

Desenvolvimento de um compósito polimérico reforçado com fibra vegetal *Phormium tenax* para inovação incremental em produtos

Fábio Furtado, Thaís Helena Sydenstricker Flores-Sahagun, Felipe Gonçalves Jedyn

Resumo: Uma das formas de inovação incremental em bens industriais é a matéria-prima, um fator de grande relevância aos custos na concepção de produtos. Para se conceber um produto pensando em sua matéria-prima também é necessário se atentar na sua manufatura. A *Phormium-tenax* é uma fibra vegetal capaz de reforçar o polipropileno e desenvolver produtos diferenciados. O compósito polimérico reforçado por fibras curtas de *Phormium tenax* possui algumas características importantes da matéria-prima para a confecção de produtos tais como coloração, textura, brilho, estética, leveza, contraste, propriedades sensoriais (cheiro) e antioxidantes. Algumas aplicações tais como mesas e cadeiras, além de produtos de decoração são excelentes opções para a aplicação de compósitos PP/*Phormium tenax*.

Palavras chave: *Phormium tenax*, produto, matéria-prima.

Development of a polymeric composite reinforced by *Phormium tenax* vegetal fiber to incremental innovation in products

Abstract: One of the forms of incremental innovation in industrial goods is the raw material, a factor of great relevancy in the costs in the conception of products. To conceive product thinking about its raw material is also necessary to pay attention to its manufacture. *Phormium tenax* is a vegetal fiber that can reinforce polypropylene and develop differentiated products. The polymeric composite reinforced by *Phormium tenax* short fibers has some important characteristics of raw material to make products such as color, texture, brightness, aesthetic, lightness, contrast, antioxidant and sensorial properties (smell). Some applications such as tables, chairs and also decorative products are excellent options for the application of PP/*Phormium tenax* composites.

Key-words: *Phormium tenax*, product, raw material

1. Introdução

1.1 Produto e inovação

Segundo o Manual de Oslo (FINEP, 2005) uma empresa considerada inovadora é aquela que realizou pelo menos uma inovação em produto, processo, marketing ou gestão de negócios ou então em uma combinação entre eles, sem se atentar ao fato dessas inovações serem incrementais ou radicais ou ainda associadas a setores da mais alta densidade tecnológica. Essa visão é essencialmente inclusiva de inovação, pois abrange uma gama de empresas que inovam de forma não sistemática, e que em sua maioria, praticam uma inovação incremental. Uma das formas de inovação incremental de um produto pode ser vista pela sua matéria-prima, capaz de agregar novas características atrativas ao produto, como aparência, estética e propriedades antioxidantes. Este artigo tem por objetivo comentar sobre o desenvolvimento de um novo material que pode agregar características interessantes a produtos de polipropileno.

De acordo com a visão de Churchill Jr. e Peter (2000) um produto pode ser definido como um bem de consumo, cuja destinação é o consumidor final, ou ainda de bens industriais, que se destinam às organizações. Os produtos classificados como bens de consumo podem ser

reclassificados ainda em outros quatro tipos possíveis, como de conveniência, caracterizado por baixo preço, possibilidade de promoção em massa e ampla distribuição; compra comparada, em que o preço é moderado, a promoção é em massa e destinada a vendas cuja distribuição é seletiva; especialidade, sendo de alto preço, promoção em massa com venda precisa e distribuição exclusiva ou ainda do tipo não procurado, na qual o preço também é alto, no entanto a promoção é específica e a distribuição é exclusiva. Da mesma forma os bens industriais também são divididos em quatro classes de produtos, que são de instalações, cuja decisão de compra é complexa, exigindo muitos membros, em que o valor do preço não é relevante e a promoção se destina a vendas pessoais; produtos acessórios, de decisão de compra rápida, com menos membros, sendo o preço normalmente não importante e com promoção visada em propaganda; matéria-prima, com decisão de compra frequente, em que o preço é muito importante e a promoção se dá por vendas pessoais; e por fim, bens industriais do tipo serviço, cuja decisão de compra é variável, assim como o preço e a promoção (CORRÊA, 2010).

Um novo material pesquisado e detalhado neste artigo refere-se a um compósito de matriz de polipropileno reforçado com fibra vegetal de *Phormium tenax*, que pode servir de matéria-prima para confecção de produtos que atualmente empregam o polipropileno, conferindo características novas e atrativas ao produto que podem visar a trazer melhor satisfação ao consumidor, representando uma inovação incremental. Para Tidd et al. (2008) a inovação incremental em um produto é aquela que parte daquilo é existente e se almeja o aprimoramento, enquanto que a inovação radical parte de algo completamente novo, como por exemplo uma invenção. Tidd et al. (2008) enfatizam a importância da inovação incremental, contínua e sustentada, por intermédio de plataformas que favoreçam o desenvolvimento de famílias de produtos, inclusive de aplicabilidade em outros mercados, e habilidades, impulsionando o aumento do desempenho que favorece as inovações em processos.

1.2 Uso de fibras vegetais e *Phormium tenax*

Existe uma procura crescente por alternativas renováveis e biodegradáveis na composição de novos materiais e para isso fibras lignocelulósicas vêm sendo amplamente estudadas por apresentarem diversas vantagens em relação a outros materiais (SATYANARAYANA et al., 2009). Ademais, as fibras vegetais possuem aspectos relevantes no que concerne a sua utilização devido às questões de ordem econômica, em especial ao seu baixo custo e fácil obtenção, sem contar que possuem baixa densidade, o que a confere leveza, além dos aspectos de ordem ambiental e de melhorias em propriedades de mistura com polímeros, como a resistência. Miraoui e Hassis (2012) apontam vantagens do emprego das fibras vegetais como matérias-primas quando comparado às tradicionais fibras de vidro e de outros materiais inorgânicos como o baixo custo, a baixa densidade, a menor abrasividade aos equipamentos usados na manufatura, a redução da agressão ao meio ambiente e a biodegradabilidade. Outra questão que também desperta a atenção do mercado quanto ao uso de fibras vegetais se deve à economia de energia e à possibilidade delas serem recicladas quando inseridas em compósitos ao fim da vida útil do componente (PERVAINZ & SAIN, 2003).

Nesta pesquisa a fibra vegetal usada como matéria-prima é a *Phormium tenax*, uma fibra classificada como folhagem pertencente à família das *Hemerocallidaceæ* originária da Nova Zelândia e ilhas adjacentes, onde vegeta espontaneamente sob diversas situações, desde as

várzeas pantanosas até as encostas de morros, variando de altitudes que vão desde o nível do mar a até 1.200 m (MEDINA et al., 1947). Embora proveniente da Nova Zelândia, ela pode se adaptar ao clima equatorial, oceânico, subtropical e tropical, aumentando assim a faixa de lugares em que ela pode ser plantada ou encontrada, apresentando variedades de folhas verdes, avermelhadas ou variegada (folhas avermelhadas ou esverdeadas com listras em outras cores) (PATRO, 2014). A *Phormium tenax* é chamada no idioma local Maori de *Harakeke* ou em Português de Fórmio ou Cânhamo-da-Nova-Zelândia e o seu emprego mais conhecido é como planta ornamental em jardins públicos e particulares e para a amarração de enxertos, de viveiros de mudas frutícolas e de feixes de hortaliças e temperos, embora existam povos de algumas ilhas que a utilizem para a fabricação de cordoaria, artesanato, cestaria e até como planta medicinal (MEDINA et al., 1947).

1.3 Processos de manufatura

Como o polipropileno é um polímero termoplástico, o seu processamento se dá em estado fundido, com suas peças e componentes sendo produzidas por processos como a moldagem por injeção, extrusão e a calandragem de filmes (ASKELAND & PHULÉ, 2003). Durante o processamento, quando o polipropileno adquire altos valores de viscosidade e exibe comportamento de redução de cisalhamento à medida que a taxa de cisalhamento cresce, a taxa de viscosidade decresce devido ao alinhamento das longas cadeias moleculares. A viscosidade também decai com o aumento da temperatura. Alguns fenômenos reológicos ocorrem no comportamento viscoso, quando polímeros derretidos exibem elasticidade, tais como leves tensões de relaxação responsáveis por congelamentos nas tensões em produtos extrudados e moldados por injeção, tensões normais diferenciadas responsáveis por alguns fluxos de instabilidade durante o processamento e também os inchaços nos extrudados, isto é, um significativo aumento na área de secção transversal quando o material moldado é extrudado fora de um molde (VLACHOPOULOS; STRUTT, 2003).

Um dos processos utilizados nesta pesquisa é a extrusão. Para isso é utilizada uma extrusora, na qual o polímero a ser processado entra por um reservatório em formato de funil e passa por uma abertura retangular que conta com um mecanismo que regula a alimentação da quantidade de polímero. Uma extrusora de polímeros pode ser formada por diversos estágios e neles existe um mecanismo na forma de rosca única ou dupla que empurra o polímero termoplástico aquecido e aditivos por uma abertura de matriz para produzir formas sólidas, filmes, chapas, tubos, sacos plásticos, entre outros. Uma extrusora industrial pode atingir de 18 a 21 metros de comprimento, 60 centímetros de diâmetro e ser composta por diferentes zonas de aquecimento ou de resfriamento (ASKELAND & PHULÉ, 2003). Outro processo também utilizado nesta pesquisa é a moldagem por compressão, que segundo Blass (1988) é considerado um dos mais antigos meios de processamento de polímeros e que pode tanto ser empregado para processar polímeros termorrígidos como polímeros termoplásticos. A moldagem por compressão envolve uma prensa hidráulica, um molde, um sistema de aquecimento, um sistema de refrigeração e a matéria-prima a ser moldada. Nela, com a prensa aberta, deposita-se o material de moldagem, em forma de pó, flocos, esferas, tabletes ou pré-formas sobre a cavidade do molde inferior. A prensa é acionada de modo que os moldes incidam suavemente um contra o outro, aumentando progressivamente a pressão exercida sobre o material a moldar (BLASS, 1988). Durante o tempo de cura, o sistema de aquecimento é acionado e após o tempo de cura, aciona-se o sistema de

refrigeração e quando atingida uma baixa temperatura inicia-se a etapa de desmoldagem, em que a prensa é acionada, abrindo o molde e o moldado é extraído.

1.4 Proposição e objetivo

Por meio do proposto por Kenneth (2010) este trabalho visa a explorar a matéria-prima do produto como inovação incremental aos produtos atualmente fabricados com polipropileno e analisar o desenvolvimento das etapas de manufatura que envolve a preparação do produto, que para este caso envolverá a manufatura desde a preparação das matérias-primas para a fabricação do compósito até as etapas de revestimento de fibras por extrusão e confecção de corpos de prova por meio de conformação por compressão. Para este artigo o produto para análise são os corpos de prova, cujos aspectos podem ser analisados pela sua coloração, textura, forma e dimensões, além de questões ambientais, como possíveis propriedades antioxidantes, estéticas e exalação de odores agradáveis. Diante das análises serão propostos possíveis empregos ao material desenvolvido.

2. Metodologia

As folhas de *Phormium tenax* usadas nesta pesquisa foram colhidas na primeira semana de outubro de 2018, já na estação da primavera, entre os dias 05 e 06 de outubro, na cidade de Quatro Barras, Região Metropolitana de Curitiba, que fica a uma altitude acima de 900 metros e a 30 km de Curitiba, cujo clima é subtropical, caracterizado por um verão com temperaturas oscilando entre 20 e 30 °C e de curta duração, com invernos rigorosos oscilando entre 0 e 10 °C e com chuvas moderadas bem distribuídas durante todo o ano. A colheita das folhas foi feita de modo manual e a secagem foi realizada naturalmente pela exposição ao sol durante aproximadamente 60 dias.

O polipropileno maleatado (PPMA) foi produzido por meio de extrusão reativa de polipropileno (PP), anidrido maleico e peróxido de dicumila (SANTOS et al., 2015). As fibras de *Phormium tenax* foram cortadas em tamanhos de aproximadamente 5 mm por processo manual, como mostra a Figura 1. O polipropileno utilizado é o H-503 fornecido pela Braskem. Os compósitos foram produzidos com teor de PPMA quantificado em 10% p/p para todos os corpos de prova, sendo variada a proporção de fibras de *Phormium tenax* em 20% p/p e 70% p/p de PP, 30% p/p de *Phormium tenax* e 60% p/p de PP e 35% p/p de *Phormium tenax* e 55% p/p de PP, sendo todas as proporções de *Phormium tenax* e PP usadas com e sem chapa de alumínio, que representa em torno de 6% p/p de cada corpo de prova.

Antes do processamento do compósito as fibras de *Phormium tenax* curtas, o PPMA e o PP foram secos em estufa aquecida a 60 °C durante 48 horas. Em seguida cada material foi pesado em balança digital, marca Toledo, dentro das proporções acima mencionadas, equivalente à produção de 1 kg de material compósito e posteriormente misturadas manualmente em sacos plásticos. Para o revestimento das fibras o processo aplicado nesta pesquisa é a extrusão para a produção contínua de compósitos sob formas simples e regulares de modo a serem granulados e o para funcionar como um misturador eficiente entre o polipropileno, o compatibilizante polipropileno maleatado e as fibras curtas de *Phormium tenax*.



Esc.: 1: 1 mm

Figura 1 – Fibras curtas de *Phormium tenax*

A extrusão foi feita em duas etapas, na primeira para revestimento das fibras com o PPMA e 40% do PP necessário para produzir cada corpo de prova e a segunda etapa é o reprocessamento para completar a proporção de PP restante. Para a fabricação dos corpos de prova foi usada uma extrusora monorosca com razão de largura e diâmetro (razão L/D) de 30, modelo EMT-25, fabricada pela empresa Teck Trill. O equipamento possui três estágios de aquecimento e um cabeçote, sendo que o material é processado a 172 °C e no cabeçote a 174 °C, usando uma corrente máxima de 6,4 A e rotação do fuso entre 15 a 20 RPM. O material aquecido que saía da extrusora era resfriado em água a temperatura ambiente e triturado em triturador cuja rotação era de 200 RPM. A Figura 2 mostra o compósito polimérico granulado de *Phormium tenax*.

Após a passagem pela extrusora, o compósito foi conformado em corpo de prova com o uso da conformação por compressão por meio da prensa da marca Solab, modelo SL099. A conformação foi feita em três etapas contínuas e consecutivas, na qual a primeira se deu pela aplicação de 1 tonelada-força de carga durante 15 minutos a 180 °C, que serviu para acomodação do compósito granulado nas cavidades do molde, a segunda etapa pela aplicação de 4 tonelada-força de carga durante 15 minutos a 180 °C, na qual a cada 7 minutos e meio o molde era invertido para garantir aquecimento homogêneo em toda a sua superfície e por fim, na última etapa era feito o resfriamento a 60 °C, por meio da circulação de água a 20 °C e posterior desmolde. Os corpos de prova removidos passaram por processo de acabamento superficial com desbaste de rebarbas e lixamento manual.



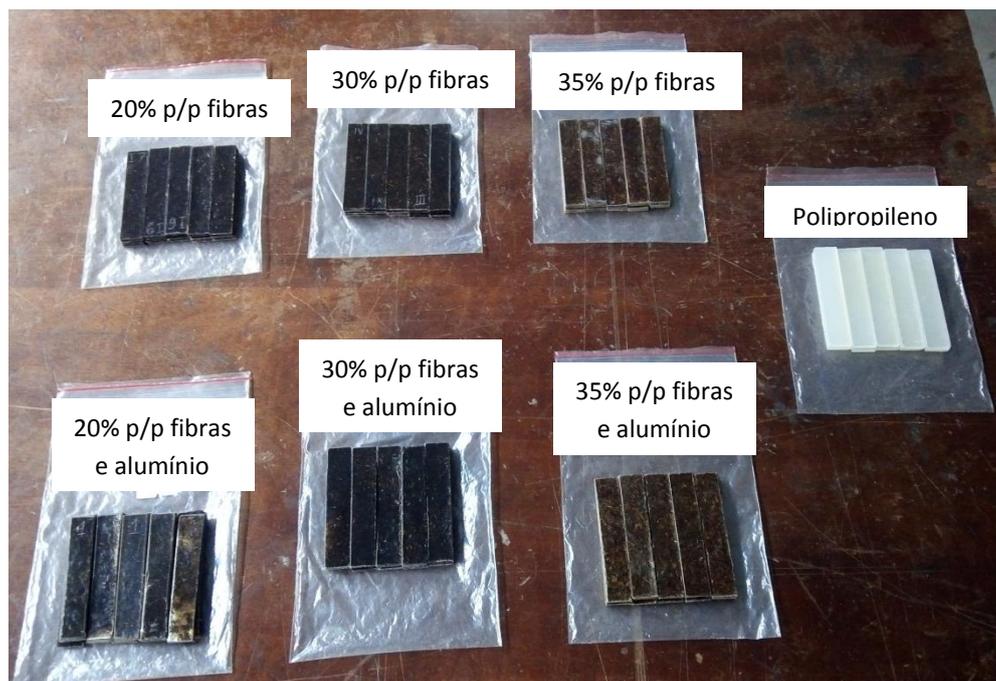
Figura 2 – Compósito de polipropileno reforçado por Phormium tenax

3. Resultados e discussão

3.1 Coloração

Uma das características que pode ser analisada visualmente na Figura 3, que mostra a aparência de compósitos feitos em diferentes proporções de PP, PPMA, fibras *Phormium tenax* e ainda com e sem chapa de alumínio e também de PP puro é a coloração dos corpos de prova. O material feito apenas com PP é branco, no entanto a sua cor não prevalece para nenhum dos demais materiais feitos a partir dele, mesmo sendo o PP o componente presente em maior quantidade para todos os corpos de prova produzidos. Basicamente a coloração dos compósitos depende da concentração das fibras ao longo do material e também da liberação, exposição e espalhamento dos extrativos totais das fibras. Pela Figura 3 é possível notar que o escurecimento dos corpos de prova aumenta conforme a proporção de fibras nos compósitos diminui. A *Phormium tenax* trata-se de uma fibra vegetal com um teor elevado de extrativos totais, com aproximadamente 23,40% de sua composição química, fator relacionado provavelmente por ela ser uma planta arbustiva folhosa susceptível ao ataque por insetos, fungos e outros patógenos (Wehi & Clarkson, 2007). A alta presença desses extrativos é responsável pelo escurecimento da *Phormium tenax*, que quando processado a elevada temperatura são liberados pela fibra e passam a ficar expostos e espalhados ao longo de todo o material, ocupando com maior facilidade os espaços que não são ocupados pela própria fibra e mesmo o interior delas, uma vez que na sua morfologia, de acordo com De Rosa et al. (2010) elas apresentam o lúmen, que é uma cavidade tubular por onde passa a luz e líquidos no interior da planta. Embora se esperasse

que com o aumento do teor de fibras no compósito fosse aumentado o escurecimento do material, isso não se concretizou pelo fato do aumento da concentração de fibras espalhadas ao longo dos compósitos reduzirem os espaços livres que poderiam ser ocupados pelos extrativos liberados durante as etapas de processamento, o que pode ser notado visualmente pela Figura 3 quando na superfície do compósito com 35% de fibras se vê um aumento da presença das fibras curtas, contribuindo para se aproximar da coloração característica da fibra seca in natura, mostrada na Figura 1, que aparenta uma cor marrom clara, e fazendo com que os extrativos liberados no processamento passem a ficar mais aprisionados no interior da fibra.



Esc.: 1: 5 mm

FONTE: O autor, 2019.

3.2 Estética

Outra preocupação no desenvolvimento do material compósito foi com suas propriedades mecânicas, tais como rigidez e resistência, por isso foram testadas a manufatura de algumas amostras na presença de alumínio. No entanto, é necessário ter cuidado durante o processo de manufatura dessas amostras, pois como visualizado na Figura 3, falhas de manufatura podem deixar as chapas de alumínio visíveis na superfície, o que impede uma uniformidade na coloração do material prejudicando a estética do material. A estética é um fator importante dependendo da aplicação do material, pois é como revelava Ulrich e Eppinger (2000, p. 215): “[...] produtos com marketing e tecnologias estáveis são mais dependentes do *design* industrial para criar apelos estéticos e, por consequência, diferenciação visual”. A composição da estética nesse caso depende dos aspectos físicos visíveis, tais como a forma, a textura e coloração. Dentro da coloração podem ser explorados outros aspectos com a sua homogeneidade ao longo do produto, os contrastes e o brilho. Como pode ser observado na Figura 3, existem pontos de contraste na coloração das amostras, fazendo com que apresentem algumas regiões mais escuras, em que prevalece a presença dos extrativos

liberados pelas fibras e outras mais claras, locais onde se nota a concentração da fibra, e esse contraste é mais visível nos compósitos com 35% de fibras.

3.3 Brilho

Com relação ao brilho, como explicam Morato e Machado (2017), ele representa a escala do claro ao escuro de uma cor em relação a uma escala de cinzas que varia do branco ao preto. Cores mais claras tendem a refletir mais a luz devido ao seu alto valor tonal, enquanto que cores mais escuras tendem a absorver mais a luz. Na Figura 3 pode-se ver que o brilho aumenta conforme aumenta a composição das fibras pela coloração se tornar mais clara, a coloração marrom típica dos compósitos passa a clarear conforme se aumenta a concentração da fibra no compósito. Morato e Machado ainda salientam que a cor tende a exercer diferentes efeitos fisiológicos sobre o organismo humano, capaz de levá-lo a produzir diversos juízos e valores e que a explicação para isso está somente na relação psicológica do indivíduo, mas que acaba sendo explorado pelo mercado, inclusive quando se pensa em *design* de produto, pois ela interfere no processo de comunicação, consistindo assim em um componente de grande influência no dia a dia de uma pessoa, interferindo em suas emoções, sentidos e intelecto.

3.4 Textura

Segundo Yanagisawa e Takatsuji (2015) a textura é um fator de design que consiste em atributos físicos criados por uma variedade de materiais e acabamentos superficiais, que abrangem atributos como rugosidade, brilho, cor e dureza. Com relação à textura, todas as amostras demonstraram majoritariamente um aspecto liso e de rugosidade não perceptível a olho nu, prevalecendo assim à característica do PP presente em maior quantidade. A textura depende também do adequado processo de manufatura, de modo a evitar formação de bolhas e deformações que possam danificar a forma e a superfície as amostras, assim como linhas indesejáveis de separação. Com relação à manufatura, Blass (1988) orienta que a linha de separação entre as duas placas do molde deve ser alojada no plano mais adequado para a peça pretendida, levando em consideração o uso e a estética da peça. A textura também está diretamente relacionada às percepções sensoriais, não somente a percepção visual como também a percepção tátil. Para Yanagisawa e Takatsuji (2015) o consumidor possui uma predileção por produtos de boa qualidade tátil baseados na sua aparência antes mesmo que eles o toquem, para eles, as pessoas são capazes de desenvolver percepções mais congruentes sobre os produtos quando há correlação mais agradável entre a percepção visual com a percepção tátil, o que acaba contribuindo para que a preocupação com a textura seja levada em consideração durante o desenvolvimento do produto. No entanto, os produtos preparados com os compósitos podem ter texturas diversas se o molde for texturizado e não liso, o que pode agregar valor às peças.

3.5 Exalação de odor

Uma das características bem observadas durante o processamento da fibra *Phormium tenax* foi o seu odor característico, que também é resultado do processo de liberação dos extrativos totais presentes em alta quantidade na sua composição química. Medina et al. (1947) citam que povos de algumas ilhas costumam usar a *Phormium tenax* como planta medicinal, cujo aroma e cheiro lhes são agradáveis, citando um odor que lembra ervas ou mesmo o do café. Esta característica do material é algo que pode ser explorado como matéria-prima para desenvolvimento de produtos, pois como lembram Dias et al. (2015) os

materiais desempenham um papel essencial na concepção de um produto, não somente por suas funções, durabilidade, custos e aparência final, mas também pelas percepções sensoriais, como as táteis, visuais, auditivas e olfativas ou gustativas.

3.6 Processamento do material

As características dos produtos, por mais simples que sejam como os corpos de prova ilustrados na Figura 3, dependem do adequado processamento. De acordo com Jedyn (2017) materiais compósitos quanto mais reprocessados, maior é a tendência da coloração escurecer, pois um maior número de ciclos de reprocessamento implica em maior tempo de exposição das fibras vegetais às temperaturas envolvidas no processo de extrusão e, para este trabalho, também no de moldagem por compressão. Segundo Soccalingame et al. (2015) o fato não se deve somente à degradação da hemicelulose, mas também à migração da lignina, que devido às altas temperaturas envolvidas no processo, pode se fundir, coalescer e migrar das partículas da fibra para a matriz. Ainda de acordo com Santos (2011), por serem apolares, as fibras tendem a se aglomerar em compósitos virgens, tornando a superfície do material bem heterogênea, o que também explica o contraste maior na tonalidade de cores nas amostras com maior teor de fibras, e estas também tendem a se dispersar pela matriz polimérica, o que também explica o porquê de encontrar menor concentração delas em amostras de menor teor. Isso permite também fluxo maior dos extrativos dispersos por toda a matriz, contribuindo para espalhar ao longo do material as características típicas dos extrativos, como a coloração escura e o odor característico, que é mais acentuado nas amostras com 20% de fibras. Um problema percebido nesta pesquisa foi a presença de poros em algumas amostras, isso se deve à presença de ar aprisionado durante o processamento do material e também pela umidade do material, fenômeno esse que foi observado por Jedyn (2017) e que explica a necessidade de submeter o material a secagem em estufa antes de seu processamento.

3.7 Propriedades antioxidantes

Pelo fato do alto teor de extrativos totais presentes na *Phormium tenax* uma das propriedades possíveis de se encontrar nas amostras de compósitos é a de serem materiais com boas propriedades antioxidantes, principalmente pelo fato de ser uma fibra hidrofílica, pois a porção hidrofílica é composta basicamente de compostos fenólicos, flavonoides e taninos, responsáveis pela defesa da planta a ataques de insetos e que possuem grande atividade antioxidante *in vitro* (ŞEN et al., 2018). Em breve experimento para avaliar a hidrofobicidade da fibra, na qual fora colocado 1 g da amostra em um béquer de 100 ml contendo 20 ml de água e 10 ml de hexano, misturado por três minutos e deixado em repouso por cinco minutos, percebeu-se que teor de fibras que aderiram a água ficou em torno de 89% com o experimento feito em triplicata, fator esse que contribui para se esperar boas propriedades antioxidantes do material já que os extrativos são solúveis em água.

3.8 Densidade

Outra característica interessante das amostras do compósito é a sua baixa densidade, como pode ser observado na Tabela 1. As densidades baixas em todos os casos, tanto para as densidades teóricas, usando a massa pelo volume calculado pelas dimensões dos corpos de prova, quanto para as densidades experimentais, aquelas que relacionam a massa das amostras com o volume de água destilada deslocada pelas amostras, não supera 1 g/cm^3 , sendo que a densidade aumenta proporcionalmente com o aumento do teor de fibras e mais

ainda com a aplicação de alumínio (cerca de 6%), mas que, no entanto, ainda mantêm uma densidade próxima ao do polipropileno puro, o que pode ser interessante para o emprego em produtos que se almeja baixo peso e leveza.

Amostras	Densidade teórica (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)	Densidade experimental (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
20% de fibras	0,9127	0,0124	0,9069	0,0199
20% de fibras com alumínio	0,9591	0,0049	0,9537	0,0070
30% de fibras	0,9400	0,0286	0,9452	0,0173
30% de fibras com alumínio	0,9703	0,0286	0,9676	0,0125
35% de fibras	0,9669	0,0011	0,9761	0,0044
35% de fibras com alumínio	0,9741	0,0123	1,0001	0,0057
Polipropileno puro	0,8645	0,0075	0,8922	0,0160

Fonte: O autor, 2019

Tabela 1 – Avaliação das densidades teóricas e experimentais das amostras com os respectivos desvios padrões

3.9 Aplicações

Diante de todas as características elencadas e observadas nas amostras produzidas avaliam-se os compósitos como alternativas interessantes para aplicações que demandam reforço físico com possíveis propriedades antioxidantes e em produtos que demandam uma aparência agradável e estética, como por exemplo, em mesas e cadeiras plásticas feitas de PP, como as utilizadas por cafeterias, que poderia ser um atrativo pelo fato do odor característico da *Phormium tenax*. Além disso, uma possibilidade seria para formulação de embalagens que demandam maior rigidez, abrindo um possível espaço para vasilhames de bebidas, algo que poderia ser futuramente explorado.

4. Conclusão

Por meio desta pesquisa foi possível explorar um pouco sobre uma inovação incremental no desenvolvimento de produtos baseado na tipologia de bens industriais de matéria-prima, cujo interesse é muito forte na indústria com relação à redução de custos e assim poder analisar os seus aspectos, suas características típicas e os cuidados necessários durante a etapa de manufatura. Assim, foi visto que a *Phormium tenax* possui propriedades interessantes que podem ser exploradas com maiores detalhes e que por meio de um estudo mais minucioso do mercado ela pode vir a ser aprimorada ou testada para aplicações diversas que requeiram suas características, além daquelas possíveis citadas por este artigo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado para o autor principal e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, PGMEC, pela disponibilidade dos laboratórios.

Referências

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 4. ed. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2003.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. 2 ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 1988.

CORRÊA, K. **Classificação do Produto para o Composto de Marketing**. Disponível em: <<https://www.administracaoegestao.com.br/marketing-internacional/modulo-iv-decidindo-como-entrar-no-mercado/classificacao-do-produto-para-o-composto-de-marketing/>> Acesso em: 17 out. 2019.

CHURCHILL JR., G. A.; PETER, J. P. **Marketing: Criando Valor para os Clientes**. 2. ed. São Paulo: Ed. Saraiva, 2000.

DE ROSA, I. M. et al. Mechanical and thermal characterization of epoxy composites reinforced with random and quasi-unidirectional untreated *Phormium tenax* leaf fibers. **Materials and Design**, Londres, v.5, n. 31, p. 2.397-2.405, 2010.

DIAS, A. R.; LEILA, A. G. Percepção dos usuários sobre os materiais. In: IX Encuentro Latinoamericano de Diseño "Diseño en Palermo" V Congreso Latinoamericano de Enseñanza del Diseño, 18., Buenos Aires. **Actas de Diseño**, Palermo: Universidad de Palermo – Facultad de Diseño y Comunicación, 2015, p. 181-186.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **Manual de Oslo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ed. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.

MEDINA, J. C. et al. A. Estudo Agrícola-Tecnológico de Diversas Variedades de *Phormium tenax Forster*. **Bragantia Boletim Técnico da Divisão de Experimentação e Pesquisas Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 7, n. 11-12, p. 231-241, 1947.

JEDYN, F. G. **Preparação e caracterização de compósitos reprocessados de matriz de polipropileno reforçados por serragem**. Curitiba, 139 p., 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

MIRAQUI, I.; HASSIS, H. Mechanical model for vegetal fibers-reinforced composite materials. **Physics Procedia**, Tunes, v.25, n. 1, p. 130-136, 2012.

MORATO R. G.; MACHADO R. P. P. **Cores**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2612831/mod_resource/content/2/7%20Cores2017.pdf> Acesso em: 18 out. 2019.

PATRO, R. **Fórmio – Phormium tenax**. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/formio-phormium-tenax.html>> Acesso em: 17 out. 2019.

PERVAINZ, M.; SAIN, M. M. Carbon storage potential in natural fiber composites. **Resources, Conservation & Recycling**, Toronto, v. 39, n. 1, p. 325-340, 2003.

SANTOS, L. P. et al. Effect of processing parameters on the properties of polypropylene–sawdust composites. **Journal of Composite Materials**, San Diego, v. 30, n.49, p. 3.727-3.740, 2015.

SANTOS, L. P. **Otimização da preparação de polipropileno maleatado via extrusão reativa para reforço mecânico em compósitos**. Curitiba, 93 p., 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. **Progress in Polymer Science**, Nova York, v. 9, n. 34, p. 982–1.021, 2009.

ŞEN, A. et al. Chemical composition and cellular structure of ponytail palm (*Beaucarnea recurvata*) cork. **Pereira Industrial Crops & Products**, v. 124, n.1, p. 845-855, 2018.

TIDD, J. et al. **Gestão da inovação**. Tradução de Elizamari Rodrigues Becker et al. 3.ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2008.

ULRICH, K.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 2.ed. New York: Ed. McGraw-Hill, 2000.

VLACHOPOULOS, J.; STRUTT, D. Overview Polymer Processing. **Materials Science and Technology**, Londres, v. 19, n.1, p. 1.161-1.169, 2003.

WEHI, P. M.; CLARKSON, B. D. Biological flora of New Zealand 10. Phormium tenax , harakeke, New Zealand flax. **New Zealand Journal of Botany**, Nova Zelândia, v. 4, n. 45, p.521-544, 2007.

YANAGISAWA, H.; TAKATSUJI, K. Effects of Visual Expectation on Perceived Tactile Perception: An Evaluation Method of Surface Texture with Expectation Effect. **International Journal of Design**, Taipei, v. 9, n.1, p. 39-51, 2015.