fiber composites. **Materials Science and Engineering: A**, v. 557, p. 29-35, 2012.

FINKLER, M. et al. Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: caracterização mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 3, p. 171-175, 2005.

GENÇ, E., DI BENEDETTO, C. A. Cross-functional integration in the sustainable new product development process: The role of the environmental specialist. **Industrial Marketing Management**, v. 50, p. 150-161, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUIMARÃES, J. C. F. de; SEVERO, E. A.; VIEIRA, A. S. Cleaner production, project management and Strategic Drivers: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 881-890, 2017.

GMELIN, H.; SEURING, S. Determinants of a sustainable new product development. **Journal of Cleaner production**, v. 69, p. 1-9., 2014.

HALLSTEDT, S. I., ISAKSSON, O. Material criticality assessment in early phases of sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 40-52, 2017.

HOLAHAN, P. J. et al. Product development as core competence: How formal product development practices differ for radical, more innovative, and incremental product innovations. **Journal of Product Innovation Management**, v. 31(2), n. 2, p. 329-345, 2014.

KUMAR, A.; HOLUSZKOA, M.; ESPINOSA, D. C. R. E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 32-42, 2017.

LAU, K. et al. Properties of natural fibre composites for structural engineering applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 136, p. 222-233, 2018.

LEE, M. **Eco Chic: o guia de moda ética para a consumidora consciente**. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

MALHOTRA, N.; SHEIKH, K.; RANI, S. A review on mechanical characterization of natural fiber reinforced polymer composites. **Journal of Engineering Research and Studies**, v. 3, n. 1, p. 75-80, 2012.

MEDEIROS, J. F. et al. Proposal of a Novel Reference System for the Green Product Development Process (GPDP). **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 984-995, 2018.

NAJAFI, M.; NASRI, L.; KOTEK, R. 9 – High-performance nylon fibers. **Structure and Properties of High-Performance Fibers**, p. 199–244, 2017.

NAPPI, V.; ROZENFELD, H. The Incorporation of Sustainability Indicators into a Performance Measurement System. **Procedia CIRP**, v. 26, p. 7-12, 2015.

NETO, G. C. O. et al. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1514-1525, 2019.

OZTURK, E. et al. Sustainable textile production: cleaner production assessment/ecoeficiency analysis study in a textile mil. **Journal of Cleaner Production**, v. 138, p. 248-263, 2016.

PEÑA-PICHARDO, P. et al. Recovery of cotton fibers from waste Blue-Jeans and its use in polyester concrete. **Construction and Building Materials**, v. 177, p.409-416, 2018.

PETRUCCI, R. et al. Tensile and fatigue characterisation of textile cotton waste/polypropylene laminates. **Composites Part B: Engineering**, v. 81, p. 84-90, 2015.

ROY, R. **Consumer product innovation and sustainable design: the evolution and impacts of successful products**. Oxon (UK): routledge, 2016.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2010.

SANTOS, P.; CABRAL, A. Inclusão do indicador "impactos ambientais" na ferramenta "Diagnóstico do Sistema Embalagem": um estudo de caso em vinícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 75-82, 2013.

SASIKUMAR, A. et al. Impact and compression after impact response in thin laminates of spread-tow woven and non-crimp fabrics. **Composite Structures**, v. 215, p. 432-445, 2019.

SATISH, G. J.; N. NAGESHA, N. Cleaner Production: A brief literature review. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 9, p. 17944-17951, 2018.

SHETTY, N. et al. A review on finite element method for machining of composite materials. **Composite Structures**, v. 176, p. 790-802, 2017.

SOOD, M.; DWIVEDI, G. Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review. **Egyptian Journal of Petroleum**. v. 27, n. 4, p. 775-783, 2018.

SOGANCIOGLU. M.; YEL, E.; AHMETLI, G. Pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE) and low density polyethylene (LDPE) plastics and production of epoxy composites with their pyrolysis chars. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 369-381, 2017.

SOUZA, A. M. et al. Wood-based composite made of wood waste and epoxy based inkwaste as adhesive: A cleaner production alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 549-562, 2018.

TAGLIARI, L. D., et al. Processo de produção mais limpa no setor jato de granalha em uma empresa metal mecânica. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 1, p. 147-163, 2015.

UNEP. United nations enviroment programmas. **ABC OF SCP: Clarifyng Concepts on Sustainable Consumption and Production**. Paris, 2012. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=945&menu=1515>>. Acesso em: 13 out. 2018.

ZHANG, Q. et al. Properties comparison of high density polyethylene composites filled with three kinds of shell fibers. **Results in Physics**, v. 12, p. 1542-1546, 2019.