

CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS SUSTENTÁVEIS DE PET RECICLADO E FIBRAS DE COCOS NUCIFERA TRATADOS COM ADIÇÃO DE NANOTUBOS DE CARBONO

CHARACTERIZATION OF SUSTAINABLE COMPOSITES FROM RECYCLED PET AND COCOS NUCIFERA FIBERS TREATED WITH THE ADDITION OF CARBON NANOTUBES

CARACTERIZACIÓN DE COMPOSITES SOSTENIBLES A PARTIR DE FIBRAS RECICLADAS DE PET Y COCOS NUCIFERA TRATADAS CON LA ADICIÓN DE NANOTUBOS DE CARBONO

Adalberto Gomes de Miranda¹, Shelem Lima Maklouf², Adailza Aparicio de Miranda³, Renato Moreira Teixeira Junior⁴, Woddley Taffarel Amâncio da Silva⁵, Willian Santos de Souza⁶, Edvam de Oliveira Nunes⁷, Amanda Félix Nunes⁸, Antônio Estanislau Sanches⁹, Roger Hoel Bello¹⁰

DOI: 10.54899/dcs.v23i87.4681

Recibido: 19/01/2026 | Aceptado: 12/02/2026 | Publicación en línea: 20/02/2026.

RESUMO

Este trabalho de pesquisa é um estudo sobre o aproveitamento sustentável de fibras do tronco de *cocos nucifera* (FTCN) e do material Polietileno tereftalato (PET) reciclado, utilizados na produção de materiais compósitos, com e sem adição de Nanotubos de Carbono (NTC), que interessam para empresas e indústrias. O estudo contribuiu para a Educação Ambiental (EA), sobre a sustentabilidade de resíduos sólidos, nas práticas docentes, acadêmicos e discentes de ensino médio. A caracterização foi realizada nos compósitos de fibras de *cocos nucifera* (conhecidos por coqueiro) tratadas e de PET reciclado, produzindo amostras que foram comparadas ao compósito produzido com adição de NTC. O objetivo geral foi caracterizar os

¹ Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, São Paulo, Brasil. E-mail: agmiranda@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7918-0064>

² Bacharel em Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: shelemmaklouf@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-6026-8757>

³ Mestranda em Ciências da Educação, Facultad Interamericana de Ciencias Sociales (FICS), Iranduba, Amazonas, Brasil. E-mail: izaaparicio777@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2766-6270>

⁴ Bacharel em Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: renato_moreirat@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1930-6600>

⁵ Bacharelando em Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: wtads.emt19@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-4999-7220>

⁶ Bacharelando em Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: wsds.emt21@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-5506-9624>

⁷ Doutor em Física, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: enunes@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-1964-2521>

⁸ Mestranda em Matemática, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: amanda.felix@prof.am.gov.br Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-9283-5745>

⁹ Doutor em Aplicações, Planejamento e Estudos Militares, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (ECEME), Urca, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: asanches@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8751-1601>

¹⁰ Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. E-mail: rhbello@uea.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3044-2048>

compósitos formados por fibras de *cocos nucifera* e de PET reciclado e granulado. Os métodos foram de análise das fibras do coqueiro e do PET reciclado, de cada amostra das Fibras de coqueiro e de PET, as quais foram moídas em moinho nas quantidades específicas de cada amostra. Foram utilizados grânulos de Polipropileno (PP) moídos, como reforço no PET, com as três combinações destas amostras na melhoria da produção do compósito. Os pós de cada amostra foram calculados em percentuais de massa na proporção dos compósitos, juntando às amostras e adicionando em cada amostra de compósito, 1,0 g de NTC, depois comparando os compósitos produzidos, sem NTC e com NTC, para finalmente, caracterizar os compósitos nos equipamentos eletrônicos para análises dos compósitos. Os corpos de prova produzidos das amostras foram submetidos a ensaios de tração, análises e obtenção de dados com resultados gráficos.

Palavras-chave: Fibras dos Cocos Nucifera. Polietileno Tereftalato. Polipropileno. Nanotubo de Carbono. Nanocompósitos.

ABSTRACT

This research work is a study on the sustainable use of fibers from the trunk of *Cocos nucifera* (FTCN) and recycled polyethylene terephthalate (PET), used in the production of composite materials, with and without the addition of carbon nanotubes (CNTs), which are of interest to companies and industries. The study contributed to Environmental Education (EE) on the sustainability of solid waste in teaching practices, academics, and high school students. The characterization was carried out on composites of treated *Cocos nucifera* fibers (known as coconut palm) and recycled PET, producing samples that were compared to the composite produced with the addition of CNTs. The general objective was to characterize the composites formed by *Cocos nucifera* fibers and recycled and granulated PET. The methods consisted of analysis of coconut fibers and recycled PET, of each sample of coconut fibers and PET, which were ground in a mill in specific quantities for each sample. Ground polypropylene (PP) granules were used as reinforcement in PET, with three combinations of these samples aimed at improving composite production. The powders of each sample were calculated as mass percentages in the proportion of the composites, adding 1.0 g of carbon nanotubes (CNTs) to each composite sample. The composites produced, without and with CNTs, were then compared to finally characterize the composites using electronic equipment for composite analysis. The specimens produced from the samples were subjected to tensile tests, analyses, and data acquisition with graphical results.

Keywords: *Cocos Nucifera* Fibers. Polyethylene Terephthalate. Polypropylene. Carbon Nanotubes. Nanocomposites.

RESUMEN

Este trabajo de investigación es un estudio sobre el uso sostenible de fibras del tronco de *Cocos nucifera* (FTCN) y tereftalato de polietileno (PET) reciclado, utilizado en la producción de materiales compuestos, con y sin la adición de nanotubos de carbono (NTC), que son de interés para empresas e industrias. El estudio contribuyó a la Educación Ambiental (EA) sobre la sostenibilidad de los residuos sólidos en las prácticas docentes, académicas y estudiantes de secundaria. La caracterización se realizó en compuestos de fibras tratadas de *Cocos nucifera* (conocida como palma de coco) y PET reciclado, produciendo muestras que se compararon con el compuesto producido con la adición de NTC. El objetivo general fue caracterizar los

compuestos formados por fibras de Cocos nucifera y PET reciclado y granulado. Los métodos consistieron en análisis de fibras de coco y PET reciclado, de cada muestra de fibras de coco y PET, que se molieron en un molino en cantidades específicas para cada muestra. Se utilizaron gránulos molidos de polipropileno (PP) como refuerzo en PET, con tres combinaciones de estas muestras destinadas a mejorar la producción de compuestos. Los polvos de cada muestra se calcularon como porcentajes de masa en la proporción de los compuestos, añadiendo 1,0 g de nanotubos de carbono (NTC) a cada muestra. Los compuestos producidos, con y sin NTC, se compararon para su caracterización mediante equipos electrónicos de análisis. Las muestras producidas se sometieron a ensayos de tracción, análisis y adquisición de datos con resultados gráficos.

Palabras clave: Fibras de Cocos Nucifera. Tereftalato de Polietileno. Polipropileno. Nanotubos de Carbono. Nanocompuestos.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

Este trabalho de pesquisa é um estudo sobre o aproveitamento de forma sustentável das Fibras do tronco de *cocos nucifera* (FTCN), da família *Arecaceae*, tratadas para produção de materiais compósitos com PET e PP, e depois adição de NTC, assim como da Educação Ambiental (EA) como prática docente e acadêmicos, no ensino sobre a sustentabilidade para alunos do ensino médio.

Atualmente, o pensamento mundial está voltado para a sustentabilidade, considerando a minimização ou o aproveitamento de resíduos gerados nos diversos processos industriais existentes. Esta prática sugere às empresas a adoção de métodos que possibilitem a execução de suas atividades industriais sem prejudicar o meio ambiente, além de contribuir para o desenvolvimento humano e crescimento econômico. A base está na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, que instituiu a PNRS, o principal marco ao estabelecer a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e incentivo do aproveitamento de resíduos sólidos, da redução de geração de lixo e da adoção de estratégias sustentáveis (BRASIL, 2010).

O aproveitamento dos resíduos de que trata este trabalho de pesquisa, são de duas formas: Uma pela coleta de troncos da palmeira *cocos nucifera* que foram cortados e deixados no solo e a outra pela coleta de materiais PET, que foram descartados no meio ambiente. Os troncos de

coqueiros (*cocos nucífera*) cortados e deixados no solo, devido a contaminação de larvas que prejudicaram os caules das palmeiras e que contaminaram a área do plantio, podem ser aproveitados para extração das fibras do tronco que são resistentes e duráveis, possibilitando passar por um tratamento de purificação das fibras e processos de lavagem, secagem e moagem para utilização como material compósito. Os materiais PET, tais como garrafas, embalagens plásticas, dentre outros que foram descartados no meio ambiente, podem ser coletados, tratados, moídos em grânulos, com a finalidade de juntar com outros tipos materiais compatíveis para a produção de material compósito. Contudo, existem empresas que tratam o PET, moem em grânulos e fornecem as quantidades solicitadas para pesquisas ou produções industriais, já embaladas para uso.

A pesquisa também utilizou um terceiro material, o polipropileno (PP), como reforço no PET, sendo um compósito polimérico, visando a melhoria das propriedades mecânicas específicas, facilitando o processamento e reduzindo os custos. Ao adicionar o PP permite a resistência ao impacto (tenacidade), tornando o composto menos propenso a quebras no momento do impacto. Entretanto, devido a imiscibilidade entre PP e PET, torna-se necessário a adição de agentes compatibilizantes para a eficácia da união das duas fases e proporcionar a melhoria das propriedades mecânicas, tais como o anidrido maleico.

Com o objetivo de analisar comparativamente, o material compósito produzido, foi utilizado um quarto material chamado de Nanotubos de Carbono (NTC), adicionado como reforço na matriz do material compósito FTCN+PET+PP produzido e que agora é denominado de material compósito FTCN+PET+PP com NTC.

Como parte do projeto de extensão da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), a contribuição da Educação Ambiental (EA) nesta pesquisa foi pela apresentação de todo o trabalho no Colégio Estadual Pedro II, localizado no Centro de Manaus, Amazonas, à alunos de 3º anos do ensino médio, como prática do docente no ensino sobre a sustentabilidade.

O objetivo geral foi o de caracterizar os compósitos formados por fibras de troncos de *cocos nucífera* (FTCN) e das partículas granuladas de PET reciclado e reforçado com PP. Os objetivos específicos foram os de preparar cada amostra de fibras de coqueiro e de PET para o material compósito, moer em moinho em quantidades específicas de cada amostra de fibras de coqueiro, de PET e de PP; adicionar o material PP ao PET, com adição a partir de 1% de anidrido maleico (AM); adicionar ao compósito polimérico formado (PP e PET) as fibras de coqueiro; adicionar na outra amostra do compósito produzido 1,0 g de NTC (Nanotubo de Carbono);

comparar os compósitos produzidos sem NTC e com NTC; realizar nas amostras moídas os percentuais de massa nas quantidades dos compósitos; unir as amostras por percentuais das massas para produzir os compósitos; caracterizar os compósitos produzidos; e realizar ensaios de Tração com Corpos de Prova (CP).

A justificativa deste trabalho de pesquisa refere ao aproveitamento de resíduos sólidos, como de troncos de coqueiros que foram cortados, devido a contaminação por insetos e descartados no meio ambiente, bem como ao aproveitamento de materiais PET, que também são encontrados no meio ambiente, na forma de garrafas PET, vasilhas plásticas e outros materiais de mesma composição, para serem reciclados, tratados e transformados em grânulos pelas empresas, com a finalidade de contribuir com a sustentabilidade e atender a Educação Ambiental (EA), nas práticas de docentes, de acadêmicos e de alunos do ensino médio, como um papel fundamental na conscientização da preservação ambiental, proporcionando as boas práticas como exemplos para as gerações futuras. A produção destes novos materiais compósitos contribui como inovação tecnológica para a indústria e a sociedade.

REFERENCIAL TEÓRICO

O coqueiro (*cocos nucifera*) é um membro da família *Arecaceae* (família das palmeiras). O tronco pode chegar a altura de 30m, podendo ter um diâmetro entre 30 e 50cm e na copa da árvore possui uma coroa de folhas. A produção dos frutos (cocos) é contínua, apresentando formato entre 15 e 20cm de diâmetro. A palmeira *cocos nucifera* é conhecida no mundo como árvore vital para a humanidade, devido a produção dos cocos (Rocha, 2022).

Segundo Mathai (2005), em decorrência das múltiplas possibilidades de utilização de todas as suas partes, o coqueiro é conhecido em muitos países como árvore de vida, pois além de ser um alimento com ricas propriedades nutritivas e de alto potencial comercial, o aproveitamento de seus resíduos (casca fibrosa) pode gerar ganho de valores, com produtos de propriedades ecológicas e, ainda, contemplar atividades capazes de eliminar o descarte de resíduos no meio ambiente.

A Amazônia tem uma grande diversidade de espécies de plantas que tem potenciais para produzir fibras com características físicas e mecânicas para serem utilizadas em materiais compósitos. E as fibras vegetais possuem menor densidade do que as fibras sintéticas e causam menor desgaste nos equipamentos de processamento de compósitos (Mattoso *et al*, 1996). Essas

fibras, como as do coco, são utilizadas no reforço em matrizes poliméricas.

O conceito de Polímeros, segundo Canevarolo Jr (2006, p.21), origina-se da palavra *pohero* do grego poli (muitos) e *mero* (unidade de repetição). O *pohero* refere-se a uma macromolécula, a qual é composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetições chamadas de *meros*, e que são ligadas através de ligação covalente. A matéria-prima da produção do *pohero* é o monômero, sendo uma molécula com *mono*. Conforme o tipo de monômero, em sua estrutura química, bem como do número médio de *meros* por cadeia e tipo de ligação covalente, os polímeros se dividem em três classes: os Plásticos, as Borrachas e as Fibras. Resumindo o conceito de polímeros, significa dizer que são macromoléculas formadas pela união química de um grande número de unidades estruturais menores (os monômeros).

O Polietileno tereftalato, ou PET, é um polímero termoplástico patenteado em 1941 por dois químicos britânicos, John Rex Whinfield e James Tennant Dickson. É um poliéster e possui propriedades termoplásticas. A produção do Polietileno ocorre em duas etapas: pré-polimerização e a policondensação, em que a primeira etapa corresponde a fabricação do oligômero tereftalato de bis(2-hidroxietileno), BHET, a partir de duas rotas, e a policondensação é a responsável pela produção do PET (Wikipédia, 2017).

O polipropileno (PP) ou polipropeno é um polímero termoplástico, produzido por meio de polimerização e adição de monômero propileno. A plimerização do propileno foi realizada em 1951, pelos químicos Phillips Petroleum, J. Paul Hogan e Robert Banks, transformando o propileno em sólido branco, à baixa pressão, sendo o primeiro polipropileno cristalino de alta densidade. E sua descoberta ocorreu em 1954, através de Giulio Natta que utilizou catalisadores gerados por Karl Ziegler, sintetizando o polipropileno isotático e cristalino (Wikipédia, 2017).

O polipropileno (PP), chamado polipropeno, é um polímero termoplástico classificado como *commodity* e derivado de propileno ou propeno, contribuindo para moldagem a temperaturas elevadas. As suas propriedades térmicas, químicas ou elétricas apresentam-se bem equilibradas. Os dados da Omnexius, plataforma de inteligência para os setores de plásticos, registrou que o PP está na segunda posição mundial de polímeros produzidos, depois do PET, com 56 milhões/ton.métricas em 2021, e projeção de 83 milhões/ton até 2025, com um crescimento anual de 5,85% (PLÁSTICO INDUSTRIAL, 2021, p.20).

A adição de anidrido maleico (MA) ao PP, como compatibilizante em temperaturas diferentes (preferencialmente em temperaturas mais elevadas) e específicas aos materiais compósitos e/ou poliméricos, proporciona a melhoria no módulo de elasticidade, tensão máxima

de ruptura e resistência à absorção de água. Os efeitos na morfologia dos compósitos foram de forma mais homogêneas, devido a adição do agente de acoplamento, o MA. Quando utilizados os materiais compósitos PP+Fibra de coco picotada e o agente de acoplamento MA, contribuíram para bons resultados que indicaram uma intensidade necessária de misturas, que mesmo com pequena influência na fragmentação e desfibramento da fibra, possibilitou um estreitamento da curva de distribuição no tamanho dos grãos, bem como, manteve as propriedades de resistência e módulo de elasticidade dos compósitos com pouca alteração, mas, sobre tudo, proporcionou a melhoria das propriedades de resistência à tração, devido interação entre matriz polimérica e fibra de coco, alcançadas pela adição do agente compatibilizante (MA) que nesse caso (nesse processo) foi de um teor mínimo de 4% (Pisano, 2018, p.62).

Na reciclagem e utilização dos polímeros PET e PP, a padronização e identificação dentre vários tipos de resinas termoplásticas para fins de fabricação de embalagens e acondicionamentos plásticos, auxiliando na posterior reciclagem do material, os símbolos de reciclagem de polímeros estão previstos na norma ABNT NBR 13230:2008 (ABNT, 2008).

Os polímeros PET são “plásticos transparentes, inquebráveis, impermeáveis e leves, podendo ser utilizados, principalmente, na fabricação de garrafas de água mineral e refrigerantes, embalagens para produtos alimentícios, como óleos e sucos, limpeza, cosméticos e farmacêuticos, dentre outros”. Os polímeros PP são “plásticos que conservam o aroma e são resistentes a mudanças de temperatura, brilhantes, rígidos e inquebráveis, podendo ser usados em várias formas de plásticos (ABNT, 2008).

Os símbolos e numerações representativos da reciclagem das resinas termoplásticas PET e PP, NBR13230 (ABNT, 2008, p.1-2) são os seguintes:

Figura 1 - símbolos e numerações representativos da reciclagem das resinas termoplásticas PET e PP

1 = Poli (tereftalato de etileno);

5 = Polipropileno.



Fonte: dos autores

A conscientização da preservação do meio ambiente está na realização de ações e palavras, contribuindo para o meio ambiente saudável, em que o ser humano viva o tempo presente, incluindo as gerações futuras, dando bons exemplos na proteção ambiental e na contribuição com a sustentabilidade. A educação ambiental neste contexto, desempenha um papel

fundamental na conscientização da preservação ambiental, proporcionando a formação de uma sociedade responsável (Souza & Garcia, 2021).

Segundo a WCED (1987, p.43), o Relatório Brundtland, de 20 de março de 1987, o relatório foi intitulado “Nosso futuro comum”, publicado pela *World Commission on Environment and Development* (WCED), da Organização das Nações Unidas (ONU), em que a WCED traduzida em português significa Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), define sustentabilidade como um conceito multifacetado, podendo ser definida de várias formas, dependendo do contexto apresentado, mas que poderá ser reconhecida universalmente e utilizada no contexto ambiental, social ou econômico. Neste sentido, compreende-se que a sustentabilidade é definida como a capacidade de atender às necessidades atuais sem comprometer as futuras gerações, proporcionando o equilíbrio dos três pilares: ambiental, social e econômico, garantindo a preservação dos recursos naturais e do bem-estar a longo prazo, buscando um desenvolvimento justo, viável e ecologicamente correto.

Segundo Miranda, *et al* (2026), a educação ambiental é importante para o desenvolvimento sustentável e para a preservação do planeta Terra, devido equilibrar os pilares ambiental, social e econômico. Ao aplicar a EA numa unidade de ensino, proporcionando a reestruturação das práticas pedagógicas na educação voltada para a sustentabilidade e ajudando a mudar os comportamentos na conscientização para preservação ambiental. Assim, entra a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), com todo corpo educacional que passa a se mobilizar na preservação e conservação ambiental.

De acordo com Miranda (2026, p.16-17), a educação ambiental é a fundamentação científica para a sustentabilidade, como um processo que visa transformar as pessoas em vários setores, ou seja, de empresas, de produção e de preservação ambiental, promovendo as práticas educativas e transformadoras das atitudes dos seres humanos, de forma a construir conhecimentos críticos, desde tempos presentes as futuras gerações. A EA promove a conscientização ambiental e a responsabilidade social, por meio de aprendizes que passam a ser autônomos e autossuficientes quando formados e atuantes no trabalho profissional.

METODOLOGIA

As metodologias apresentadas se caracterizaram pelas pesquisas bibliográficas e de campo, de forma qualitativa e quantitativa, como parte dos Projetos de Pesquisas realizados entre

2023 a 2025, na Escola Superior de Tecnologia (EST), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), em que os pesquisadores do projeto se organizaram em equipes, ou seja, toda equipe trabalhando nas pesquisas bibliográficas, uma equipe foi coletar as garrafas PET pelos bairros de Manaus, outra equipe no LabP&D (Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento) para análises, outra equipe pelos bairros da cidade a procura e coleta de troncos dos coqueiros e depois toda a equipe apresentou o projeto de pesquisa na escola, relacionado a educação ambiental, sustentabilidade e tecnologia sobre materiais compósitos utilizando fibras do tronco de *cocos nucifera* (FTCN) combinados a PET, PP e NTC.

As pesquisas bibliográficas foram através de livros, artigos científicos, revistas de periódicos e literaturas por meios digitais. As pesquisas de campo foram realizadas primeiramente, pela aquisição de materiais, atividades e análises no LabP&D, da EST/UEA, através de professores e acadêmicos pesquisadores do projeto, do curso de Engenharia de Materiais. A segunda parte da pesquisa de campo, foi pela apresentação desta pesquisa à alunos do Ensino Médio, do Colégio Dom Pedro II, da Secretaria de Estado de Educação e Desporto Escolar do Amazonas (SEDUC-AM) pelos professores e os acadêmicos da EST/UEA.

Os métodos de reciclagem de garrafas PET foram pela coleta seletiva e reciclagem dos materiais, cortados, triturados e moídos em moinho até formarem grânulos. A equipe específica realizou a coleta em vários bairros da cidade de Manaus, onde se encontravam garrafas PET jogadas fora dos coletores específicos, que impactavam o meio ambiente. As garrafas PET foram lavadas com detergente e água corrente na torneira, assim como, a secagem foi realizada ao ar livre por sete dias. Depois da secagem, as garrafas foram cortadas em pedaços e levadas ao moinho para formar os grânulos. Os grânulos de PET moídos foram novamente moídos até ficaram em partículas milimétricas (pó) que possibilitaram as misturados dos materiais propostos na pesquisa, em proporções de massas calculadas.

O tronco do coqueiro foi coletado (Figura 2) em áreas do Tarumã, de Manaus, por uma das equipes do projeto de pesquisa, depois foram cortados com terçado em pedaços grandes (extraíndo fibras grandes) e em seguida secados ao ar livre diretamente na luz solar, durante 10 dias (Figura 3). Após secagem foram levados para o LabP&D, e lavados com água corrente para retirar as impurezas (Figura 4), depois colocado em Estufa LAB-LINE, 3618P-1, 11092, NA, série 1197-0014, para nova secagem (Figuras 5 e 6) a baixa temperatura (50°C por 10 horas) para não haver a possibilidade de umidades. As fibras secas foram separadas (Figura 7) e moídas em Moinho de Facas, Tecnal, Wiley TE-680 do LabP&D (Figura 8), tornando-se pó e embaladas

(Figura 9), calculadas em proporções de massas (Figura 10), pesadas em balança ACCULAB, LA-200, RS-232, 12511723, (Figura 11) e misturadas aos PETs moídos.

O PP foi obtido através do LabP&D, do Curso de Engenharia dos Materiais, EST/UEA, na forma granulado e depois moídos, reduzindo a tamanhos milimétricos, possibilitando misturar em quantidades proporcionais das partículas de PET e fibras do coqueiro.

Os NTC em pó foram adquiridos pelo Centro Tecnológico de Nanomateriais (CTNano), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A quantidade adotada neste experimento foi de 1,0 g de NTC, para as etapas de cada adição no polímero PP, ou seja, a partir do cálculo de 100 g (100%) de PP puro, foram preparadas as amostras da Tabela 1.

Figura 2. Corte do coqueiro.



Fonte: Autor (2023)

Figura 3. Fibras do Tronco do coqueiro.



Fonte: Autor (2023)

Figura 4. Lavagem das Fibras - água corrente.



Fonte: Autor (2023)

Figura 5. Fibras para secagem na estufa.



Fonte: Autor (2023)

Figura 6. Estufa para secagem das Fibras do coqueiro.



Fonte: Autor (2023)

Figura 7. Fibras secas e separadas para inserir no moinho.



Fonte: Autor (2023)

Figura 8. Moinho Modelo TE-680, série 20100122, 20V, Pot. 1100W, Tecnical.



Fonte: Autor (2023)

Figura 9. fibras do tronco do coqueiro moidas na embalagem.



Fonte: Autor (2023)

A Tabela 1 apresenta a composição do PP puro, PP com adição de NTC, PP com adição de FTCN, PP com adição de NTC e AM e PP com adição de FTCN e AM.

Tabela 1. Composição do PP com adição de NTC, ou FTCN e/ou AM.

Amostra	PP (g)	NTC (g)	FTCN (g)	AM (g)	Tipo de composição no PP
Am1	100	0	0	0	Puro (100%)
Am2	99	1	0	0	c/ NTC
Am3	94	1	0	5	
Am4	89	1	0	10	
Am5	90	0	10	0	c/ FTCN
Am6	85	0	10	5	
Am7	80	0	10	10	

Fonte: Autor (2023)

A preparação do PP na composição polimérica e depois com o PET, pode ser observada na Tabela 1. O PP puro (Am1) foi de 100 g (100%), calculando-se: 1) Amostras c/NTC: Am2, PP+NTC (99%+1%); Am3, PP+NTC+AM (94%+1%+5%) e Am4, PP+NTC+AM (89%+1%+10%); e 2) Amostra c/FTCN: Am5, PP+FTCN (90%+10%); Am6, PP+FTCN+AM (85%+10%+5%) e Am7, PP+FTCN+AM (80%+10%+10%). A partir do PP preparado com a adição de NTC e de FTCN, prepararam-se os nanocompósitos com o PET, conforme a Tabela 2:

Tabela 2. Nanocompósitos de PET, PP e FTCN com NTC.

Amostra	FTCN (g)	NTC (g)	PET+PP (g)	PET+FTCN+NTC (g)
1 ^a	30	0	0	0
2 ^a	0,15	0,15	29,70	30
3 ^a	0,30	0,30	29,40	30

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 2 mostra as 30 g de FTCN puro (100%) na 1^a Amostra e calculados os percentuais de massa de 0,15 g (0,5%) e 0,30 g (1,0%). Depois 30 g do Nanocompósito (100%) para: 2^a Amostra de 0,5% FTCN +0,5% NTC + 99,0% PET+PP; e 3^a Amostra de 1% FTCN + 1% NTC + 98% PET+PP.

Fluxograma das etapas metodológicas da produção do Nanocompósito realizadas no LabP&D a seguir:

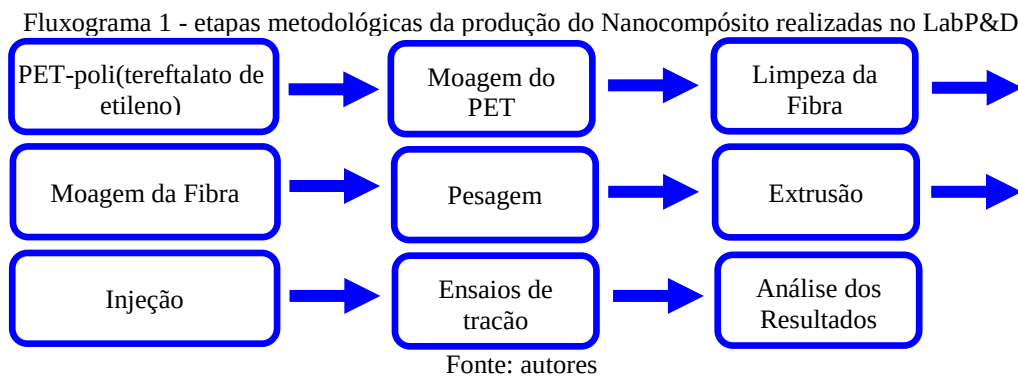
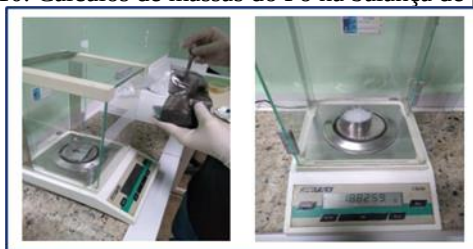


Figura 10. Cálculos de massas do Pó na balança de precisão.



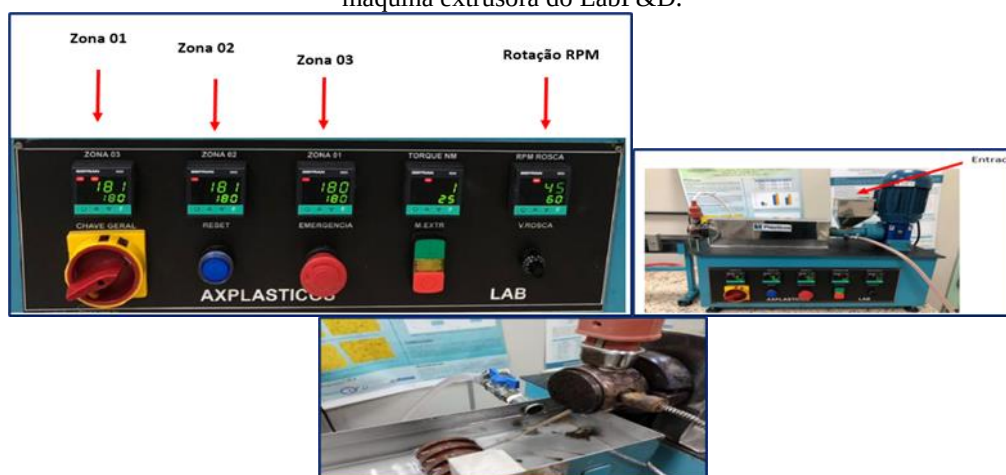
Fonte: Autor (2023)

Figura 11. PET moído no moinho do LabP&D.



Fonte: Autor (2023)

Figura 12. Etapas do processo de extrusão do material compósito FTCN/PET/PP e FTCN/PET/PP/NTC na máquina extrusora do LabP&D.



Fonte: Autor (2023)

A Figura 12 apresenta o processo de extrusão do compósito, sendo a 1ª etapa de FTCN+PET+PP e a 2ª etapa de FTCN+PET+PP+NTC, na Mini Extrusora, MR.16:26.AX, AX PLÁSTICOS, AX1626. As Figuras 12 e 13, apresentam os respectivos processos de aquecimento na Estufa a 50° C, por 2 horas do material compósito FTCN/PET/PP extraído da extrusora para granulação e moagem; e da mesma forma FTCN/PET/PP/NTC, pela Granuladora AX PLÁSTICOS, Gran.100 (AX16l), até 16g (PS) com $F = 5,5 \text{ kN}$.

Figura 13. Processo de aquecimento na Estufa, do material compósito FTCN/PET/PP extraído da extrusora, para corte em novos grânulos e depois nova moagem.



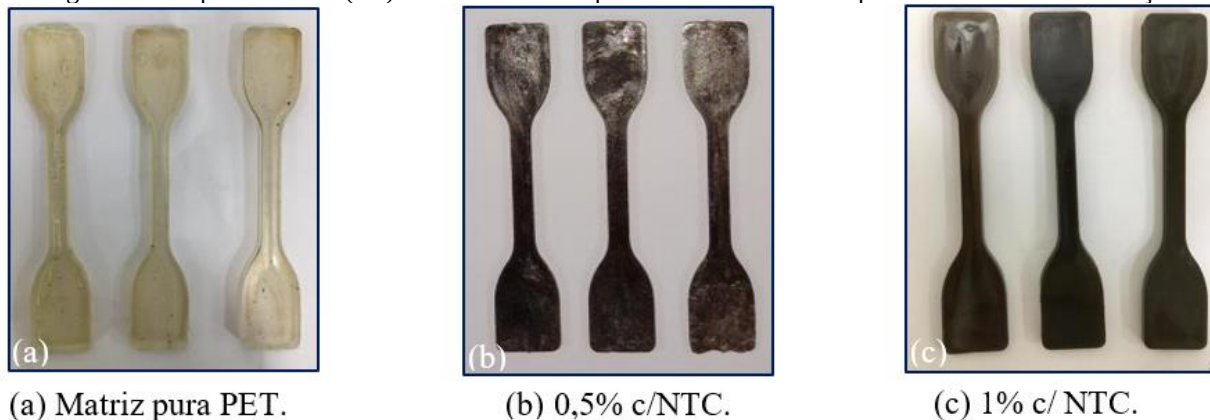
Fonte: Autor (2023)

Figura 14. Processo de granulação do compósito (FTCN/PET/PP) com NTC.



Fonte: Autor (2023)

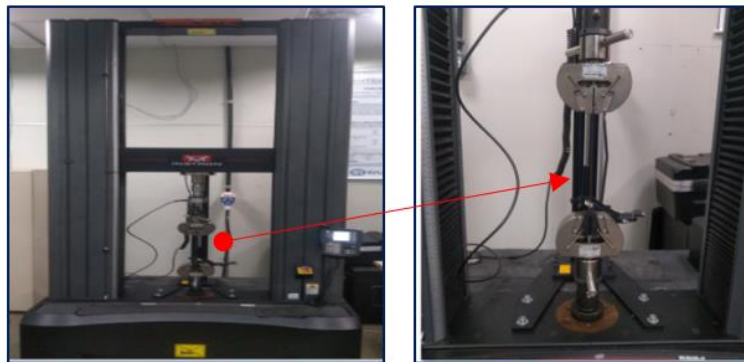
Figura 15. Corpos de Prova (CP) dos materiais compósitos sem e com NTC para realizar ensaios de tração.



Fonte: Autor (2023)

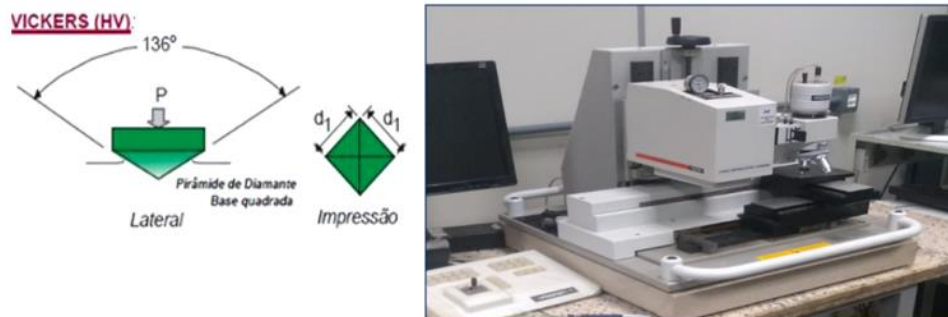
A Figura 15 apresenta os CPs, cada um medindo 33mm x 6mm x 3,26mm, dos seguintes materiais: (a) matriz pura PET; (b) nanocompósitos com 0,5%NTC; e (c) nanocompósitos com 1%NTC, respectivamente, submetidos a ensaios de tração na Máquina Universal de Ensaios Mecânicos, Instron, 5984, com $F = 1$ kN, nos CPs, na medição de resistência dos materiais (Figura 16). A Figura 16 apresenta a Máquina Ficherscope HM2000, HP 100C XYp T3, na realização dos ensaios de dureza Vickers.

Figura 16. Máquina Universal Instron de Tração para Corpos de Prova (CP).



Fonte: Autor (2023)

Figura 17. Máquina Ficherscope HM2000, HP 100C XYp T3, de ensaios de micro e de dureza Vickers.

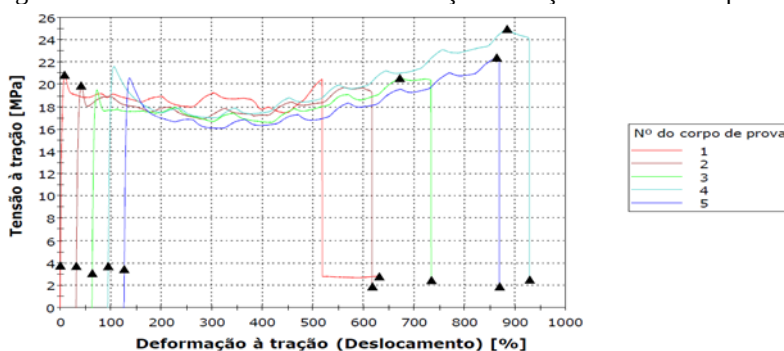


Fonte: Autor (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios realizados na Máquina Universal de Tensão vs. Deformação à Tração com 5 (cinco) CPs, podem ser observados no gráfico da Figura 18.

Figura 18. Ensaios de Tensão vs. Deformação à Tração do Nanocompósito.



Fonte: Autor (2023)

O objetivo dos ensaios (Figura 18) foi avaliar a influência da incorporação de 0,5% e 1% de NTC nas propriedades mecânicas da matriz de PET com PP + FTCN. Pela Tabela 3, fez-se a análise comparativa dos CPs:

- a) CP1 (**PET Puro - Referência**): apresentou uma resistência à tração inicial de 20,88 MPa (408,38 N) e o maior Módulo de Elasticidade (0,62 GPa) entre as amostras, indicando que a matriz de PET, sem reforço, possui uma rigidez elevada, mas a menor capacidade de carga máxima na ruptura (55,88 N) comparado à média com 1% NTC;
- b) CP2 e CP3 (0,5% NTC): os resultados foram inconsistentes entre si. Enquanto o **CP2** apresentou os menores valores de resistência ($\sigma = 19,93$ MPa) e carga à ruptura (38,21 N), indicando possivelmente má dispersão dos NTCs ou a presença de aglomerados (defeitos) e o **CP3** apresentou uma leve melhora em relação ao CP2, aproximando-se do PET puro, com $\sigma = 20,60$ MPa e carga de 49,35 N; e
- c) CP4 e CP5 (1% NTC): demonstraram melhor desempenho mecânico. O **CP4** atingiu a maior Tensão de Tração ($\sigma = 24,99$ MPa) e carga de 490,27 N. O **CP5** também foi superior, no comportamento, ao PET puro ($\sigma = 22,44$ MPa), confirmando que a concentração de 1%NTC foi mais eficiente no reforço. O módulo de elasticidade médio nessa concentração ($\approx 0,565$ GPa) mostra que, embora mais resistentes, os materiais tornaram-se ligeiramente menos rígidos do que o PET puro.

Na discussão do efeito dos NTCs na Matriz PET e PP+FTCN: A adição de 1%NTC (CP4 e CP5) proporcionou um aumento notável na resistência à tração e na carga de ruptura em comparação a matriz pura (CP1). Este fenômeno se explica pela alta razão de aspecto e excepcional resistência mecânica dos NTCs, permitindo a transferência de carga eficiente da matriz polimérica para as cargas nanométricas. Entretanto, a inconsistência observada no teor de 0,5%NTC (CP2 e CP3) sugere que a dispersão dos NTCs no PET seja crítica.

A dispersão pode ser crítica, porque em concentrações baixas ou com processos de mistura inadequados, os NTCs tendem a se aglomerar, criando pontos de concentração de tensão que enfraquecem o material em vez de reforçá-lo. Assim, o ideal é que se faça uma boa homogeneização dos NTCs nas misturas.

Tabela 3. Resultados do Ensaio de Tração dos CPs.

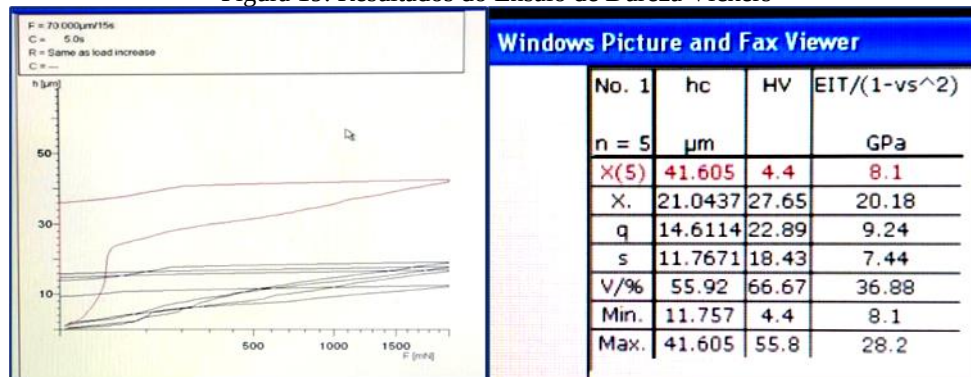
	Carga em Resistência à tração [N]	Tensão à tração em Resistência à tração [MPa]	Modulo de elasticidade [GPa]
1	408,38	20,88	0,62
2	389,85	19,93	0,56
3	402,98	20,60	0,55
4	490,27	24,99	0,56
5	442,94	22,44	0,57

	Deslocamento em Escoamento [mm]	Carga em Ruptura [N]	Comprimento [mm]
1	0,20	55,88	33,00
2	0,22	38,21	33,00
3	0,18	49,35	33,00
4	0,22	50,36	33,00
5	0,20	38,76	33,00

	Espessura [mm]	Largura [mm]
1	3,26	6,00
2	3,26	6,00
3	3,26	6,00
4	3,27	6,00
5	3,29	6,00

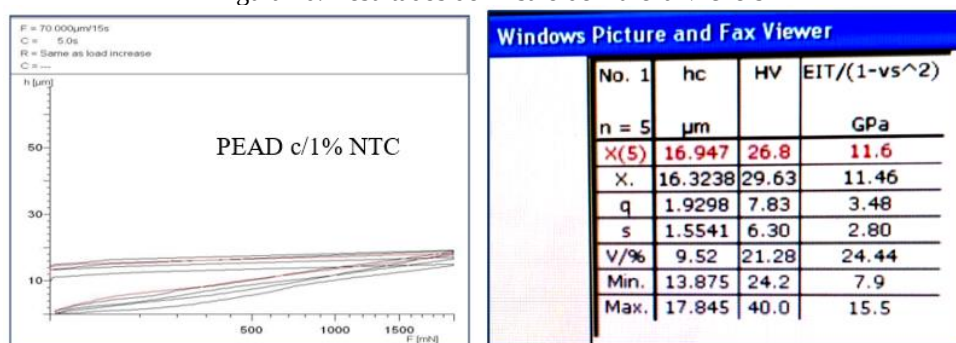
Fonte: Autor (2023)

Figura 19. Resultados do Ensaio de Dureza Vickers



Fonte: Autor (2023)

Figura 20. Resultados do Ensaio de Dureza Vickers



Fonte: Autor (2023)

As Figuras 19 e 20 apresentam os resultados sintetizados na Tabela 4, dos ensaios de nanoindentação realizados com uma carga constante de 70 N e tempo de aplicação de 15 s.

Tabela 4: Resultados comparativos da nanoindentação (70 N / 15 s)

Parâmetros de Indentação	Unidade	Figura 19	Figura 20
Altura máxima da curva ($h_{\text{máx}}$)	μm	41,61	16,32
Módulo de Indentação (EIT)	GPa	20,18	11,46
Dureza Vickers (HV)	N/mm ² *	27,65	29,63
Relação deform. Elástica/Trabalho (nplást)	%	55,92	9,52

*Nota: A unidade N/mm² é equivalente a MPa.

Fonte: Autor (2025)

A análise dos resultados revela diferenças significativas no comportamento mecânico local do nanocompósito, sugerindo uma possível heterogeneidade na amostra ou variações na dispersão dos nanofilares/partículas. O valor de $h_{\text{máx}} = 41,61 \mu\text{m}$ (Figura 19) é significativamente superior ao $h_{\text{máx}} = 16,32 \mu\text{m}$ (Figura 19), e o PEAD é o polietileno de alta densidade formado por PET e PP. Uma maior penetração com a mesma carga (70 N) indicando que, no ponto do material (Figura 19) é mais "macio" ou mais deformável sob a carga aplicada. O valor de EIT = 20,18 GPa (Figura 19) tem módulo de elasticidade maior em comparação a EIT = 11,46 GPa (Figura 20). Curiosamente, o ponto com maior penetração apresentou maior rigidez elástica, o que pode indicar um comportamento de endurecimento por deformação específico daquela área. O valor de HV = 29,63 N/mm² mais raso (Figura 20), apesar da grande diferença da profundidade, os valores de dureza são relativamente próximos em relação a HV = 27,65 N / mm² mais fundo (Figura 19). A maior dureza da Figura 20 (29,63 > 27,65) condiz com a menor profundidade de penetração, indicando maior resistência à deformação plástica naquele local. A relação entre Deformação Elástica e Trabalho (nplást) apresentou uma diferença mais drástica. Na Figura 19 indicou nplást = 55,92% (alto caráter elástico/reversível), enquanto na Figura 20 foi apenas nplást = 9,52% (alto caráter plástico/permanente). Isso sugere que a região do material que aplicada indentação (Figura 19) possui uma resposta mais elástica, enquanto a região do material (Figura 20) foi mais predominantemente plástica.

As variações indicam que o nanocompósito possui microestrutura heterogênea. Os valores na Figura 19 refletem uma zona de alta elasticidade e alta penetração e na Figura 20 representa uma zona de alta deformação plástica e menor penetração, resultando em durezas localizadas distintas.

Este trabalho de pesquisa foi realizado através do Projeto de Extensão da UEA (PROJEX), SISPROJ N° 41430, de 2022 e 2023, pelo Curso de Engenharia de Materiais, da Escola Superior

de Tecnologia (EST), com planejamento e apresentação das pesquisas, no dia 15 de maio de 2023 (Figura 21), no auditório do Colégio Amazonense Dom Pedro II, Centro de Manaus, como parte da amostra do Projeto e da Educação Ambiental (EA), mostrando como os materiais PET e troncos de coqueiros, podem ser coletados do meio ambiente de forma sustentável, reciclados, preparados como compósitos e produzidos em laboratório, para a possibilidade de utilização na sociedade e/ou nas indústrias.

A apresentação deste trabalho de pesquisa (Figura 21) foi realizada por professores(as) e acadêmicos(as) da EST/UEA, aos alunos do ensino médio, com o tema "Caracterização dos Compósitos de Fibra de Tronco de *Cocos Nucifera* tratadas e Polietileno Tereftalato reciclado, comparadas a Compósitos com adição de nanotubos de Carbono". Foi um momento em que a Educação Ambiental proporcionou um ensino-aprendizagem sobre a utilização de materiais coletados do meio ambiente e reciclados pelas formas de sustentabilidade.

Figura 21. Apresentação do trabalho de pesquisa e ensino da educação ambiental, no Colégio Dom Pedro II.



Fonte: Autor (2023)

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que a adição de 1% de NTC (CP4/CP5) é a formulação mais eficaz para aumentar a resistência à tração e a carga máxima do PET. O CP1 (PET Puro) é o material mais rígido (maior módulo elástico), mas com menor carga de ruptura. O PET melhorou a miscibilidade ao PP (resistente ao impacto ou mais tenaz e evitar a quebra), pela adição do agente compatibilizante, a partir de 1% do Anidrido Maleico (MA), possibilitando a eficácia da união e melhoria das propriedades mecânicas. E a incorporação de NTCs foi viável para melhorar propriedades mecânicas, desde que a dispersão seja homogênea para evitar os baixos valores observados no CP2.

O ensaio de nanoindentação Vickers com carga de 70 N / 15 s permitiu determinar as propriedades mecânicas locais do nanocompósito, nas duas medições destacaram que: 1) a

amostra demonstrou propriedades heterogêneas, com variações de dureza e, principalmente, de comportamento elasto-plástico (relação) dependendo do local de indentação; 2) a dureza Vickers foi de aproximadamente 28-30 N / mm² (ou MPa), com a região referente a Figura 19, apresentando uma leve maior dureza; e houve uma forte disparidade na resiliência na região da amostra (Figura 18) comportando-se de forma significativamente mais elástica (de recuperação) do que o outro (Figura 19), onde a deformação foi predominantemente plástica (de deformação plástica/permanente). Essa heterogeneidade é típica de nanocompósitos, onde a distribuição de fases (nanopartículas/matriz) não é perfeitamente uniforme, necessitando de mais homogeneidade nas misturas.

A educação ambiental foi integrada à prática docente e acadêmica, no colégio Dom Pedro II, do Centro de Manaus, essencialmente, para a formação dos alunos como cidadãos críticos e conscientes da preservação ambiental na Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), para a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos pelo Projeto de Extensão (PROJEX), SISPROJ Nº 41430, da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), realizado no Laboratório LabP&D da Escola Superior de Tecnologia (EST), do Curso de Engenharia de Materiais e pesquisas de campo (reciclagem de PET e coleta de *cocos nucifera*), pelos autores professores(as) e acadêmicos(as) e apresentação do projeto, para o ensino de educação ambiental e sustentabilidade na escola de ensino médio.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13230:2008. **Embalagens e acondicionamentos plásticos recicláveis — Identificação e simbologia**. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: Presidência da República, (2010). Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.> Acesso em: 14/01/2026.

CANEVAROLO Jr, S.V. **Ciência dos polímeros: um teste básico para tecnólogos e engenheiros**. 1ª ed. (2002) e 2ª ed. (2008). São Paulo: Artliber Editora, 2008.

MATHAI. P. M. Coir. In: FRANCK, R. R. **Bastando the plant fibers. The TextileInstitute**. Cambridge: Wood head Publishing Limited, 2005. p. 275-313.

MATTOSO, L.H.C.; PEREIRA, N.; SOUZA, M.L.; AGNELLI, J.A.M. **Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos**. EMBRAPA, 3, , p.1-4, 1996.

MIRANDA, A.A. **Educação para a Sustentabilidade na Prática Docente: Uma breve análise**. In.: Falcultad Interamericana de Ciencias Sociales. Paraguai: FICS, 2026.

MIRANDA, A.A.; OLIVEIRA, M.C.; NUNES, E.O.; NUNES, A.F.; SANCHES, A.E.; MONTEIRO, I.A.T.; DIAS, T.A.; MIRANDA, A.G. **Abordagem sobre a Educação Ambiental para a Sustentabilidade na Prática Docente na Escola**. In.: Revista Caderno Pedagógico. Curitiba: Studies Publicações e Editora Ltda., 2026.

PISANO, L. **Estudo da força de adesão em polímeros dissimilares obtidos pelo processo de injeção multicomponente: aplicação em compósitos com fibras de coco**. Salvador-BA: UFBA, 2018.

PLÁSTICO INDUSTRIAL. **Especial: Composto de PP**. Aranda Editora. Ano 23, nº 267, Mar. 2021, p.20-22.

ROCHA, K.D.C.; FERREIRA, M.S.; GASRCIA, C.E.R. **Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera* L.): uma revisão**. In.: Brazilian Journal of Development, v.8, n.5. Curitiba: JBD, 2022, p.41476-41491.

SILVA, V.A.; TIIMOB, B.; RANGARI, V.K., SILVA, R.N.A.; NETO, J.C.M.; MOURA, A.B. **Preparação e caracterização de compósitos baseados na blenda de PBAT/amido, micro e nanocargas de bio-CaCO₃**. In.: 13º Congresso Brasileiro de Polímeros. Natal-RN: CBPol, 2015.

SOUZA, K.S.; GARCIA, P.H.M. **Educação Ambiental na Perspectiva de Paulo Freire: Uma Análise Crítica**. FAAP. v.19, n.5, 2023.

WCED. **Report of The World Commission on Environment and Development: Our common future**. ONU. 1987. Disponível em: <<https://www.are.admin.ch/en/1987-brundtland-report>> Acesso em 14/01/2026.

WIKIPÉDIA. **Polipropileno**. In: **WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre**. Wikimedia, [2017]. Disponível em: . Acesso em: 15 Jan 2026.

WIKIPÉDIA. **Politereftalato de etileno**. In: **WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre**. Wikimedia, [2017]. Disponível em: . Acesso em: 17 Jan 2026.