

USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS DA AMAZÔNIA EM EXPERIMENTOS COM MATERIAIS E DESIGN

Amazon agro-industrial waste use for experiments with materials and design

Lauro Arthur Farias Paiva Cohen¹, Eliane Ayres²

Resumo: A cadeia produtiva do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das mais importantes para a região Norte do Brasil. Entretanto, a alta produção de resíduos derivados do processamento industrial é responsável por problemas ambientais, sociais e econômicos nas principais cidades da região. Dessa maneira, o artigo relata as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de açaí para o desenvolvimento de materiais compósitos com Poliláctico (PLA). Quanto aos procedimentos metodológicos, a presente pesquisa é caracterizada como exploratória. Os resultados apresentam um material uniforme, com alterações na cor e textura de acordo com o acréscimo dos resíduos de açaí. A pesquisa permeia princípios do desenvolvimento sustentável, noções sobre design e materiais, possibilidades do uso de resíduos como matéria-prima e contribuições do design para o território amazônico.

Palavras-chave: biodiversidade; compósitos; materiais e processos; resíduos de açaí; sustentabilidade.

Abstract: The açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) production chain is one of the most important for the northern region of Brazil. However, the high production of waste derived from industrial processing is responsible for environmental, social and economic problems in the main cities of the region. Thus, the article reports the possibilities of using açaí waste for the development of composite materials with Polylactic Acid (PLA). Regarding the methodological procedures, this research is characterized as exploratory. The results show a uniform material, with changes in color and texture according to the addition of açaí waste. The research permeates principles of sustainable development, notions about design and materials, possibilities of using waste as raw material and contributions of design to the Amazon territory.

Keywords: biodiversity; composites; materials and processes; açaí residues; sustainability.

Data de submissão: 14 de outubro de 2024

Data de aprovação: 01 de novembro de 2024

1 INTRODUÇÃO

A consciência sobre o esgotamento de recursos naturais tem sustentado a necessidade de se repensar o desenvolvimento e as atividades econômicas em diferentes setores da sociedade, entre elas aquelas atreladas à criação de novos produtos. A utilização de resíduos como matéria-prima surge como uma contribuição para a inserção desses materiais no ciclo produtivo, capaz de potencializar um ganho econômico, ambiental, social e cultural

Através de escolhas feitas na etapa de projeto, os designers colaboram para garantir que haja um aproveitamento adequado dos resíduos, que sejam criados ciclos técnicos ou biológicos com a matéria prima. Ao pensar em modelos de produção e processos produtivos circular, os designers colaboram com oportunidades econômicas a partir de recursos naturais

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, laurocohenn@gmail.com

² Universidade do Estado de Minas Gerais, eliane.ayres.pu@gmail.com

da região, preservando ao mesmo tempo a manutenção dos ecossistemas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2022).

Dentre as espécies mais promissoras na Amazônia está o açaí (*Euterpe Oleracea Mart.*). Após a popularização do fruto em território nacional e internacional, a cadeia produtiva tornou-se uma das mais importantes da região Norte. O fruto possui uma importância alimentar, econômica e cultural muito importante para a região, entretanto, o consumo é responsável pela alta produção de resíduos, que em muitas situações são descartados de forma irregular nas áreas urbanas da região.

A proximidade com o conhecimento e manipulação dos materiais permite aos designers o controle de fabricação de seus próprios projetos, com a capacidade de projetar a partir de critérios de sustentabilidade e quebrar uma barreira na exploração de novos recursos (BAK-ANDERSEN, 2021). A manipulação prática e a vivência em laboratórios fornecem informações técnicas e experimentais que são essenciais para um projeto de um produto, capazes de serem traduzidas em diferentes aspectos.

Dessa maneira, o artigo relata as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de açaí para o desenvolvimento de materiais compósitos com Poliláctico (PLA), termoplástico biodegradável proveniente de fontes renováveis, como milho ou mandioca e menor dependência de matéria prima fóssil (LYN *et al.*, 2024). A literatura científica sobre o PLA e alternativas para desenvolvimento de compósitos cresceu exponencialmente nas últimas décadas.

O estudo em questão tem como objetivo trazer um exemplo de investigação realizada com matérias-primas alternativas, fornecer referências para esforços de Design em contextos análogos e refletir potenciais melhorias para experiências. Quanto aos procedimentos metodológicos, a pesquisa é caracterizada como exploratória. O processo experimental para o desenvolvimento dos novos materiais com os resíduos de açaí teve como base o método *Material Driven Design* (MDD) e uma adaptação do método Ma2e4, para que os pesquisadores tivessem a oportunidade de fazer uma avaliação a nível interpretativo.

1.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS

O termo desenvolvimento sustentável foi introduzido pela primeira vez em 1987, na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU). É definido como “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias

necessidades” (WCED, 1987). Para atender às demandas atuais, em 2015, uma Assembleia Geral convocada pela ONU resultou no documento intitulado “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, seguindo uma estrutura com 17 objetivos.

Segundo a Organização Mundial do Design, o processo de design com foco nos usuários e no ambiente pode fornecer uma perspectiva inovadora para os desafios da Agenda 2030. A organização identifica como relevante a atuação do designer nos ODS 3 - Boa saúde e bem-estar; ODS 6 - Água limpa e saneamento; ODS 7 - Energia acessível e limpa; ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura; ODS 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; ODS 12 - Consumo e produção responsáveis; ODS 17 - Parcerias em prol das metas (WDO, 2020).

A região amazônica abriga uma grande biodiversidade com conhecimento tradicional profundamente atrelado à gestão de recursos naturais. Entretanto, espaços desse território estão se tornando cada vez mais urbanos, com a crescente demanda de serviços básicos, dentre eles a gestão de resíduos (PAES; CAMPOS-SILVA; OLIVEIRA, 2021). Nesse caso, os princípios da economia circular são essenciais para a mudança do cenário descrito. Destaca-se a necessidade de eliminar resíduos e poluição para reduzir as ameaças à biodiversidade e circular produtos e materiais. A contribuição não é apenas teórica, sendo possível identificar oportunidades; colaboração entre as cadeias de valor e áreas de conhecimento diferentes, para desenvolver soluções inovadoras (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

Grande parte dos ditos novos materiais são provenientes da combinação de duas as mais matérias-primas, com o objetivo de maximizar suas propriedades e minimizar suas falhas. Esses materiais, durante o seu processo produtivo, são denominados de compósitos. Inicialmente foram desenvolvidos como materiais leves para a indústria aeroespacial, mas atualmente são aproveitados para uma grande variedade de produtos. Materiais comumente usados em compósitos são de origem mineral, vegetal e animal (GOMES FILHO, 2020).

O método *Material Driven Design* (MDD), é uma ferramenta que tem como propósito projetar com base nas experiências e desenvolvimento de materiais. Um dos seus objetivos é trazer o material para o centro do projeto, para que a prática de projeto seja guiada pelo desenvolvimento do material. A partir do desenvolvimento de um novo material, no processo do MDD, o designer será capaz de compreender técnicas ou processos de fabricação distintos (KARANA *et al.*, 2015). O Ma2E4 é um conjunto de ferramentas que tem como objetivo auxiliar os designer e pesquisadores na compreensão de como as pessoas avaliam um

determinado material em quatro níveis experienciais diferentes: sensorial e interpretativo, por meio de significados (CAMERA; KARANA, 2018).

1.2 AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.)

O açazeiro, Figura 01a, é uma palmeira típica da região amazônica, da qual se obtém o fruto do açaí, Figura 01b. Ocorre espontaneamente em todos os estados do território, comuns em terrenos de várzeas, igapós (terrenos constantemente inundados) e terra firme. Açaí é um termo de origem tupi (yassa”y) e que significa “palmeira de água” (NOGUEIRA *et al.*, 1995).

Atualmente, a indústria do açaí é uma das mais importantes fontes econômicas para a região. Um levantamento demonstra que em 2023, foram produzidas 238.891 toneladas do fruto, sendo o estado do Pará o maior produtor (167.625 toneladas), seguido pelo Amazonas (43.877 toneladas). Em valor de produção, no ano, as atividades produtivas movimentaram aproximadamente 853.147 mil reais (IBGE, 2024).

A principal desvantagem da cadeia produtiva está na quantidade de resíduos de biomassa, composta pelo caroço, fibras (que revestem o caroço) e borra do processamento da polpa. A quantidade de resíduos gerados varia de 71% a 95% da massa processada do fruto (BUFALINO *et al.*, 2018). Os resíduos são acumulados em depósitos, dispostos em frente aos estabelecimentos comerciais de açaí ou em áreas periféricas, o que acentua a poluição urbana, conforme Figura 1.

Figura 1 — Resíduos de açaí em contexto urbano



Fonte: Autores, 2024.

Em estudo prévio, foi constatado que a importância da cadeia produtiva é reforçada pela viabilidade e utilização de seus subprodutos para outras atividades. Entretanto, a ausência de estudos em Design direciona as investigações para o foco em parâmetros técnicos do material (COHEN; AYRES, 2021). Em colaboração a essa conclusão, Santos e Noronha (2021) expõem uma análise, na qual demonstram que as pesquisas para o reaproveitamento

dos resíduos de açaí não incluem atores externos no desenvolvimento de soluções ou cenários de aplicação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O método empregado no desenvolvimento de materiais é o experimental, com o propósito de testar novas combinações por meio de experimentos em laboratório e avaliar os resultados obtidos. Para a pesquisa em Design, o método experimental é utilizado como ferramenta para visualização de percepções e potenciais aplicações (BAK-ANDERSEN, 2021).

Os materiais foram coletados pelo pesquisador em sacas de material residual, encontradas nas ruas de Belém, geradas pelos estabelecimentos comerciais de despoldamento (popularmente conhecidos por “Casas de Açaí”). Para essa coleta, foi necessário o uso de equipamentos de segurança e uma triagem do material coletado através do uso de um coador, para separação dos resíduos de açaí e outros resíduos encontrados nas sacas.

Os caroços de açaí foram utilizados na investigação para o desenvolvimento de compósitos com poli (ácido láctico) (PLA). O PLA utilizado foi o filamento do fabricante 3D Fila (Minas Gerais - Brasil), com diâmetro de 1,75 mm e temperatura de processamento entre 185 - 220 °C. Para o desenvolvimento dos compósitos de foram investigadas possibilidades utilizando o caroço em pó como material de reforço, processados com Polietilenoglicol (PEG) em uma manta térmica, com o propósito de dispersar a carga e obter um material homogêneo.

O processamento dos compósitos de PLA/Caroço de açaí, iniciou com a moagem dos caroços em moinho de batelada (IKA modelo A10) para posterior peneiramento em peneira de 325 *mesh*, para adquirir um controle na granulometria. Em seguida, foi feita a mistura do pó com PEG em uma manta aquecedora, em temperatura de 60 °C. Após esse processo, o material foi resfriado em temperatura ambiente e triturado novamente no moinho de facas.

Em seguida, foi novamente feito o peneiramento, em peneira de 100 *mesh*. Ao fim da etapa, foi realizado o processamento em extrusora Filmaq3D STD, a uma temperatura de 185 °C, em velocidade de extrusão de 3 rpm. Os filamentos obtidos foram peletizados e prensados em prensa hidráulica por 10 min, 200 °C sobre pressão de 5,5 t.

Os materiais foram nomeados, de acordo com o teor de PEG e a proporção de resíduo. Dentro dessas proporções, foram avaliadas cinco possibilidades de composição com PLA, em duas proporções diferentes (90/10 e 80/20). Ao todo, foram elaboradas cinco amostras para as possibilidades relatadas, conforme Tabela 01.

Tabela 1 — Tabela com as amostras PLA/Caroço de açaí processadas

90% PLA + 10% PEG/CAROÇO	25 (25% CAROÇO / 75% PEG)
	50 (50% CAROÇO / 50% PEG)
	75 (75% CAROÇO / 25% PEG)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO	25 (25% CAROÇO / 75% PEG)
	50 (50% CAROÇO / 50% PEG)

Fonte: Autores, 2024.

O processo experimental para investigação de materiais com resíduos de açaí teve como base o método *Material Driven Design* (MDD). Proposto por Karana *et al.* (2015), tem como foco a aplicação da etapa denominada “Compreendendo os materiais”, para avaliar os resultados de processamento, caracterizações e *insights* de desenvolvimento.

Para avaliar a variação de cor nos compósitos, conforme foi aumentada a porcentagem de caroço de açaí na mistura, foi realizada a caracterização por meio da colorimetria pelo sistema de coordenadas CIELab. Neste teste, a luminosidade (L^*), as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) e a variação total da cor (ΔE^*), em relação ao padrão (PLA branco), foram determinadas com auxílio do espectrofotômetro Konica Minolta 600 D. As medidas foram realizadas em cinco pontos diferentes de cada amostra. Como resultados, são apresentados os valores das médias dos cinco pontos das amostras, com os respectivos desvios padrão exportados pelo software *Excel*.

Por fim, foi feita uma adaptação do método Ma2E4, apresentado por Camere e Karana (2018), para que os pesquisadores tivessem a oportunidade de fazer uma avaliação a nível sensorial e interpretativo junto com os resultados de caracterizações técnicas. Foi adaptado o esquema com características específicas e seus opostos, no qual 0 é um ponto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de experimentação com os materiais iniciou-se com a obtenção dos resíduos de açaí e os tratamentos iniciais de limpeza, para destrinchar os materiais que compõem os resíduos, conforme Figura 2. Parte do método foi intuitivo devido a ausência de um protocolo para manipulação dos subprodutos da cadeia produtiva do açaí, com o objetivo de processar em novas matérias-primas. Com base no método MDD, essa é uma oportunidade para que o designer avalie critérios para sustentabilidade do processo e conduza o

processamento e gere *insights* de acordo com questões relevantes para pesquisa no desenvolvimento de materiais (KARANA *et al.*, 2015).

Figura 2 — Resíduos misturados, caroço de açaí, fibra e borra - respectivamente



Fonte: Autores, 2024.

Nesse processo, foi utilizado água corrente e peneira de Nylon, com o propósito de separação das borras de açaí. Após secagem, em temperatura ambiente, foi feita a separação manual das fibras e dos caroços. Durante esse processo, o atrito promovido pela peneira facilitou a remoção das fibras. Uma das alternativas, para evitar o trabalho manual, seria inserir os caroços com as fibras em moinho de batelada. Entretanto, o pesquisador que conduziu os experimentos optou pela separação de forma manual, para evitar o consumo de energia elétrica e a contaminação das fibras com os caroços.

Um dos objetivos da investigação de compósitos PLA/Caroço de açaí, foi obter um material uniforme e homogêneo. Tornou-se necessária a trituração dos caroços e posterior peneiração, para a obtenção de um pó uniforme. A Figura 3, ilustra esse processo, em que são apresentados os caroços antes dos processos de moagem e peneiramento, e após esses processos. Durante esse processo, o material adquiriu um odor amadeirado e cor alaranjada em tom terroso.

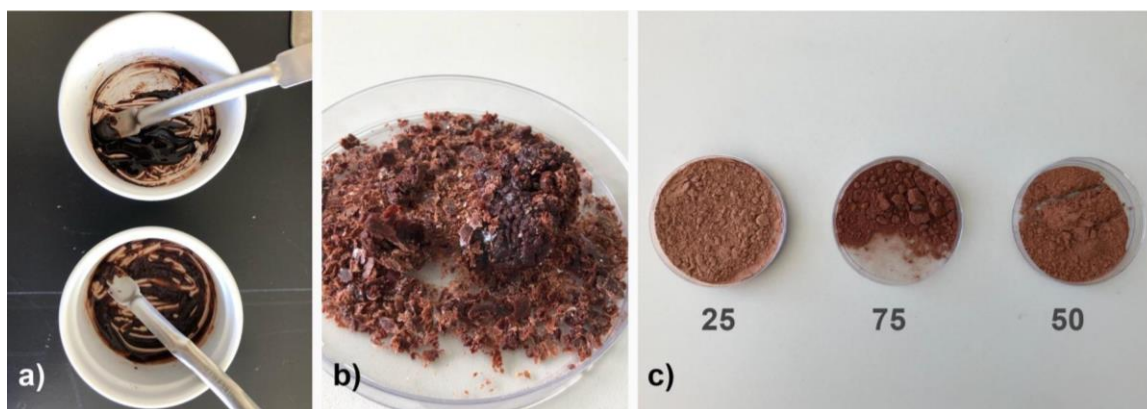
Figura 3 — Processo de moagem do caroço de açaí



Fonte: Autores, 2024.

Após essa etapa, iniciou-se a mistura dos caroços com PEG utilizando aquecimento com auxílio de manta térmica, Figura 4a, e posterior secagem em temperatura ambiente. Esse processo inicial teve como resultado um material com aspecto rígido, Figura 4b, o que permitiu que o material fosse triturado e peneirado novamente, para garantir um controle no processamento com PLA. Foram elaboradas composições de **25** (25% Caroço + 75% PEG); **75** (75% Caroço + 25% PEG) e **50** (50% Caroço + 50% PEG), conforme Figura 4c.

Figura 4 — Processo de moagem do caroço de açai



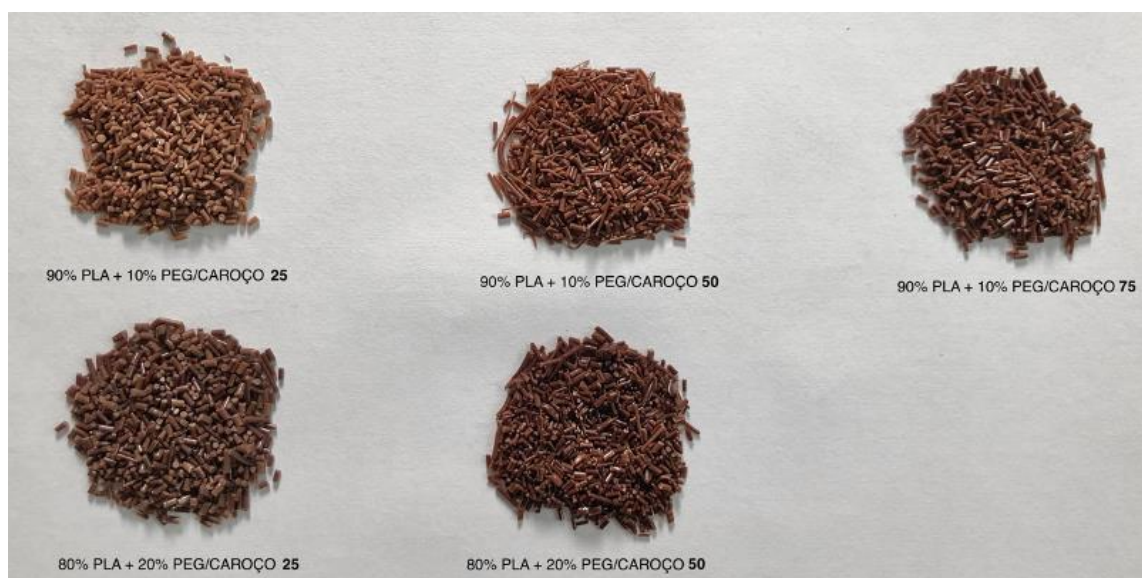
Fonte: Autores, 2024.

A uniformidade dos caroços facilitou a obtenção de um material homogêneo, ao contrário das fibras. Uma característica interessante frente aos resultados da mistura de PEG com pó é a variação de cores, remetendo à cor do caroço após a trituração inicial em diferentes tonalidades. Além disso, a matéria-prima continuou com um odor amadeirado após o processamento com PEG, perdendo essa característica somente após a formação do compósito com PLA. Estima-se que a temperatura de processamento em extrusora pode ser sido um dos motivos para perda dessa propriedade.

Em alguns casos, o odor dos resíduos agroindustriais é considerado uma característica de repulsa para consumidores, por dúvidas quanto à procedência e durabilidade. A presente questão por vezes limita o potencial dos resíduos na substituição de materiais convencionais e provenientes de combustíveis fósseis. Para além da temperatura de processamento, outros fatores podem ser aplicados para eliminação dessa característica, como tratamento alcalino para remoção de componentes lignocelulósicos (LI *et al.*, 2023). Para o presente experimento, foi obtido o uso do resíduos *in natura* para evitar o uso de produtos químicos e eventual contaminação com seus subprodutos.

A Figura 5 apresenta os resultados do processamento do compósito na extrusora. Após a mistura e peletização, percebe-se que os materiais permaneceram com a variação de cores conforme foi adicionada uma carga maior de pó de caroço/PEG. O processamento na extrusora deu origem a materiais uniformes, o que permitiu a obtenção de pellets homogêneos para a posterior etapa de prensagem.

Figura 5 — Resultado do processamento na extrusora

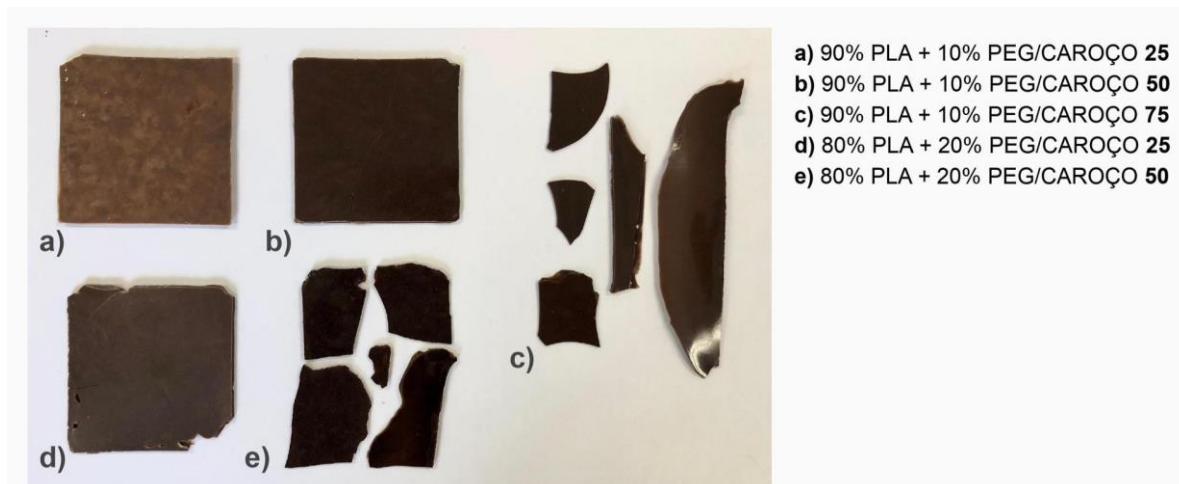


Fonte: Autores, 2024.

Os resultados do processamento final dos compósitos de PLA/Caroço de açaí, Figura 6, apresentam materiais sólidos sem textura aparente. Após o processo de prensagem, a variação de cores ainda continuou presente. Entretanto, o processo de resfriamento do material comprometeu a estrutura de algumas amostras. Conforme a porcentagem de PEG e caroço de açaí foi aumentando no compósito, a matéria-prima desenvolvida apresentou dificuldade de manter sua forma após a prensagem. Sendo assim, considera-se a necessidade

um protocolo específico para processos térmicos de moldagem. Ao contrário do processo adotado para extrusão dos compósitos, que não apresentou danos à sua formação.

Figura 6 — Resultado do processamento de PLA, PEG e os caroços de açaí na prensa



Fonte: Autores, 2024.

Um dos desafios nas técnicas de extrusão e prensagem de compósitos foi o controle das suas propriedades, para evitar que os materiais viessem a degradar. A extrusão é um processo movido a energia térmica, e a qualidade da ligação e a estabilidade da estrutura dependem do calor fornecido pelo equipamento na fase de processamento (HUSEYNOV *et al.*, 2024). A temperatura está entre as variáveis de processo mais significativas, que impactam diretamente as propriedades dos componentes.

Na presente pesquisa, o equipamento utilizado para processar o compósito de PLA e Caróço de açaí permitiu um controle preciso sobre o calor fornecido aos materiais no fluxo de processamento. A extrusora de filamento lida com escoamento e retração facilmente, e há apenas uma região de calor para monitorar. Pequenas modificações nas taxas de fluxo são necessárias para um novo material, em comparação com várias regiões de calor em uma prensa térmica (PATEL; TAIFIK, 2024).

Um dos fatores decisivos para a escolha deste processo produtivo foi que em comparação com técnicas convencionais, como fundição por solvente, a extrusão oferece vantagens em escalabilidade e sustentabilidade ambiental, especialmente para produção em escala industrial (LYN *et al.*, 2024). Esse cenário reforça a importância de pesquisas e relatos com diferentes resultados, para mapeamento de técnicas e procedimentos por outros pesquisadores.

Na literatura, encontram-se exemplos de pesquisas em que o acréscimo de cargas em compósitos de PLA promoveu uma variação na cor do polímero. O uso de óleos essenciais de

Tomilho e Curry como plastificantes auxiliam na alteração da variação de cores dos compósitos, além de atribuir características como a transparência em filmes, opacidade em filamentos e alteração nas características físicas (ZABIDI *et al.*, 2022).

Outro exemplo é o da inserção de proteína de soja como agente modificador da cor no PLA, deixando-o com um aspecto amarelado. Essa característica é atribuída à cor em tom de bege da proteína de soja, sendo a alteração na cor intensificada com a adição de plastificante (MORAIS *et al.*, 2022). No caso dos compósitos PLA/caroço de açaí, de acordo com a Tabela 04, o ΔE^* (variação total da cor) aumenta quando se adiciona mais pó de caroço à matriz, o que torna o material mais escuro em relação ao PLA branco.

Tabela 2 — Coordenadas CIELab e valores de ΔE^* dos compósitos PLA/Caroço de açaí

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 25	-55,89	11,31	2,42	57,08 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 50	-61,47	8	2,64	62,19 (mais escuro)
90% PLA + 10% PEG/CAROÇO 75	-68,26	9,07	2,91	68,79 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 25	-63,58	7,93	3,45	64,17 (mais escuro)
80% PLA + 20% PEG/CAROÇO 50	-71,97	8,15	3,66	72,52 (mais escuro)

Fonte: Autores, 2024.

Mesmo sendo uma variação visível ao longo de todo o processo, o teste de colorimetria expõe números e valores exatos que permitem uma potencial categorização quanto a alteração da propriedade do material, além disso, sendo a cor uma variável de extrema importância para diferentes projetos de design. Outras análises em potencial são a comparação da alteração com outros resíduos agroindustriais em processos similares, ou verificar a alteração na variação total da cor caso alguma etapa do processo descrito na pesquisa seja adaptada.

Conduzir essa investigação através da pesquisa em Design ilustra as possibilidades de avaliar questões estéticas, associações a experiências e corresponder essas perspectivas com testes em laboratórios (KARANA *et al.*, 2015). Como consequência, permite que o designer possa criar visões, projetar aplicações e explorar diferentes visões para os materiais desenvolvidos. Tendo conhecimento, controle e autonomia sobre todo o processo.

Durante a etapa de avaliação sensorial das amostras de PLA/Caroço de açaí, o material desenvolvido pode ser correspondido a uma matéria-prima lisa, opaca, leve, não elástica e

fosca. Após o processamento, apresentou neutralidade quanto à temperatura (quente ou frio). O método Ma2E4, conforme resultado na Figura 7, foi aplicado através de uma autoavaliação para fazer parte de uma representação das percepções iniciais do designer durante a condução dos experimentos.

Figura 7 — Avaliação através do método Ma2E4

avaliação sensorial - PLA/caroço de açai	-2 -1 0 1 2				
	duro	x			
liso	x				áspero
fosco		x			brilhante
não refletivo	x				refletivo
frio			x		quente
não elástico	x				elástico
opaco	x				transparente
resistente	x				dúctil
forte				x	fraco
leve	x				pesado
textura regular		x			textura irregular
fibroso				x	não fibroso

Fonte: Autores, 2024.

Compreende-se que apesar das variações nas proporções dos compósitos de PLA com caroço de açai, a avaliação sensorial das cinco amostras apresentou o mesmo resultado, ao considerar que dentre as 5 amostras, visualmente, houve apenas a variação de cor. Uma expectativa durante os experimentos era de que houvesse alguma alteração superficial dos compósitos, ou que o pó do caroço influenciasse no brilho do compósito. Em um experimento paralelo, verificou-se que os compósitos de PLA com fibras de açai apresentam variação tanto na cor quanto na superfície do material, com aspecto irregular e fibroso (COHEN, 2022).

É importante frisar que o estudo original da ferramenta Ma2E4 foi publicado em língua inglesa, sendo necessária para a presente pesquisa uma tradução livre dos termos, com possível adaptação ao vocabulário brasileiro. Durante esta etapa, levantou-se o questionamento sobre algumas palavras e a necessidade de incluir expressões em uma realidade local.

Destaca-se que no momento da investigação, a categorização de palavras como duro, não elástico e resistente deram-se por conta de percepções iniciais e empíricas, conforme a

proposta do método Ma2E4, que é necessário testes físicos, como ensaios de tração, para avaliar de forma técnica tais propriedades. Além de criar parâmetros comparativos entre as amostras, permite compreender qual proporção de compósito permitiu a melhoria das propriedades do PLA com a adição do caroço de açaí.

Apesar dos benefícios ambientais dos compósitos com resíduos agroindustriais, esses materiais podem não ser bem vistos em comparação a materiais convencionais e estabelecidos comercialmente. Conotações negativas incluem dúvidas sobre qualidade, longevidade e atratividade estética. Dessa forma, a avaliação com a ferramenta representa um direcionamento para avaliar potenciais percepções e experiências com possíveis usuários, sejam eles consumidores finais ou profissionais da área, capazes de contribuir com alternativas ao processamento do compósito de PLA/Caroço de açaí, ou aplicar a matéria-prima em seus projetos. Devido ao caráter experimental da pesquisa, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios.

Ao contextualizar os temas expostos com a Agenda 2030, considera-se que a sua implementação vai depender da capacidade de tornar os objetivos realidade em certos cenários. As alternativas relacionadas ao estudo em Design e Materiais, discutidas e apresentadas como resultado do presente estudo, possuem potencial de contribuir para o Objetivo 12 – Consumo e Produção Responsáveis. O uso do caroço em matérias-primas alternativas promove a redução de resíduos em contextos urbanos, através da reciclagem e uso eficiente de recursos naturais. Para a região amazônica, representa uma oportunidade de atribuir valor a um produto de *commodity* e promover um ambiente de inovação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os procedimentos realizados na presente pesquisa, foram obtidas e desenvolvidas amostras de compósitos com PLA/Caroço de Açaí, o que demonstra a viabilidade de processar os resíduos da cadeia produtiva em novos materiais. Além de atuar como plastificante, o PEG funcionou com um excelente material para facilitar a dispersão das cargas do caroço.

Compreende-se que a eficiência no uso dos resíduos de açaí no desenvolvimento de novos materiais, e potencial aplicação no design de produtos, se dará a partir do avanço das pesquisas que analisem sua estrutura física e caracterização química. Assim como ensaios para verificação das propriedades mecânicas dos compósitos fabricados e testes de processamento para prototipagem de produtos.

Em síntese relacionar a questão do açaí com agendas como a dos ODS, a percepção e a experiência no desenvolvimento de materiais demonstram a relevância para compreender formas criativas e contribuições orientadas à sustentabilidade. Espera-se que as oportunidades e desafios levantados na discussão do artigo possam ser considerados em futuras investigações, ou em pesquisas em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BAK-ANDERSEN, M. **Reintroducing Materials for Sustainable Design: Design Process and Educational Practice**. Routledge: New York, 2021.

BUFALINO, L.; GUIMARÃES, A. A.; SILVA, B. M. S.; SOUZA, R. L. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, D. N. P. S.; TRUGILHO, P. F. Local Variability for Yield and Physical Properties of Açaí Waste and Improvement of its Energetic Attributes by Separation of Lignocellulosic Fibers and Seeds. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 10, 2018.

CAMERE, S.; KARANA, E. Experiential Characterization of Materials: towards a toolkit. *In*: STORNI, C.; LEAHY, K.; MCMAHON, M.; LLOYD, P.; BOHEMIA, E. (Org.) **Design as a catalyst for change - DRS International Conference**. Limerick: Ireland, 2018.

COHEN, L. A. F. P. **Aproveitamento dos resíduos de Açaí (Euterpe oleracea Mart.) para o desenvolvimento de novos materiais e a potencial aplicação no design de produto**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Design), Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

COHEN, L. A. F. P.; AYRES, E. Relações entre design, materiais e a cadeia produtiva do açaí (Euterpe oleracea Mart.). *In*: SIMPÓSIO DE DESIGN SUSTENTÁVEL, 7., 2021, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba, Editora UFPR, 2021. p. 200-211.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **O imperativo da natureza: Como a economia circular enfrenta a perda de biodiversidade**. Ellen MacArthur Foundation: Publicações, 2021.

GOMES FILHO, J. **Design do Objeto: Bases Conceituais**. 2 ed. São Paulo: Escrituras, 2020.

HUSEYNOV, O.; PATTERSON, A. E.; ALI, M. A.; GRUPTA, A.; GUDAVASOV, S.; MAHMUDOV, M. HASANOV, S.; FIDAN, I. Critical review on short fiber-reinforced composite materials manufactured by material extrusion: from thermal perspective. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 10, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção de Extração Vegetal e da Silvicultura: Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produção extrativa**. 2024.

KARANA, E.; BARATI, B.; ROGNOLI, V.; ZEEUW VAN DER LAAN, A. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. **International Journal of Design**, Taiwan, v. 9, n. 2, p. 35 - 54, 2015.

LI, R.; ZHU, X.; PENG, F.; LU, F. Biodegradable, colorless and Odorless PLA/PBAT Bioplastics Incorporated with Corn Stover. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 11, n 24, 2023.

LYN, F. H.; ISMAIL-FITRY, M. R.; NORANIZAN, M. A.; TAN, T. B.; HANANI, Z. A. N. Recent advances in extruded polylactic acid-based composites for food packaging: a review. **International Journal Of Biological Macromolecules**, v. 266, n. 2, 2024.

MORAIS, A. C. L.; SILVA, T. C. P. S.; CASTRO, L. L. R. L.; BARBOSAM R.; ALVES, T. S. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de poli (ácido láctico) e proteína isolada de soja produzidos via extrusão plana. **Revista Matéria**, v. 27, n. 1, 2022.

NOGUEIRA, O. L.; CARVALHO, C. J. R.; MÜLLER, C. H.; GALVÃO, E. U. P.; SILVA, H. M.; RODRIGUES, J. E. L. F.; OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; ROCHA NETO, O. G.; NASCIMENTO, W. M. O.; CALZAVARA, B. B. G. **A cultura do açaí**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1995.

PAES, M. X.; CAMPOS-SILVA, J. V.; OLIVEIRA, J. A. P. Integrating circular economy in urban Amazon. **npj urban sustainability**, v. 1, n. 29, 2021.

PATEL, A.; TAUFIK, M. Extrusion-Based Technology in Additive Manufacturing: a comprehensive review. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 49, 2024.

SANTOS, C. P.; NORONHA, R. G. Pesquisa colaborativa para o aproveitamento de resíduos de açaí em comunidades locais: delimitações da arte. **RELACult – Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 7, n. 4, 2021.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WORLD DESIGN ORGANIZATION - WDO. **United Nations Sustainable Development Goals**. Montreal, Quebec: WDO, 2020.

ZABIDI, N. A.; NAZRI, F.; TAWAKKAL, I. S. M. A.; BASRI, M. S. M.; BASHA, R. K.; OTHMAN, S. H. Characterization of active and pH-sensitive poly (lactic acid) (PLA)/nanofrillated cellulose (NFC) films containing essential oils and anthocyanin for food packaging application. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 212, p. 220-231, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio para o desenvolvimento da pesquisa e ao Centro Design Empresa (CDE) da Universidade do Estado de Minas Gerais pela infraestrutura para realização dos experimentos.