

Uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos de matriz termoplástica: uma revisão bibliográfica.

Use of açai lump fibers as dispersed phase in thermoplastic matrix composites: a bibliographic review.

Cibele Oliveira da Silva ¹, Walber Alexandre do Nascimento ².

¹ Graduanda da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM - Universidade Federal do Pará / UFPA, 68464-000, Tucuruí – PA. e-mail: cibele.oliveiraaa@gmail.com

² Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Docente da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM – Universidade Federal do Pará / UFPA, 68464-000, Tucuruí – PA. e-mail: wan@ufpa.br

RESUMO

A utilização das fibras naturais como reforço para termoplásticos, com base na possibilidade de reciclagem e alterações favoráveis nas propriedades mecânicas dos produtos, tem gerado interesse, incentivado o estudo e sua produção, devido ao baixo custo e reaproveitamento de recursos naturais nacionais disponíveis. Além disso, soma-se a contribuição para o desenvolvimento sustentável gerando compósitos termoplásticos com a mistura de resíduos fibrosos naturais, dando uma nova utilidade para a fibra que até o momento tem sido destinada a aterros sanitários. O presente trabalho apresenta uma revisão da literatura referente ao uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa na formação de compósitos com matriz termoplástica. Vale ressaltar, que com os estudos já realizados, muito se sabe sobre a polpa do açaí (*Euterpe Oleracea Mart.*), beneficiamento e aproveitamento no gênero alimentício, porém as discussões sobre a fibra e os meios de aproveitamento ainda são escassas. O estudo realizado acerca do uso desses materiais traz a variedade de possibilidades de testes e processos aos quais são submetidos para melhora das propriedades mecânicas e também para a geração de subprodutos. Dentro do presente trabalho, é avaliado o uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos com matriz termoplástica, apresentando resultados de trabalhos produzidos na mesma área de atuação, nos quais esses estudos apontam uma quantidade pequena, porém relevante, de pesquisas na área de reaproveitamento das fibras para mistura com matriz termoplástica, sendo essa utilização contribuinte para redução de danos ambientais, uma problemática de grande importância dentro do meio social e econômico. A partir dessas pesquisas, alguns resultados experimentais sugerem que as fibras vegetais são uma possível alternativa para serem inseridas como fase dispersa em polímeros termoplásticos, resultando no reaproveitamento de resíduos passíveis de descarte até o momento.

Palavras-chave: Materiais, Resíduos, Sustentabilidade, Reaproveitamento.

ABSTRACT

The use of natural fibers as reinforcement for thermoplastics, based on the possibility of recycling and favorable changes in mechanical properties of products, has generated interest, encouraged the study and its production, due to the low cost and reuse of available national natural resources. In addition, the contribution to sustainable development by generating thermoplastic composites with the mixture of natural fibrous waste is added, giving a new utility for the fiber that has so far been destined to landfills. The present paper presents a review of the literature on the use of the fibers of the açai pit as a dispersed phase in the formation of composites with thermoplastic matrix. It is worth mentioning that with the studies already carried out, much it is known about the açai pulp (*Euterpe Oleracea Mat.*), processing and use in the food, but discussions about fiber and are still scarce. The study on the use of these materials brings the variety of testing possibilities and processes to which they are improved mechanical properties and also for the generation of by-products. Within the present study, the use of the fibers of the açai as a dispersed phase in composites with thermoplastic matrix, presenting results of works produced in the same area of activity, in which these studies point out a small but relevant amount of

research in the area of reuse of fibers for mixing with thermoplastic matrix, and this use reduction of environmental damage, a problem of great importance within the social and economic environment. Based on these researches, some experimental results suggest that plant fibers are a possible alternative to be inserted as a dispersed phase thermoplastic polymers, resulting in the reuse of waste that can be disposed of so far.

Keywords: Materials, Waste, Sustainability, Reuse.

1. INTRODUÇÃO

A busca por novos materiais evidenciando a sustentabilidade, tem sido cada vez mais frequente na área da pesquisa tecnológica e da engenharia. A importância das fibras naturais como enchimento ou reforços para produtos poliméricos vem aumentando significativamente nas últimas décadas, devido a fatores como o alto preço das fibras sintéticas e à busca crescente por materiais de baixo custo e que sejam provenientes de fontes renováveis. Ademais, devem possuir boas propriedades mecânicas e térmicas, e que não causem danos ambientais. [1]

As fibras naturais dividem-se em fibras de origem vegetal (fibras de madeira e bambu, sementes, fibras de frutas e fibras de folha), origem mineral (amianto, wollastonita) e de origem animal (fibras de pelo, seda). As fibras naturais são obtidas dos caules (juta, cânhamo, ráfia, kenaf, bagaço de cana, bambu), das folhas (sisal, caroá, curaua, piaçava, henequem), dos frutos (algodão, coco, bucha, açaí) e dos troncos (madeira). Apesar dessas diferenças, as fibras naturais, que também são chamadas de fibras lignocelulósicas, possuem na sua constituição básica os seguintes componentes em comum: celulose, lignina e polioses, também conhecidas como hemiceluloses. [1]

O açaí (*Euterpe Oleracea*, Mart.) é uma planta originária da Região Amazônica. O fruto é altamente consumido [2] onde a polpa é retirada do caroço. O fruto desta palmeira mostra o potencial para o consumo como um novo produto em todo o mundo, inserido em nichos de mercado de produtos funcionais e nutracêuticos [3]. Devido ao amplo consumo da fruta, muitas pesquisas foram realizadas sobre a polpa, mas, em comparativo, ainda é encontrado um baixo número de pesquisas em relação ao resíduo fibroso [4], que se concentra ao redor do caroço após a extração da polpa.

Em Belém, capital do Estado do Pará, o maior produtor e consumidor de açaí do Brasil, o comércio de polpa de açaí produz em média 300 toneladas de resíduos orgânicos por dia. Na região amazônica em geral, a maior parte desse resíduo consiste em caroços, que são lançados nas ruas e em aterros sem tratamento, e apenas uma pequena parte é usada como fertilizante orgânico ou no artesanato local. [5]

Pensando no reaproveitamento destas fibras constituintes nos caroços que são classificados como resíduos, verifica-se na literatura referenciada que as fibras lignocelulósicas apresentam vantagens, como baixa massa específica, maciez, abrasividade reduzida, não toxicidade, biodegradabilidade, baixo custo e consumo de energia na produção, baixa condutividade térmica e bom isolamento térmico e acústico.[6,7]. Essas fibras possuem características mecânicas e potencialidades de aplicação, dentre elas, em compósitos de matriz termoplástica [8].

As fibras de açaí, têm grande potencial para serem utilizadas em compósitos de matriz termoplástica devido à sua boa estabilidade térmica e disponibilidade [9]. Eles são encontrados na camada externa do caroço do fruto. O caroço, que geralmente é descartado como resíduo após a separação do pericarpo comestível, representa em média 80% (peso) do fruto [5].

Os compósitos são produzidos por materiais que se apresentam como fases distintas, uma é a fase matriz e a outra a fase dispersa. De forma ampla, a fase matriz proporciona a aderência e flexibilidade necessárias para a fase dispersa, com o intuito de induzir uma melhora das propriedades de um determinado material utilizando o princípio da ação combinada. São materiais multifásicos cujas propriedades desejadas apresentem um efeito sinérgico. [10]

No caso dos compósitos de matriz polimérica o objetivo, em geral, é transferir os esforços mecânicos da fase matriz à fase dispersa, que funciona como reforço, induzindo a uma melhora das propriedades mecânicas. Geralmente, o reforço aumenta a resistência e rigidez do compósito conferindo apoio estrutural à matriz. [10] O uso de fibras naturais, como reforço, tem recebido crescente atenção, tanto no meio acadêmico quanto na indústria em função da sua versátil possibilidade de originar novos produtos a partir da melhoria sinérgica das propriedades individuais de cada fase. Devido a esta nova tendência mundial, muitos estudos têm sido realizados para a utilização destas fibras em indústrias como a de desenvolvimento de novos materiais, construção civil, automobilística, aeronáutica etc. [6]

Assim, evidencia-se a relevância do estudo acerca da necessidade do reaproveitamento que atinge tanto as fibras do caroço do açaí, as quais são desprezadas após a retirada da polpa, quanto aos polímeros

termoplásticos, colaborando para a reciclagem e beneficiando o meio ambiente, gerando assim o desenvolvimento de novos materiais ao mercado de forma sustentável. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo de revisão bibliográfica do uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em materiais compósitos de matriz termoplástica.

2. A AGROINDÚSTRIA DO AÇAÍ

A utilização do açaí tem como foco principal a polpa para extração do suco, sendo o principal elemento da economia de aproveitamento dessa fruta. No entanto, a polpa compõe apenas 20% de todo o fruto, sendo os outros 80% constituídos de caroços e fibras, gerando os resíduos que, por consequência, acarreta dano ao meio ambiente [11]. Dessa maneira, pesquisas sobre atividades de aproveitamento dos resíduos produzidos pela indústria do açaí trazem oportunidades para fomentação de subprodutos biotecnologicamente sustentáveis. [12]

Seus frutos são drupas globosas ou ligeiramente rápidas, que apresentam resíduos florais aderidos de cor violeta ou verde, quando maduros. Quanto ao seu uso, o açaí é um importante produto econômico, amplamente consumido pela população amazônica, desde os tempos pré-colombianos, obtendo-se a bebida denominada “açaí” [13].

Além disso, tem sido utilizado na indústria de processamento de palmito desde a década de 1970, substituindo o tradicional palmito. O uso e consumo da bebida de açaí expandiu-se significativamente para outros estados do Brasil, tornando-se um produto altamente comercial e de consumo popular [13,14]. Esta expansão comercial, que se deu também a nível internacional [15], culminou na geração de uma quantidade significativa de resíduos agroindustriais, como o caroço de frutas e suas fibras, que são descartados diretamente na natureza nas regiões mais remotas ou no caso de plantas industriais destinadas a aterros, o que aumenta os custos nos processos de produção. A Figura 1 traz a ilustração de cachos de açaí em ponto de colheita para o beneficiamento do fruto, o processo de extração da polpa do açaí.



Figura 1: Cacho com frutos em maturação plena (“ponto de colheita”). (Fonte: Vieira, H.A., *et al.* [16])

O IBGE [17], através das pesquisas de extração vegetal, traz os dados de que no Brasil em 2017 foram produzidas cerca de 219.710 mil toneladas de açaí, e após a remoção da polpa para produção do suco, estima-se que 176 mil toneladas de resíduos foram descartadas, causando grande passivo ambiental. A alta geração de resíduos do processamento do açaí na Amazônia brasileira está diretamente relacionada à representatividade econômica do açaí para esta região devido ao seu destaque em produtos alimentícios e de beleza e saúde que são exportados para todo o mundo [12]. Já em 2020 [18], foram produzidas aproximadamente 220.489 mil toneladas de açaí, o que representa uma crescente em sua produção, estimando-se que 177 mil toneladas de resíduos foram destinados para descarte.

Um dos principais objetivos relacionados a pesquisa do aproveitamento do resíduo gerado pela agroindústria do açaí se dá pela redução de sua disposição diretamente alocada aos aterros sanitários, que são

coletados e transportados pelo serviço público de coleta em domicílio, aumentando a vida útil dos aterros e trazendo maior relevância para a destinação adequada desses caroços, a fim da geração de subprodutos. Algumas possíveis aplicações para a reutilização, em maioria sobre o caroço do açaí, já foram desenvolvidas com foco no beneficiamento e na composição desses resíduos presentes na construção de casas populares de baixo custo. Outras pesquisas com mais métodos de reaproveitamento dos resíduos advindos da agroindústria do açaí têm sido estudadas, como por exemplo a produção de fertilizantes [19], a geração da bioenergia [20] e a extração antioxidante. [12].

3. O USO DAS FIBRAS DO CAROÇO DO AÇAÍ

Como dito anteriormente, o açaizeiro, é uma das palmeiras de maior importância econômica, social e cultural do norte do Brasil. Após o processamento da fruta, são gerados resíduos, como caroços e fibras. No entanto, a caracterização físico-química e a forma de reutilização ainda não se tem finalidade determinada em relação ao tipo de compósito termoplástico que atuará como fase matriz em virtude do baixo volume de pesquisas disponíveis no mercado, porém algumas alternativas de utilização já foram objeto de pesquisa para avançar com os possíveis resultados [21].

Alguns estudos foram realizados sobre o reaproveitamento das fibras naturais do açaí, como para artesanato, fabricação de papel, produção de fertilizantes, extração de oxidantes, substrato enzimático e geração de energia [12, 22]. No entanto, estudos com foco em fibras de açaí como fase dispersa em compósitos poliméricos de matriz termoplástica são pouco encontrados, o que de certa forma pode ocasionar uma dificuldade em se encontrar uma aplicação tecnológica mais efetiva para esses produtos. De qualquer forma, existe efetivamente uma grande oportunidade em realizar pesquisas científico-tecnológicas mais aprofundadas sobre a viabilidade do uso desses compósitos em aplicações diversas. A Figura 2 traz a ilustração do açaí desde a captação do açaizeiro, o resultado após a extração da polpa e o caroço com as fibras já separadas.



Figura 2: (a) Fruto do açaí (diâmetro médio de 1 a 2cm e peso médio de 0,8 a 2,3g); (b) caroços de açaí após retirada da polpa; e (c) parte interna da semente e das fibras obtidas após separação. (Fonte: TAVARES, FFC *et al*[22].)

As fibras de açaí têm comportamento térmico compatível com aplicações na indústria de materiais de construção e automobilística, além de outras fibras naturais, como sisal, coco e abacaxi, que já estão sendo

utilizadas para outros fins, a exemplo da indústria da construção civil como composição de argamassas e matrizes cimentícias. Assim, são geradas perspectivas para o uso de fibras de açaí no desenvolvimento de novos materiais [23].

Como a geração do resíduo (entende-se como resíduo, os caroços cobertos com fibras) é proporcional ao crescimento da produção do açaí, e, levando-se em consideração que de acordo com Yuyama citado por Tavares *et al* [24], 68% de todo o açaí produzido é descartado na forma de fibras e caroços, estudar novas aplicações a este material é de fundamental importância, tanto pelos atrativos ecológicos quanto na redução de um resíduo que hoje não apresenta muitas aplicações técnicas sustentáveis, pois das maiores aplicações, destacam-se o uso na alimentação de fornos cerâmicos e formulação de adubos [24].

3.1 Análise das propriedades físico-químicas dos resíduos do açaí através do ensaio de termogravimetria

Dentro deste tópico, será abordado um ensaio de termogravimetria (TG e DTG), ao qual foram submetidos os resíduos provenientes pós extração da polpa do açaí, se tratando da fibra e do caroço. Conforme os termogramas dispostos na Figura 3, os autores Martins, Mattoso e Pessoa, mostraram que a estabilidade térmica das fibras de açaí sofre variação com o tipo de atmosfera. [25]

Na presença do gás nitrogênio (N_2) a análise térmica aponta a eliminação de umidade em 50 °C; um pico de despolimerização da hemicelulose em 280 °C; e outro para decomposição da celulose e lignina a 345 °C e por fim, a degradação dos resíduos a 610 °C. Já em atmosfera oxidativa, após a perda de umidade, é notado decomposição da hemicelulose, celulose e lignina a 280 °C e 320 °C; a degradação final dos materiais a 460 °C e degradação dos resíduos em 590 °C. De acordo com os autores, tais comportamentos indicam características semelhante às de outras fibras aplicadas em matriz poliméricas, sugerindo que as fibras de açaí podem ser processadas por extrusão [25].

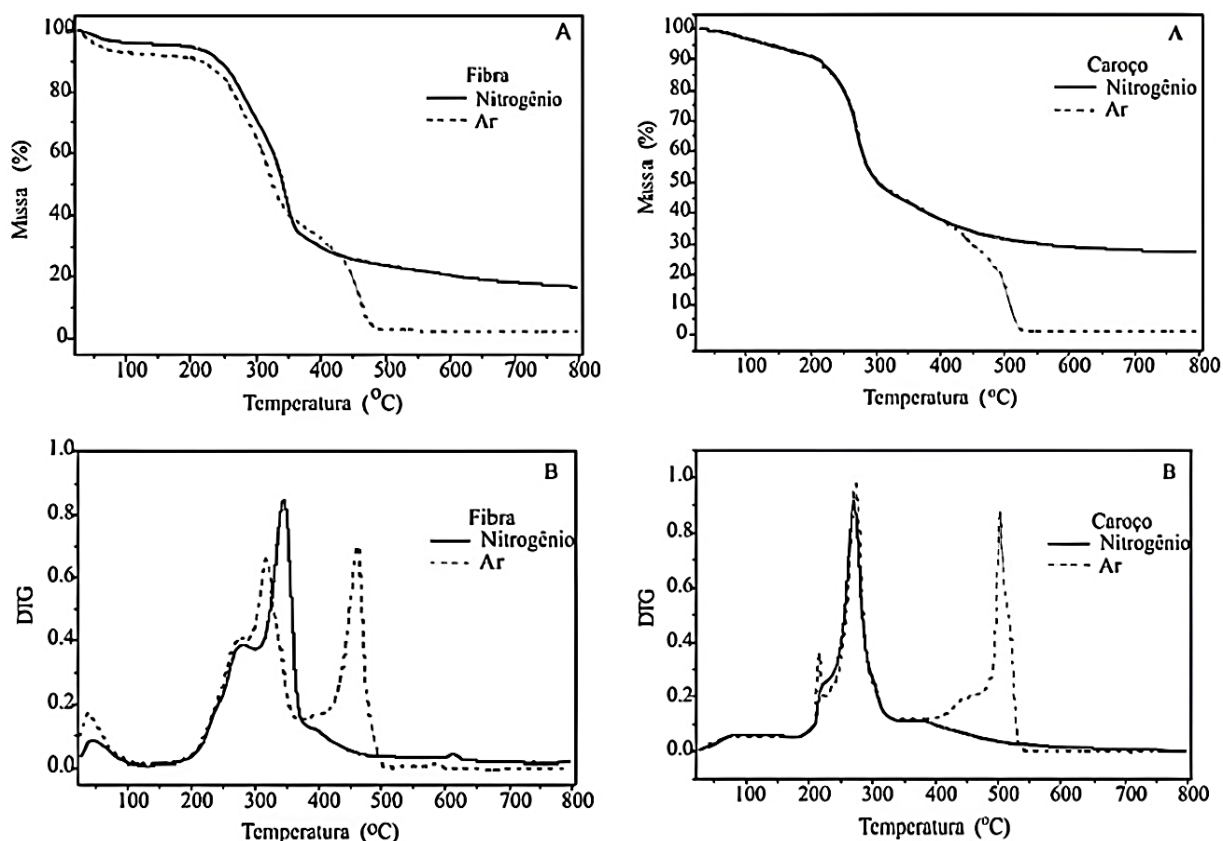


Figura 3: Análises térmicas gravimétricas ((A) para as fibras e para os caroços) e suas respectivas derivadas ((B) das fibras e dos caroços de açaí) (Fonte: MARTINS *et al.* [25])

De acordo com Tavares *et al* [26], a utilização de fibras vegetais em combinação com polímeros termoplásticos para a preparação de compósitos, apesar de viabilidade, apresenta algumas desvantagens devido à

fraca interação entre a interface fibra/matriz, resultando em materiais com baixas propriedades mecânicas. Com isso, trouxe a solução através de uma abordagem para melhorar o desempenho deste sistema que consistiria na utilização de agentes de acoplamento, que podem ser compostos químicos, óleos naturais ou algum processo físico-químico da fibra, como tratamentos alcalinos e térmicos. [26]

O conhecimento das características físico-químicas das partículas de resíduo de açaí faz-se necessário para subsidiar etapas de processamento de compósitos com uso destes materiais. Além disso, a utilização de um resíduo como o caroço do açaí potencializa a redução dos impactos ambientais, fornecendo a possibilidade de produção de novos materiais mais ecológicos, gerando indicadores de sustentabilidade ao empregar esses subprodutos [27].

4. TECNOLOGIA DOS MATERIAIS COMPÓSITOS

Define-se materiais compósitos, como um produto formado por pelo menos dois materiais diferentes com o objetivo de se obter um efeito sinérgico de propriedades e consequentemente uma maior qualidade em relação aos materiais de forma individualizada. Os compósitos se referem a materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que um dos componentes é descontínuo e dá a principal resistência ao esforço e o outro componente é contínuo e representa o meio de transferência desse esforço, sendo denominados, matriz e reforço [28].

Além de exibir as propriedades inerentes de cada constituinte, os compósitos exibem propriedades intermediárias que vêm da formação de uma região interfacial onde suas principais características se apresentam em densidade baixa (de 1 a 2g/cm³), permissividade de redução de massa (de 30 a 50%), bom comportamento à corrosão, comportamento acústico favorável, possuem bom comportamento ao choque, com absorção progressiva de energia [29].

Estabelecido por ser um material composto, se trata da combinação de materiais a nível macroscópico que trabalham simultaneamente, funcionando como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresentaria [30]. Continuando ainda, o comportamento mecânico do compósito se dá mediante a interação do conjunto reforço/matriz, no entanto, esta interação depende não somente da natureza dos mesmos, mas da qualidade da relação entre as ligações interfaciais desse conjunto trazendo a importância da descoberta das propriedades dos materiais para que a combinação destes possa ser bem sucedida [31].

Estes materiais estão sendo empregados cada vez mais na substituição dos materiais convencionais, como por exemplo o aço na área industrial. Além disso, suas aplicações se estendem a diversos setores como o aeroespacial, petroquímica e bioengenharia. Eles podem melhorar a produtividade, baixar os custos e possibilitar a introdução de novas propriedades mecânicas. Em todo compósito, o mecanismo de danos materiais é bastante complexo. No entanto, sabe-se que esses materiais possuem destaque em relação a sua resistência mecânica, entre outras características como: resistência à corrosão, fácil manutenção, durabilidade, flexibilidade arquitetônica, resistência às intempéries, resistência química, leveza e facilidade de transporte, sendo estas de suma importância para o meio em que serão empregadas [32-33].

4.1 Materiais compósitos de matriz termofixa e suas aplicações

Os materiais compósitos vêm chamando a atenção devido ao seu potencial de uso em diversas aplicações da engenharia [34,35]. No caso do uso de polímeros em compósitos, eles geralmente são utilizados como compósitos de matriz termoplástica e termofixa [36,37].

Polímeros que após produzidos fundem quando aquecidos em determinada temperatura como, por exemplo, o polipropileno (temperatura de fusão ~180°C), são categorizados como polímeros termoplásticos. Um compósito que utiliza termoplásticos como fase matriz é chamado de compósito termoplástico [38-41]. Por outro lado, um polímero termofixo não consegue fundir após ser aquecido. Isso ocorre justamente devido a sua forte estrutura em rede não permitir o fluxo das cadeias poliméricas quando a temperatura aumenta. Um compósito que incorpora o material termofixo como matriz é chamado de compósito termofixo [42-44].

Com alta relação resistência-peso, inércia química, estabilidade dimensional e assim por diante, os compósitos termofixos são amplamente aplicados nas áreas aeroespacial, construção, transporte e microeletrônica [45-48]. Devido às redes reticuladas covalentemente, os termofixos convencionais, como resina fenólica ou resina epóxi, não podem ser dissolvidos, fundidos e remoldados.

Esses polímeros e compósitos com matriz termofixa o processo de reciclagem não recupera as fibras virgens individuais e as fibras curtas moídas recicladas com propriedades mecânicas ruins representam aplicações limitadas de baixo valor; as altas temperaturas utilizadas nos métodos de reciclagem térmica causam uma

maior queda das propriedades mecânicas e compatibilidade interfacial das fibras recicladas; os métodos de reciclagem química ainda estão em um estágio inicial de desenvolvimento, muitas vezes limitados a matrizes poliméricas específicas, usam solventes perigosos, e os componentes da mistura complexa reciclada são difíceis de reutilizar e as fibras recuperadas geralmente aderem fracamente à matriz polimérica termofixa. [49]

Os meios acima mencionados para reciclar termofixos convencionais e compósitos termofixos geralmente exigem condições de reciclagem severas ou muita energia, destroem inevitavelmente o tamanho e o desempenho das fibras e geralmente não regeneram o próprio polímero [49]. Apesar das melhores propriedades mecânicas dos compósitos termofixos em resistência ao calor e tenacidade, os compósitos termoplásticos ainda são demandados, pois são capazes de produção de alto rendimento com facilidade de fabricação.

4.2 Materiais termoplásticos e suas aplicações

Compósitos com matriz termoplástica têm atraído a atenção por apresentarem muitas vantagens sobre as matrizes termofixas. Dentre estes, a reciclabilidade mais fácil é o critério mais citado, assim como a pós-moldabilidade permitindo o material se adequar aos moldes e submissão a tratamentos de acordo com a necessidade, assim, atendendo às preocupações ambientais. Na verdade, eles têm a capacidade de ser novamente fundidos e moldados por aquecimento, a fim de serem remodelados, como na figura 4, que traz a representação comparativa entre os materiais termoplásticos e termofixos quando entram em reação no processo de tratamento térmico de moldagem por aquecimento. [50-52].

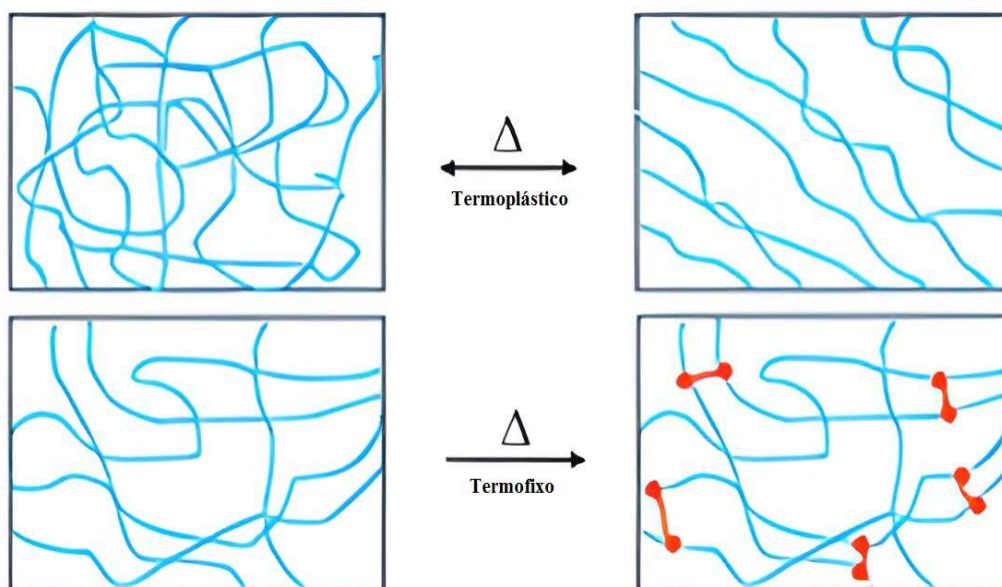


Figura 4: Exemplificação das ligações com o fator aumento de temperatura nos materiais termoplásticos e materiais termofixos, respectivamente. (Fonte: Murray *et al.* [52])

Nos materiais termoplásticos, o aumento na temperatura leva a ruptura de ligações fracas (secundárias), portanto, a fusão do termoplástico, sendo assim, um processo reversível. Já nos materiais termofixos, mesmo com o aumento na temperatura, as ligações fortes (primárias) permanecem estáveis, não permitindo a fusão. Esse é considerado um processo irreversível.

O armazenamento de materiais termoplásticos é mais fácil, pois podem ser armazenados por um longo período de tempo sem perder desempenho ou capacidade de processamento [51]. São estáveis à temperatura ambiente na forma de granulados ou pós, tornando seu manuseio mais fácil e seguro em comparação com os materiais termofixos. [52]

Os termoplásticos possuem mais destaque comercialmente, constituindo cerca de 70% do uso total de todos os polímeros sintéticos produzidos [53]. Polietileno, cloreto de polivinila, polipropileno, poliestireno e poliamida são os termoplásticos gerais. Itens como filme plástico, sacos de sanduíche, frascos de xarope, frascos de prescrição e sacolas plásticas são feitos de polipropileno [54]. Poliestireno sólido e filme, usado em contêineres rígidos para *foodservice*, caixas de CD, caixas de eletrodomésticos, janelas de envelope, espuma de poliestireno usada em produtos de *foodservice* e isolamento de edifícios, além de muitos outros produtos [55].

O cloreto de polivinila (PVC) é usado na construção civil, assistência médica, eletrônica, automóveis e outros setores e também em produtos como tubulações e revestimentos, bolsas e tubos de sangue, isolamento de fios e cabos e componentes do sistema de para-brisa [56]. A poliamida (PA), mais conhecida como nylon, é um material universalmente aplicável. Entre seus muitos usos, alguns se encontram na indústria de vestuário, que desfruta de uma variedade de vantagens dos termoplásticos. As vantagens envolvem a produção de camisas, roupas de fundação, lingerie, capas de chuva, roupas de banho, roupas de ciclismo, correias transportadoras, cintos de segurança, lonas, tendas etc. A produção de fibras como a poliamida e o poli(tereftalato de etileno) (PET) também são utilizadas para fabricação em redes de pesca [57].

Os polímeros termoplásticos também podem ser utilizados na formulação de compósitos a partir de fibras naturais. Essas fibras são produzidas em várias formas (cortadas ou contínuas) onde os polímeros são combinados para a fabricação de compósitos para fornecer flexibilidade, resistência e requisitos de processo adequados. Os compósitos em termos de alinhamento das fibras podem ser classificados como compósitos reforçados com fibra 1D, 2D e 3D, tendo a ver com a eficiência de reforço e sendo a variável D o fator de eficiência. As tecnologias têxteis convencionais, ou seja, tecelagem, malharia, não-tecidos e trançados, são comumente usadas para projetar arquiteturas de tecido exclusivas para atender a uma ampla gama de processos de fabricação e requisitos de produto final. Tecidos, malhas e trançados são fabricados com fibras contínuas na forma de fios, enquanto os tecidos não tecidos são fabricados com fibras curtas [58].

Os compósitos de matriz polimérica termoplástica são fabricados, geralmente por fusão da matriz e inserindo as fibras durante o seu processamento. As resinas termoplásticas fundidas podem fluir pela fase dispersa durante o processamento sem reticular. Ligações secundárias fracas mantêm as cadeias moleculares unidas. Os termoplásticos podem ser processados repetidamente por reaquecimento à temperatura de processamento e reciclados diretamente em novas formas estruturais, uma vez que os termoplásticos não se reticulam durante o processamento [59]. Os compósitos termoplásticos oferecem melhor alongamento e resistência à fratura, menos tempo de processamento, possibilidade de produção rápida, limpa e automatizada e vida útil infinita em comparação com os compósitos termofixos [60–62].

Outro processo que pode ser citado dentre as vantagens que se adequam os compósitos de matriz termoplásticas são as várias técnicas de soldagem que podem ser implantadas para unir termoplásticos rapidamente. No entanto, a viscosidade das resinas termoplásticas é relativamente maior em comparação com os compósitos termofixos devido ao alto peso molecular das resinas, o que proporciona uma tarefa desafiadora durante a fabricação de compósitos reforçados com fibras longas.[63].

O avanço no campo de desenvolvimento de fibras nas últimas décadas aumentaram a disponibilidade comercial de compósitos termoplásticos. Técnicas de fabricação, eco sustentabilidade e desempenho final, são as principais razões para o sucesso dos compósitos termoplásticos [64].

As resinas termoplásticas são ainda classificadas como plásticos de commodities, como polietileno (PE), polipropileno (PP) e acrilonitrila butadieno estireno (ABS), e plásticos de engenharia, como poliamida (PA), polieteretercetona (PEEK) e polieterimida (PEI) [65,68].

5. PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA COM A FIBRA DO CAROÇO DO AÇAÍ.

Consonante ao apresentado nos tópicos acima, as fibras do caroço do açaí possuem boas propriedades térmicas e químicas, além do reaproveitamento para geração de um subproduto, sendo assim, um possível material de reforço a ser adicionado junto a compósitos de matriz termoplástica. O aproveitamento da fibra, está condicionado a incorporação ao material plástico, que está classificado como fibras curtas que são normalmente extraídas em formato de “penachos” ou “fios fibrosos” e deve ser dada atenção a variação do comprimento do material de incorporação [69]. Pesquisas realizadas na área desses materiais, trazendo a parte do aproveitamento das fibras do caroço do açaí, na mistura como reforço de compósitos termoplásticos e os resultados alcançados serão apresentados.

Martins *et al.* [70] analisaram as amostras submetendo-as a caracterização por termogravimetria (TG/DTG) sendo avaliadas em atmosferas inerte e oxidativa e também passando pela análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia ótica (MO). Como resultado, as fibras do caroço do açaí apresentaram boa estabilidade térmica até 230°C e um processo de degradação em atmosfera inerte em três etapas. Já se tratando da atmosfera oxidativa, as fibras apresentaram uma estabilidade térmica menor e uma variação em seu processo de degradação, que alterou de três para quatro etapas. Os retornos obtidos através da análise térmica do caroço do açaí, mostraram um comportamento térmico semelhante ao da fibra. As microscopias mostraram que as fibras presentes do fruto do açaí recobrem o caroço e possuem morfologia irregular, além de apresentar células de parênquima na sua superfície. Os autores destacaram também que o comportamento

térmico das fibras do caroço do açaí se assemelha ao de outras fibras vegetais como o sisal e o coco já utilizadas industrialmente na área de compósitos poliméricos com matriz termoplástica, o que abre novas e promissoras áreas para sua utilização.

Castro *et al.* [22] avaliaram a influência da fibra do caroço do açaí como material de reforço em termoplásticos oriundos de reciclagem advindos de uso cotidiano, implementando metodologias simplificadas e de pouco custo. As matrizes recicladas de poliestireno e polipropileno de alto impacto foram moldadas por compressão a quente, processo de transformação que resultou nos compósitos reforçados por fibra. A técnica aplicada de FTIR (Infravermelho por Transformada de Fourier) mostrou que o processo teve eficiência para prevenir a degradação das fibras. A intervenção das fibras no comportamento mecânico das matrizes recicladas passou por investigação através de imagens microscópicas, mostrando ensaios de compressão e impacto. Os resultados trouxeram à tona um melhor desempenho no ensaio de impacto para a fibra que estava combinada com as matrizes poliméricas.

Ito *et al.* [69] analisaram as propriedades térmicas, morfológicas e mecânicas dos compósitos de poliolefinas e fibras do caroço do açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) em teores que variaram de 10% à 20% na composição com e sem o acréscimo de agente compatibilizante, sendo este o polipropileno funcionalizado com anidrido maleico (PP-MAH). Se tratando da análise térmica, seu objetivo foi caracterizar o comportamento térmico das fibras de açaí e também das poliolefinas recicladas, auxiliando o estabelecimento de temperaturas de processamento dos materiais compósitos, que variaram de 125 à 161°C. Por fim, notou-se que a adição de fibras de açaí às poliolefinas recicladas manteve ou aumentou a resistência mecânica nos compósitos, em comparação com as poliolefinas recicladas sem a presença de fibras em sua composição.

Santos *et al.* [7] avaliaram a fibra natural obtida como resíduo da agroindústria é utilizada para reforçar uma matriz polimérica baseada em fontes renováveis. As fibras curtas de açaí (*Euterpe oleracea Mat.*), são usados para reforçar uma mistura à base de PLA e resina de pinho. Foram obtidas características morfológicas e térmicas da fibra e elaborados os biocompósitos com 5%; 7,5% e 10% da fração mássica de fibras de açaí não tratadas. Em seguida, os corpos de prova de placas de compósito foram avaliados em relação ao comportamento mecânico no carregamento de flexão. Os resultados mostram a influência da adição de fibras nas propriedades mecânicas dos biocompósitos. Embora sejam necessários mais estudos para conhecer a influência da resina de pinus nas características do PLA, algumas conclusões puderam ser feitas. A resina de pinho é um material frágil, por isso é interessante ser temperado por outro polímero para melhorar o desempenho mecânico a ser utilizado no desenvolvimento de novos produtos; Uma mistura com resina de pinho e PLA é ecologicamente correta, pois ambos os materiais são provenientes de recursos renováveis, além de agregar valor a este produto florestal; Um compósito baseado em uma matriz biopolimérica como blenda de PPLA com adição de fibra de açaí é um material ecologicamente correto e pode reduzir o descarte e o impacto desses resíduos no meio ambiente; O emaranhamento das fibras pode ser reduzido através de um processo de moagem que pode contribuir para uma melhor distribuição das fibras na matriz polimérica; A resistência à flexão dos compósitos de PPLA/fibras de açaí teve um leve aumento com a adição de 7,5 e 10% de fibras de açaí, em comparação com placas de compósito sem adição de fibras.

Tavares *et al.* [26] investigaram o efeito do tratamento térmico usando autoclave nas propriedades químicas, físicas e morfológicas das fibras lignocelulósicas do açaí (*Euterpe oleracea Mart*), e o comportamento da fibra tratada em compósito de matriz de polipropileno (PP) com polipropileno-enxerto-anidrido maleico (PPgMA) como agente de acoplamento. As fibras tratadas e não tratadas foram caracterizadas por diversos métodos, sendo a composição química, difração de raios X (DRX), espectroscopia FTIR (infravermelho por transformada de Fourier) e termogravimetria, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaios de tração aos quais os compósitos foram submetidos. Os resultados obtidos identificaram que o tratamento térmico alterou o teor de hemicelulose e lignina e aumentou a rugosidade superficial da fibra do caroço do açaí, porém, sem comprometer a estabilidade térmica. O compósito reforçado por fibras tratadas termicamente e PPgMA apresentou aumento na resistência a tração, mas redução no módulo de elasticidade. Em conclusão, o tratamento térmico da fibra vegetal é uma técnica promissora para melhorar o desempenho dos compósitos.

Wataya *et al.* [71] analisaram as propriedades mecânicas, morfológicas e térmicas dos compósitos biodegradáveis à base de blendas de copoliéster alifático aromático/ácido polilático, sendo as misturas de poli(butileno adipato co-tereftalato)(PBAT)/ poliácido láctico (PLA) reforçadas por fibras do caroço do açaí. Esses compósitos biodegradáveis foram preparados pelo método de extrusão por fusão, que utiliza uma máquina extrusora de rosca dupla. As fibras retiradas do caroço do açaí foram utilizadas como reforço e as blendas PBAT/PLA como matriz para formação do produto final. A influência da adição de fibras do caroço do açaí nas propriedades dos materiais compósitos foi analisada pelos ensaios de tração e impacto, microscopia eletrônica de varredura (MEV), calorimetria exploratório diferencial (DSC) e análise de difração de raio X (DRX).

As propriedades e suas relações advindas dos ensaios foram relatadas e discutidas. Ademais, também houve a realização da caracterização das fibras do caroço do açaí por MEV, DRX e de análise por fluorescência de raio X (WDXRF). Após a realização de todos os processos e ensaios foi concluído que o teor de 15% de resíduos fibrosos oriundos do caroço no açaí não é suficiente para obter boas propriedades mecânicas do material, apesar de que não foram descartadas as possibilidades do uso dessas fibras biodegradáveis em uma outra composição e possivelmente maior para obter melhores propriedades e conseqüentemente, melhores resultados.

Teixeira *et al.* [72] investigaram a reciclagem de resíduos de impressão 3D para utilizá-los no projeto de compósitos com fibras lignocelulósicas como reforço. O resíduo utilizado neste trabalho foi obtido de impressoras 3D da Rede de Incubadoras Tecnológicas com filamentos poliméricos de Poli(ácido láctico) e Acrilonitrila Butadieno Estireno. Como reforço foi utilizada fibra de açaí (*Euterpe Oleracea Mart.*), fibra de juta (*Corchorus capsularis*) e particulados de madeira, que foram adicionadas em quantidades específicas ao polímero durante o processo de fundição e posteriormente vazadas em moldes de silicone. As análises foram feitas com os resíduos e com as amostras desenvolvidas. Como resultado, há diferentes percepções do material em estudo que contribuem para o processo de design, gerando produtos e propostas ambientalmente sustentáveis e com diferentes significados para os usuários. Não há dúvida de que a manufatura aditiva e suas diversas técnicas revolucionaram na desenvolvimento de bens de consumo, especialmente quando se trata de reduzir a geração de resíduos quando comparado com técnicas tradicionais como usinagem, e o tempo reduzido de lançamento do novo produto, além de ampliar comunicação no processo de projeto. Entre as tecnologias de manufatura aditiva, a modelagem por deposição de fusão é a técnica mais popular devido ao baixo custo de impressoras 3D que utilizavam filamentos de polímeros termoplásticos como Poli(ácido láctico) e Acrilonitrila Butadieno Estireno. A reciclagem de Poli(ácido láctico) e Acrilonitrila Butadieno Estireno mostrou-se viável, mas cuidados devem ser tomadas ao reciclar resíduos de Acrilonitrila Butadieno Estireno devido à fumaça tóxica que o polímero produz durante o processamento. O uso de resíduos reciclados como polímero matriz no desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais amplia os aspectos de sustentabilidade do material. O interesse do usuário em amostras de Poli(ácido láctico) reciclado com fibra de açaí demonstra a possibilidade de aplicação esse material em produtos, além da oportunidade de utilizar fibras vegetais de resíduos para formar outros tipos de materiais. Nesse caso, avaliando as possíveis vantagens mecânicas, térmicas e a possibilidade de biodegradação deste novo material.

Gowman *et al.* [73] avaliaram nesta pesquisa os desenvolvimentos recentes em tecnologias para incorporar resíduos de frutas de fontes como uva, maçã, azeitona, banana, açaí, coco, abacaxi e outros em matrizes poliméricas para o reaproveitamento de materiais gerando os compósitos termoplásticos adicionados de fibras vegetais ou filmes “verdes”. Algumas das matrizes termoplásticas citadas são Poliácido láctico (PLA) e o poli(hidroxialcanoatos) (PHAs). Vários tratamentos de superfície de fibras como lavagem, tratamento com peróxido, tratamento alcalino e o uso de agentes de acoplamento podem render aprimoramento da fibra. O tratamento de superfície pode contribuir para a melhora da adesão interfacial, mas também pode auxiliar na dispersão do resíduo; esses tratamentos aumentam a adesão e aplicabilidade na junção com diversos bioplásticos. Os resíduos de frutas como o açaí, têm o potencial de serem incorporados com sucesso em muitas matrizes poliméricas biodegradáveis diferentes para uma ampla variedade de aplicações. A utilização de resíduos de frutas ajuda a valorizar o subproduto, gerando receita para os agricultores e menor custo de material para os fabricantes de compósitos. Esses biocompósitos têm a vantagem de serem biodegradáveis e de menor custo do que os biopolímeros puros, devido à incorporação da fibra de baixo custo. Um grande obstáculo a ser superado é a criação de biocompósitos com bom equilíbrio de propriedades mecânicas e térmicas, mantendo os benefícios de baixo custo associados aos resíduos de frutas. Os tratamentos de superfície de fibras potencializam essas propriedades, mas um custo maior está associado a esses tratamentos. Os compatibilizantes também têm sido eficazes na melhoria das propriedades mecânicas e térmicas, mas também apresentam um alto custo associado. A valorização da biomassa de resíduos de frutas em biocompósitos continuará a ganhar popularidade na indústria e na pesquisa, pois os materiais fornecem uma solução renovável e sustentável para as preocupações globais com o plástico.

Machado *et al.* [74] analisaram que uma ampla gama de biopolímeros com diversas possibilidades de aplicação pode ser produzida a partir de biomassa lignocelulósica, permitindo a substituição de muitos plásticos convencionais. Nessa pesquisa, foram discutidos os processos de produção, aplicações, vantagens e desafios da obtenção de biopolímeros a partir de biomassa lignocelulósica. A biomassa lignocelulósica é uma matéria-prima promissora para a produção de biopolímeros visando substituir os plásticos convencionais. Polímeros derivados do petróleo apresentam desvantagens, incluindo emissões de gases de efeito estufa, dependência de um recurso não renovável, e geração de enormes quantidades de resíduos não biodegradáveis. Assim, sua substituição por biopolímeros, que são biodegradáveis e ecologicamente corretos, é uma alternativa. Como a biomassa lignocelulósica é um material heterogêneo, uma ampla gama de diferentes biopolímeros podem ser

produzidos a partir desta matéria-prima. A matriz termoplástica investigado na mistura com a fibra do açaí seria o Poli(ácido láctico), onde percebeu-se que o subproduto resultou uma força de flexão ligeiramente aumentada de acordo com os resultados em suas propriedades. Além disso, materiais lignocelulósicos são recursos naturais amplamente disponíveis e de custo relativamente baixo, tornando seu uso em produção de biopolímeros viável. Biopolímeros produzidos a partir de distintos componentes da biomassa por meio de diferentes processos de produção apresentam propriedades diferenciadas, permitindo sua aplicação em diversos setores da indústria. Nesse sentido, é cada vez mais importante apoiar pesquisas focadas na produção de biopolímeros a partir de biomassa lignocelulósica comercialmente viável e lucrativo.

Lima *et al.* [75] investigaram o estudo de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, sua fabricação e aplicações biomédicas. Ao que se dirige em relação a fibra de açaí a pesquisa traz como objetivo de utilizá-la como reforço sendo a fase matriz o compósito de polipropileno (PP); Observou-se que as fibras contribuíram para um aumento da cristalinidade do material, havendo um aumento da rugosidade superficial da fibra, porém sem comprometimento da estabilidade térmica. Além disso, houve melhora resistência à tração do material compósito. Outro tratamento útil é o tratamento de plasma, no qual a modificação da superfície de fibras pode produzir superfícies mais ásperas e/ou lisas. O desenvolvimento de novos materiais para aplicações nas áreas da biomedicina tem sofrido grandes mudanças nos últimos décadas; entretanto, há muito a ser explorado na otimização das propriedades finais.

6. CONCLUSÃO

Diante disto, é possível concluir que o uso das fibras do caroço do açaí como reforço de compósitos com matriz termoplástica é viável, pois diversas pesquisas e literaturas aqui exploradas evidenciaram ensaios e trouxeram a comprovação de que houve uma melhora significativa nas propriedades desses compósitos a partir da junção e no processo de formação entre o material fibra e o compósito de matriz termoplástica.

Ademais, os resíduos inerentes da fibra que atualmente em sua grande parte são destinados de forma errônea a aterros sanitários ganham um novo destino para reaproveitamento e originando um novo produto funcional. Vale ressaltar, que as matrizes termoplásticas também podem ser reaproveitadas, o que ameniza um problema ambiental de grande caráter social e econômico.

Como observação, dentro dos estudos apresentados notou-se que o uso de um agente de acoplamento no processo de formação desses compósitos traz melhorias significativas na performance do material ensaiado que podem ser algum composto químico, óleo natural ou algum processo físico-químico da fibra, como tratamentos específicos.

Apesar de ter alguns estudos sobre a produção de compósitos de matriz termoplástica com a utilização da fibra do caroço do açaí como fase dispersa, ainda há muito o que se explorar em específico em relação a fibra do caroço do açaí, pois pesquisas voltadas ao seu uso como fase dispersa em polímeros termoplásticos é bastante escasso.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] SANTOS, S. S.; SILVA F. G. e CASTRO F. D. “Utilização De Fibras Do Mesocarpo E Caroço Do Açaí Como Componente De Misturas Areia - Asfalto Para A Pavimentação Na Cidade De Manaus/AM”. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 03, n. 04 pp. 627-633, Jul, 2017.
- [2] HOMMA AKO. *Sistema de produção do açaí*. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2006.
- [3] HOMMA A.K.O, NOGUEIRA O. L, MENEZES A.J.E.A. *et al. Açaí: novos desafios e tendências*. Amazônia: Ciência & Desenvolvimento. 2006; 1(2):7-23.
- [4] REIS B.O., SILVA I.T., SILVA I.M.O. *et al.* “Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí”. In: *Anais of AGRENER*; Campinas, Brasil. p. 85-89, 2002.
- [5]. ROGEZ H. *Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação*. EDFPA; Belém:2000.
- [6] LERTWATTANARUK, P; SUNTIJITTO, A. “Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications”. *Construction And Building Materials*, [S.L.],v.94,p.664-669, set. 2015.
- [7] SANTOS, S. N.; SILVA, R. M.; ALVES, L. J.. “Reinforcement of a biopolymer matrix by lignocellulosic agro-waste”. *Procedia Engineering*, [S.L.], v. 200, p. 422-427, 2017.
- [8] ZUKOWSKI, B.; SILVA, A. F.; TOLEDO FILHO, D.R. “Design of strain hardening cement-based composites with alkali treated natural curauá fiber”. *Cement And Concrete Composites*, [S.L.], v. 89, p. 150-159, maio 2018.

- [9] MARTINS, M. A., PESSOA, J. D. C., GONÇALVES, P. S., *et al.* “Thermal and mechanical properties of the açai fiber/natural rubber composites”. *Journal of Materials Science*, 43(19), 6531-6538, 2008.
- [10] TAJ, S., MUNAWAR, M.A. e KHAN, S. “Cotton reinforced polymer composites. Tribology Of Natural Fiber Polymer Composites”. *Pakistan Academy of Science*, [S.L.], p. 129-161, 2008.
- [11] FERREIRA, S. D.; GOMES, L. A.; SILVA, G. M.; *et al.* “Antioxidant Capacity and Chemical Characterization of Açai (Euterpe oleracea Mart.) Fruit Fractions”. *Food Science And Technology*, [S.L.], v. 4, n. 5, p. 95-102, dez. 2016.
- [12] SATO, K. M.; LIMA, V. H.; COSTA, N. A *et al.* “Biochar from Acai agroindustry waste: study of pyrolysis conditions”. *Waste Management*, [S.L.], v. 96, p. 158-167, ago. 2019.
- [13] JESUS, T. L. A.; CRISTIANINI, M.; SANTOS, M. N.; *et al.* “Effects of high hydrostatic pressure on the microbial inactivation and extraction of bioactive compounds from açai (Euterpe oleracea Martius) pulp”. *Food Research International*, [S.L.], v. 130, p. 108856, abr. 2020.
- [14] MARQUES, S. E.; FRODER, G. J.; OLIVEIRA, R. P. *et al.* “Cytotoxic effects of Euterpe oleracea e fruit oil (açai) in rat liver and thyroid tissues”. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 54-61, jan. 2019.
- [15] LEE, J. “Anthocyanins of açai products in the United States”. *Nfs Journal*, [S.L.], v. 14-15, p. 14-21, mar. 2019.
- [16] SOUZA, V. F. de; VIEIRA, A. H.; RAMALHO, A. R. *Cultivo do Açazeiro (Euterpe oleracea Martius) no Noroeste do Brasil*. Embrapa Rondônia. Porto Velho, RO, 2018.
- [17] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), Produção da extração vegetal e silvicultura - PEVS, Rio de Janeiro.
- [18] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020), Produção da extração vegetal e silvicultura - PEVS, Rio de Janeiro.
- [19] ANDERSON, B. A.; GELY, A.; STRUDWICK, J.; *et al.* “Um sistema agroflorestral na várzea do estuário amazônico (Ilha das Onças, Município de Barcarena, Estado do Pará)”. *Acta Amazônica*, [S.L.], v. 15, n. 1-2, p. 195-224, 1985.
- [20] SEYE O., SOUZA R.C.R., BACELLAR A.A., MORAIS M.R. de. “Caracterização do caroço de açai como insumo para geração de eletricidade via gaseificação”, In: *Proc. AGRENER GD 2008-7_Congresso Int. Sobre Geração Distrib. e Energ. No Meio Rural*, 2008.
- [21] SILVA, C. R.; BATISTA, A.; COSTA, F. C. D. *et al.* “Açai (Euterpe oleracea Mart.) seed flour prevents obesity-induced hepatic steatosis regulating lipid metabolism by increasing cholesterol excretion in high-fat diet-fed mice”. *Food Research International*, [S.L.], v. 111, p. 408-415, set. 2018.
- [22] CASTRO, C. P. D. C.; DIAS, T. B. G. C.; FARIA, F. A. J.. “Production and evaluation of recycled polymers from açai fibers”. *Materials Research*, [S.L.], v.13, n.2, p.159-163, jun. 2010.
- [23] WEI, J.; MEYER, C. “Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites”. *Cement And Concrete Research*, [S.L.], v. 73, p. 1-16, jul. 2015.
- [24] TAVARES, C. F. F. *Influência do Tratamento Térmico em Fibras das Sementes de Açai e do Uso de Agentes de Acoplamento de Fonte Natural em Compósito de Polipropileno*. Tese de D. Sc., UFRS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2020.
- [25] MARTINS, M.A.; MATTOSO, L.H.C.; PESSOA, J.D.C. “Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açai (Euterpe oleracea Mart.)”. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*, v. 31, n. 4, p. 1150-1157, dez. 2009.
- [26] TAVARES, C. F. F.; ALMEIDA, C. D. M.; SILVA, P. A. J.; *et al.* “Thermal treatment of açai (Euterpe oleracea) fiber for composite reinforcement.” *Polímeros*, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 327-345, nov. 2020.
- [27] BARBOSA, A. M.; REBELO, V.S.M.; MARTORANO, L.G., *et al.*, “Caracterização de partículas de açai visando seu potencial uso na construção civil”, *Revista Matéria*, v.24, n.3, 2019.
- [28] MANO, E. B; MENDES, L.C. *Introdução a Polímeros*. 2 ed, Rio de Janeiro, Editora Edgard Blücher Ltda, 1999.
- [29] JUNIOR B. I., KEINERT, C. A., ELLENBERGER, A. *et al.* “Fibras vegetais e compósitos na indústria automotiva”. *MIX*. v 6. n 4. p.129-138, 2020.
- [30] MENDONÇA P. T. R. *Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíches*. Barueri, Manoele, 2005.
- [31] DE MONTE M.; MOOSBRUGGER E.; QUARESIMIN M. “Influence of temperature and thickness

on the off-axis behaviour of short glass fibre reinforced polyamide 6.6”. *Quasi-static loading*. v. 41. p. 859-871, Feb 2010.

[32] POZZI P.; TAURINO R.; ZANASI T.; *et al.* “New polypropylene/glass composites: Effect of glass fibers from cathode ray tubes on thermal and mechanical properties”. *Composites Part A*, v. 41, p 435-440., Dec 2010.

[33] CUNHA, D., ALEX R., SANTOS, D., *et al.* “Agentes Externos Influenciam o Comportamento Mecânico dos Compósitos Poliméricos - Estudo De Casos”. *HOLOS*, v. 5, p. 16-22, 2010.

[34] GHAYOUR, Mohammadhossein; HOJJATI, Mehdi; GANESAN, Rajamohan. “Induced defect layer method to characterize the effect of fiber tow gaps for the laminates manufactured by automated fiber placement technique”. *Journal Of Composite Materials*, [S.L.], v. 55, n. 27, p. 4011-4027, 13 jul. 2021.

[35] CARTIÉ, Denis; LAN, Marine; DAVIES, Peter; *et al.* “Influence of Embedded Gap and Overlap Fiber Placement Defects on Interlaminar Properties of High-Performance Composites”. *Materials*, [S.L.], v. 14, n. 18, p. 5332, 15 set. 2021.

[36] YANG, Yongxiang; BOOM, Rob; IRION, Brijan; *et al.* “Recycling of composite materials”. *Chemical Engineering And Processing: Process Intensification*, [S.L.], v. 51, p. 53-68, jan. 2012.

[37] SUN, X.C.; KAWASHITA, L.F.; KADDOUR, A. *et al.* “Comparison of low velocity impact modeling techniques for thermoplastic and thermoset polymer composites”. *Composite Structures*, [S.L.], v. 203, p. 659-671, nov. 2018.

[38] LIM, S.; CHEON, J.; KIM, M.. “Effect of laser surface treatments on a thermoplastic PA 6/carbon composite to enhance the bonding strength”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, [S.L.], v. 137, p. 105989, out. 2020.

[39] JANCAR, J. “Hydrolytic stability of PC/ GF composites with engineered interphase of varying elastic modulus.” *Composites Science and Technology*, v. 66, n. 10, p. 3144-3152. ISSN: 0266- 3538, 2006.

[40] ANDRZEJEWSKI, J; MOHANTY, A.; MISRA, M. “Development of hybrid composites reinforced with biocarbon/carbon fiber system. The comparative study for PC, ABS and PC/ABS based materials”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 200, p. 108319, nov. 2020.

[41] KWON, D.; KIM, N.; JANG, Y.; *et al.* “Impacts of thermoplastics content on mechanical properties of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 216, p. 108859, jul. 2021.

[42] GUO, W.; ZHAO, Y.; WANG, X.; *et al.* “Multifunctional epoxy composites with highly flame retardant and effective electromagnetic interference shielding performances”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 192, p. 107990, jul. 2020.

[43] SARIKAYA E., ÇALLIOGLU H., DEMIREL H. “New reactive rigid-rod aminated aromatic polyamide for the simultaneous strengthening and toughening of epoxy resin and carbon fiber/epoxy composites”. *Compos B Eng*. v. 167. p 461–6. Dec 2010.

[44] SI, H.; ZHOU, L.; WU, Y.; *et al.* “Rapidly reprocessable, degradable epoxy vitrimer and recyclable carbon fiber reinforced thermoset composites relied on high contents of exchangeable aromatic disulfide cross-links”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 199, p. 108278, out. 2020.

[45] KALAIYARASAN, A., RAMESH, P., PARAMASIVAM, P. “Study of advanced composite materials in aerospace application. International Journal of Scientific Research in Mechanical and Materials Engineering”. *Journal of Scientific Research In Mechanical And Materials Engineering*, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 327-345, nov. 2018.

[46] SONNENSCHNEIN, R.; GAJDOSOVA, K.; HOLLY, I.. “Composites and their Using in the Construction of Bridges”. *Procedia Engineering*, [S.L.], v. 161, p. 477-482, 2016.

[47] KONIUSZEWSKA, A. G.; KACZMAR, J. W. “Application of Polymer Based Composite Materials in Transportation”. *Progress In Rubber, Plastics And Recycling Technology*, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 1-24, fev. 2016.

[48] GRANADO, L.; KEMPA, S.; GREGORIADES, L. J. *et al.* “Improvements of the Epoxy–Copper Adhesion for Microelectronic Applications”. *Acs Applied Electronic Materials*, [S.L.], v. 1, n. 8, p. 1498-1505, 3 jul. 2019.

[49] ZHANG, Y.; ZHANG, L.; YANG, G.; *et al.* “Recent advances in recyclable thermosets and thermoset composites based on covalent adaptable networks”. *Journal Of Materials Science & Technology*, [S.L.], v. 92, p. 75-87, nov. 2021.

[50] LIU, B.; ZHU, P.; XU, A.; *et al.* “Investigation of the recycling of continuous fiber-reinforced thermoplastics”. *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 342-356, 18 fev. 2018.

[51] LIU, Y.; FARNSWORTH, M.; TIWARI, A. “A review of optimisation techniques used in the composite recycling area: state-of-the-art and steps towards a research agenda”. *Journal Of Cleaner Production*, [S.L.], v. 140, p. 1775-1781, jan. 2017.

[52] MURRAY, R. E.; BEACH, R.; BARNES, D; *et al.* “Structural validation of a thermoplastic composite wind turbine blade with comparison to a thermoset composite blade”. *Renewable Energy*, [S.L.], v. 164, p. 1100-1107, Fev. 2021.

[53] STEWART, R. “Thermoplastic composites — recyclable and fast to process”. *Reinforced Plastics*, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 22-28, Maio 2011.

[54] LI, H.; ENGLUND, K. “Recycling of carbon fiber-reinforced thermoplastic composite wastes from the aerospace industry”. *Journal Of Composite Materials*, [S.L.], v. 51, n. 9, p. 1265-1273, 26 set. 2016.

[55] BRUNELLO, G.; SIVOLELLA, S.; MENEGHELLO, R. *et al.* “Powder-based 3D printing for bone tissue engineering”. *Biotechnology Advances*, [S.L.], v. 34, n. 5, p. 740-753, set. 2016.

[56] S. Khan Ph.D. *Dissertation polyvinyl chloride (PVC)*., Concordia University Canada, Concordia, CN, Canadá.

[57] AIZED, T.; SHIRINZADEH, B. “Robotic fiber placement process analysis and optimization using response surface method”. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [S.L.], v. 55, n. 1-4, p. 393-404, 25 Nov. 2010.

[58] DEBOUT, P.; CHANAL, H.; DUC, E. “Tool path smoothing of a redundant machine: application to automated fiber placement”. *Computer-Aided Design*, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 122-132, fev. 2011.

[59] AN, Y.; YU, W. “Three-dimensional printing of continuous carbon fiber-reinforced shape memory polymer composites”. *Aip Conference Proceedings*, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 327-345, nov. 2019.

[60] AKOVALI, G., KAYNAK, C. *Constituent materials*, In: Handb. Compos. Fabr., Rapra Technology, pp. 21–52. ISBN: 1859572634 9781859572634. v.1, 196 pages, 2001.

[61] BOISSE, P., *Advances in composites manufacturing and process design*. 2 ed, vol. 3, Woodhead Publishing Hardcover, 24 July, 2015.

[62] CAMPBELL, C. F., “Thermoplastic composites: an unfulfilled promise, Manuf. Process.” *Adv. Compos.* p. 357–397, 2003.

[63] YASSIN, K.; HOJJATI, M.. “Processing of thermoplastic matrix composites through automated fiber placement and tape laying methods”. *Journal Of Thermoplastic Composite Materials*, [S.L.], v. 31, n. 12, p. 1676-1725, 26 nov. 2017.

[64] AWAIS, H.; NAWAB, Y.; AMJAD, A.; *et al.* “Effect of comingling techniques on mechanical properties of natural fibre reinforced cross-ply thermoplastic composites”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 177, p. 107279, nov. 2019.

[65] AWAIS, H.; NAWAB, Y.; ANJANG, A.; *et al.* “Effect of fabric architecture on the shear and impact properties of natural fibre reinforced composites”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 195, p. 108069, ago. 2020.

[66] MALLICK, P.K. “Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures”. *Materials, Design And Manufacturing For Lightweight Vehicles*, [S.L.], p. 174-207, 2010.

[67] MOHAMMED, L.; ANSARI, M. N. M.; PUA, G.; *et al.* “A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications”. *International Journal Of Polymer Science*, [S.L.], v. 2015, p. 1-15, 2015.

[68] YAO, S.; JIN, F.; RHEE, K.; *et al.* “Recent advances in carbon-fiber-reinforced thermoplastic composites: a review”. *Composites Part B: Engineering*, [S.L.], v. 142, p. 241-250, jun. 2018.

[69] ITO, E. N., MARCONCINI, J.M., PESSOA, J. D. C., *et al.*, *Caracterização de Compósitos de Poli-olefinas Recicladas com Fibras de Açai*. São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária., 2008. 4, p. 1150-1157, dezembro 2009.

[70] MARTINS, M.A., MATTOSO, L.H.C, PESSOA, J.D.C., “Comportamento Térmico e Caracterização Morfológica das Fibras de Mesocarpo e Carçoço do Açai (Euterpe oleracea Mart.)”, *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 31, n.

[71] WATAYA, C. H., LIMA R. A., OLIVEIRA, R. R., *et al.* “Mechanical, Morphological And Thermal Properties Of Açai Fibers Reinforced Biodegradable Polymer Composites”. *Characterization of Minerals*,

Metals, and Materials), 2015.

[72] TEIXEIRA, F. L.; RODRIGUES, V. J.; COHEN, P. F. A. L. *et al.* “A Material-Driven Design Approach Methodology in 3D Printing Waste Recycling”. *Springer Tracts In Additive Manufacturing*, [S.L.], p. 105-129, 2022.

[73] GOWMAN, C. A.; PICARD, M.; LIM, L.; *et al.* “Fruit waste valorization for biodegradable biocomposite applications: a review”. *Bioresources*, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 10047-10092, 7 out. 2019.

[74] MACHADO, G.; SANTOS, F.; LOUREGA, R.; *et al.* “Biopolymers from Lignocellulosic Biomass”. *Lignocellulosic Biorefining Technologies*, [S.L.], p. 125-158, 10 jan. 2020.

[75] LIMA, M. A. T.; LIMA, G. G.; NUGENT, D. J. M. “Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites: manufacturing and biomedical applications”. *Polymeric And Natural Composites*, [S.L.], p. 25-63, 15 jul. 2021.

ORCID

Cibele Oliveira da Silva

<https://orcid.org/0000-0001-7232-0765>

Walber Alexandre do Nascimento

<https://orcid.org/0000-0002-2699-3982>