



**INSTITUTO
FEDERAL**
Rio de Janeiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Campus Nilópolis

Bacharelado em Química

**Renan Henriques Gonçalves
de Almeida**

**Avaliação das propriedades
mecânicas e térmicas de compósitos de
PEAD com fibra de coco submetida ao
tratamento com peróxido em meio básico**

Nilópolis

2022

RENAN HENRIQUES GONÇALVES DE ALMEIDA

**Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas
de compósitos de PEAD com fibra de coco submetida
ao tratamento com peróxido em meio básico**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal do Rio de
Janeiro, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Química.

Orientadores: Prof. Ana Lúcia Nazareth da Silva.

Coorientador: Prof. Márcia Angélica
Fernandes e Silva Neves

NILÓPOLIS

2022

IFRJ – CAMPUS NILÓPOLIS

RENAN HENRIQUES GONÇALVES DE ALMEIDA

Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de PEAD com fibra de coco submetida ao tratamento com peróxido em meio básico


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - campus Nilópolis, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Química.

Aprovada em: 21/02/2022

Banca Examinadora



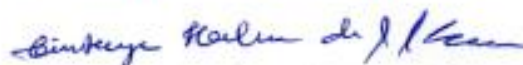
D.Sc. Ana Lúcia Nazareth da Silva (Orientadora- IMA/UFRJ)



D.Sc. Marcia Angélica Fernandes e Silva Neves (Orientadora/IFRJ)



D.Sc. Viviane Alves Escócio (IMA/UFRJ)



D.Sc. Cinthya Helena da Silva Sousa Rosa (IFRJ)

"Eterno é quem se presta a conhecer o desconhecido, é quem se joga ao mar, entre ondas claras e escuras. As marés de Circe, o Inconsciente da humanidade, e o amplo e ensolarado céu de Atená, a sabedoria do Consciente. Odisseu, o sábio, o que se joga ao mar, jamais esquece seu destino, sua jangada, forjada pelas suas mãos sábias e os doces carvalhos da deusa oculta, Kalypto, que em amor o guia. Assim sempre navegando nas águas de oceano primordial, eternamente sábio." - Kalypto-

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir fazer parte do laboratório Núcleo de excelência em reciclagem e desenvolvimento sustentável (NERDES), localizado no Instituto de macromoléculas professora Eloisa Mano (IMA-UFRJ).

Aos meus pais por todo o apoio durante essa jornada, que se iniciou antes mesmo de eu entrar na faculdade.

A meu amigo Kaly Taranto que esteve ao meu lado durante esse período e através de suas palavras conseguiu me acalmar e me colocar de volta no caminho.

Demonstro gratidão a professora Márcia Angélica Fernandes e Silva Neves, por te me apresentado a área de polímeros e as professoras Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, Ana Maria Furtado de Sousa, Leila Léa Yuan Visconte e Regina Celia Reis Nunes, por todo acolhimento recebido, conhecimentos passados e pela oportunidade que me deram.

Ao grupo NERDES, em especial a Viviane Alves Escócio, Teresa Maria Dias Fernandes, Julio Cesar Jandorno Junior e Skarlet Toledo Caetano, por todo apoio dado e carinho recebido.

A minha orientadora Ana Lúcia Nazareth da Silva, que é umas das pessoas mais generosas e acolhedoras que conheço, pela supervisão e toda ajuda me dada, durante os 3 anos que trabalhamos juntos.

E por último ao IMA, por te me proporcionado a estrutura necessária para a realização deste trabalho.

RESUMO

Compósitos de fibras naturais vêm sendo bastante utilizados, entretanto apresentam algumas desvantagens, como elevada tendência a absorver umidade, baixa estabilidade térmica e propriedades mecânicas indesejáveis, devido à baixa interação entre a fibra e a matriz polimérica. Com o objetivo de melhorar as propriedades finais dos compósitos à base de polímero/fibras naturais e aumentar a estabilidade térmica da fibra, tratamentos químicos podem ser realizados na fibra. Assim, o presente trabalho tem como meta combinar os processos de mercerização e branqueamento, a fim de verificar as mudanças na eficiência da adesão da fibra de coco na matriz de polietileno de alta densidade (PEAD). O tratamento foi realizado com a fibra previamente moída, sendo este constituído por 3 etapas: lavagem em água destilada, mercerização com NaOH 5% e branqueamento com H₂O₂ 6% m/v. As fibras tratadas e não tratadas foram adicionadas ao PEAD nos teores de 5, 10 e 15% m/m. O processamento foi realizado em extrusora TeckTril, dupla rosca corrotacional. Em seguida, os materiais produzidos foram injetados em máquina Arburg para a obtenção dos corpos de prova para o ensaio de resistência ao impacto (ASTM D256) e tração (ASTM D638). Sendo realizado uma análise termogravimétrica dos compósitos obtidos, índice de fluidez, microscopia eletrônica de varredura (MEV) também foi realizada para a avaliação do nível de interação entre as fases e também avaliou as propriedades mecânicas de resistência à tração e impacto. Os resultados mostraram que a fibra tratada apresentou uma melhor estabilidade térmica, os compósitos obtidos com ambas as fibras apresentaram um aumento no módulo elástico e uma redução na fluidez, com apenas os obtidos com a fibra tratada apresentando um aumento na resistência ao impacto, em relação ao PEAD puro, sinalizando a maior interação entre a fibra tratada e a matriz plástica. Tais resultados corroboram as imagens obtidas nas micrografias (MEV).

Palavras-Chaves: Fibra de coco, Compósito polimérico, Tratamento químico, Polietileno de Alta Densidade.

ABSTRACT

Natural fiber composites have been widely used, however they have some disadvantages, such as a high tendency to absorb moisture, low thermal stability and undesirable mechanical properties, due to the poor adhesion fiber/polymer matrix. In order to improve the final properties of polymer/natural fiber-based composites and increase the thermal stability of the fiber, chemical treatments can be performed on the fiber. Thus, the present work aims to combine the treatment of mercerization and bleaching, in order to verify the changes in the adhesion efficiency of coconut fiber in the matrix of high-density polyethylene (HDPE). The properties evaluated were impact and tensile strength and flowability of the composites. The properties evaluated were impact and tensile strength and fluidity of the composites. The treatment was carried out with the previously ground fiber, which consisted of 3 steps: washing in distilled water, mercerization with 5% NaOH and bleaching with 6% w/v H₂O₂. Treated and untreated fibers were added to HDPE at concentrations of 5, 10 and 15%, w/w. The processing was executed in a TeckTril extruder, co-rotational twin screw. Then, the materials produced were injected into an Arburg machine to obtain the specimens for the impact resistance test (ASTM D256) and tensile strength (ASTM D638). Scanning electron microscopy (SEM) analysis was also performed to assess the level of interaction between the phases. The results showed that the treated fiber showed better thermal stability, the composites obtained with both fibers showed an increase in elastic modulus and a reduction in fluidity, with only those obtained with the treated fiber showing an increase in impact resistance, compared to neat HDPE, indicating a better interaction between the treated fiber and the matrix. These results corroborate the images obtained in micrographs (SEM).

Keywords: Coconut fiber, Polymer composite, Chemical Treatment, High Density Polyethylene

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxograma do tratamento.....	20
Figura 2: Corpos de prova de resistência à tração (A) e impacto (B)	24
Figura 3: Curvas de TGA (A) e DTG (B) da fibra de coco antes e após cada etapa do tratamento	26
Figura 4: Curvas de TGA (A) e DTG (B) dos compósitos PEAD/fibra de coco <i>in natura e tratada</i>	28
Figura 5: Zoom do corpo de prova de resistência à tração.....	30
Figura 6: Resultados de resistência ao impacto	31
Figura 7: Valores de MFI do PEAD puro e dos compósitos PEAD/fibra de coco.....	33
Figura 8: Microscopia PEAD puro (A), PEAD/FC não tratada 15% m/m (B) e PEAD/FC tratada 15% m/m (C).....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Compósitos obtidos	21
Tabela 2: Parâmetros de extrusão.....	22
Tabela 3: Parâmetros de temperatura de injeção	22
Tabela 4: TGA da fibra de coco antes e após etapas do tratamento	27
Tabela 5: Composição da fibra de coco tratada e não tratada	27
Tabela 6: Resultados TGA dos compósitos PEAD/fibra de coco <i>in natura</i> (I) e tratada(T)	29
Tabela 7: Propriedades de resistência à tração dos compósitos PEAD/fibra de coco <i>in natura</i> (I) e tratada (T).....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

DTG – Derivative Thermogravimetry (1° Derivada da perda de massa)

FC – Fibra de coco

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MFI – Melt Flow Index (Índice de Fluidez)

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

TGA – Thermogravimetric Analysis (Análise Termogravimétrica)

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
2.1 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
3.1 COMPÓSITO POLIMÉRICO	16
3.2 POLIETILENO.....	16
3.3 FIBRA NATURAL	17
3.3.1 Tratamento químico das fibras	18
4 METODOLOGIA	19
4.1 MATERIAIS	19
4.2 EQUIPAMENTOS	19
4.3 TRATAMENTO DA FIBRA DE COCO	20
4.3.1 Lavagem	21
4.3.2 Mercerização	21
4.3.3 Branqueamento	21
4.3.4 Moagem e peneiramento	21
4.4 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS – EXTRUSÃO.....	21
4.5 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	22
4.6 CARACTERIZAÇÃO - FIBRA DE COCO E COMPÓSITOS	22
4.6.1 Análise termogravimétrica – TGA	22
4.6.2 Teor de holocelulose	23
4.6.3 Teor de α -celulose e hemicelulose	23
4.6.4 Propriedades mecânicas	24
4.6.5 Índice de fluidez – MFI.....	24
4.6.6 Microscopia eletrônica de varredura - MEV	24
5 RESULTADO E DISCUSSÕES	26
5.1 FIBRA DE COCO	26

5.2 COMPÓSITOS PEAD / FIBRA DE COCO	27
6 CONCLUSÃO	34
7 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	35

1 INTRODUÇÃO

Compósitos de fibras naturais são uma alternativa viável aos compósitos reforçados com fibras sintéticas, usados como componentes estruturais ou não, principalmente em aplicações cuja característica de leveza é desejável (SANJAY et al., 2018).

A substituição de fibras sintéticas por fibras naturais, hoje, pode gerar a indústria automobilística benefícios econômicos, sociais e ambientais. Sendo essa linha de pesquisa capaz de continuar a despertar o interesse de pesquisadores e engenheiros, visto que os compósitos de fibras naturais estão se tornando uma alternativa viável aos de fonte não renováveis (ZAH et al., 2007).

As fibras naturais, em relação às sintéticas, apresentam um baixo custo e menor densidade, são ecologicamente viáveis e possui baixos riscos à saúde. Acredita-se que a sua utilização no desenvolvimento de compósito, possui valor não apenas no aspecto econômico, mas também na perspectiva da sustentabilidade. Além disso, são matérias-primas renováveis para a obtenção de novos produtos verdes. As propriedades químicas, biológicas, ambientais e econômicas das fibras naturais, podem melhorar de maneira significativa as propriedades finais de compósitos à base de matrizes poliméricas (VIGNESHWARAN et al., 2020).

Os compósitos polímero/fibra natural apresentam algumas vantagens, podendo citar: baixa densidade, ótima resistência elétrica, biodegradabilidade, alta rigidez e alto isolamento acústico (M.R. et al., 2019). No entanto, apresentam como desvantagem a alta capacidade de absorção de umidade, baixa estabilidade térmica e baixa resistência à tração e impacto, gerada pela baixa adesão fibra/matriz (BHOWMICK; MUKHOPADHYAY; ALAGIRUSAMY, 2012).

A fraca interação fibra/matriz está relacionada à composição da fibra natural, em particular os componentes não celulósicos como: lignina, ceras e pectina. A remoção desses componentes contribuirá para o aumento da resistência mecânica do compósito, pois a sua presença dificulta a união fibra/matriz (FARUK et al., 2012).

Para melhorar a interação polímero/fibra, tratamentos químicos, através da remoção dos componentes não celulósicos, podem ser utilizados: tratamento alcalino (Mercerização), com hidróxido de sódio (NaOH), capaz de aumentar a rugosidade da fibra, através da remoção da parte amorfa e, conseqüentemente, levando ao aumento da interação com a matriz (FIORE; DI BELLA; VALENZA, 2015; MAHJOUB et al., 2014) e branqueamento, que leva a um aumento da estabilidade térmica (RAYUNG et al., 2014).

Com bases nesses conhecimentos, este trabalho tem como proposta estudar o efeito da combinação de dois tratamentos químicos (alcalino e branqueamento), realizado na fibra de coco, umas das fibras com maior teor de lignina (média de 46%) (MUENSRI et al., 2011), na estabilidade térmica e nas propriedades mecânicas e de fluidez de compósitos usando como matriz polimérica o polietileno de alta densidade verde (PEAD), proveniente da BRASKEM.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição de resíduo da agroindústria, fibra de coco (tratada e não tratada), nas propriedades mecânicas, fluidez e morfologia da matriz de PEAD “verde”, produzido pela empresa Braskem.

2.1 Objetivos específicos

- Tratamento alcalino das fibras de coco;
- Preparação de compósitos à base de PEAD/fibra de coco em extrusora dupla rosca;
- Caracterização da fibra de coco antes, após e durante o tratamento;
- Avaliação do efeito de diferentes teores de fibras de coco nas propriedades de resistência à tração, impacto e de fluidez nos compósitos finais;
- Avaliação do efeito da adição de diferentes teores de fibra de coco na estabilidade térmica da matriz de PEAD.
- Avaliar a morfologia dos compósitos PEAD/fibra de coco

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 COMPÓSITO POLIMÉRICO

Compósito polimérico é um material estrutural produzido a partir de componentes com propriedades físicas ou químicas significativamente diferentes, que são combinados em um nível macroscópico. São constituídos de uma fase matriz e uma fase de reforço. Os materiais da fase de reforço, comumente, encontram-se na forma de partículas, fibras ou flocos. Os materiais que constituem a matriz são geralmente contínuos, como os polímeros termoplásticos e termorrígidos (como, por exemplo, Polietileno de alta densidade). Os compósitos, em relação aos materiais convencionais, são mais leves, possuem resistência otimizada e possui custos mais baixos (SAJAN; PHILIP SELVARAJ, 2021).

3.2 POLIETILENO

O polietileno (PE) é um termoplástico produzido a partir da polimerização do eteno, produto oriundo da NAFTA petroquímica ou da cana de açúcar (caso do polietileno verde). O PE é um polímero semicristalino, cujas propriedades estão relacionadas diretamente à quantidade de fração amorfa e de fração cristalina. É flexível e é inerte na maioria dos produtos químicos comumente usados (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Existem diferentes tipos de polietileno no mercado, cujas características são diferenciadas em função das condições reacionais e do sistema catalítico usado no processo de polimerização. Os principais tipos de polietileno são: (i) polietileno de baixa densidade (PEBD); (ii) polietileno de alta densidade (PEAD) e (iii) polietileno de baixa densidade linear (PEBDL). O PEBD é um polímero com elevada tenacidade, boa resistência ao impacto e fácil processabilidade, com aplicações na produção de filmes, frascos flexíveis, embalagens para líquidos, entre outros usos. O PEAD (usado neste trabalho) possui uma maior cristalinidade em relação ao PEBD. O polímero possui baixa reatividade química. É usado na produção de filmes, sacolas, utilidades domésticas, brinquedos, tubos, entre outras aplicações. Já o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) possui maior resistência à deformação e maior sensibilidade à fratura do material fundido, tornando-o mais difícil de ser processado em relação ao PEBD. Entretanto, apresenta boas propriedades mecânicas e ópticas em comparação ao PEBD. É usado na produção de sacaria industrial,

filmes stretch, fraldas, entre outras aplicações (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O PEAD é um importante termoplástico semicristalino com diversas aplicações, devido a sua combinação atrativa de fácil processabilidade, boas propriedades mecânicas, ótima resistência química, reciclabilidade e baixo custo (CHEN et al., 2014; YUAN et al., 2009). O desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo o PEAD, pode resultar em materiais avançados

os, com propriedades superiores ao polímero puro, contribuindo para a expansão de seu uso e competitividade com os polímeros de maior valor agregado (SAVINI; ORÉFICE, 2020).

3.3 FIBRA NATURAL

A fibra natural vem sendo utilizada por vários setores do mercado como reforço em polímeros termoplásticos, como por exemplo a indústria automobilística, que conseguiu uma redução do peso dos automóveis de até 40%. Esses materiais também tem sido utilizados em revestimentos de portas, em encostos de poltronas, entre outras aplicações, com a finalidade de diminuir o custo de produção aliado à preocupação ambiental (WIBOWO et al., 2006).

As fibras celulósicas naturais têm origem em diversas fontes de recursos naturais como: animais, vegetais e minerais. Elas podem ser obtidas de variadas partes dos vegetais e plantas, sendo classificadas de acordo com sua origem como: folha, caule fruto e semente (VENKATARAJAN; ATHIJAYAMANI, 2020).

As fibras são constituídas, basicamente, por hemicelulose, celulose e lignina. A celulose é o principal componente estruturante, sendo um polissacarídeo linear de alta massa molar, formado principalmente por hemicelulose, responsável pela estabilidade e resistência das fibras. A hemicelulose é um polissacarídeo formado através da polimerização de diversos açúcares (glicose, xilose, galactose, arabinose e manose) e atua como ligante entre a lignina e a celulose (PASSOS, 2005).

A lignina é um polímero complexo responsável pela formação da parede celular, conferindo rigidez e proteção contra patógeno. As fibras naturais com alto teor de lignina apresentam excelentes qualidades e alta flexibilidade, mas

também irão possuir baixa adesão em matrizes poliméricas, tendo uma perda de propriedades, principalmente mecânicas, nos compósitos gerados (JIANG et al., 2018; PASSOS, 2005).

As fibras das cascas do coco, apresentam um baixo teor de celulose, contudo o percentual de lignina é alto, cerca de duas a quatro vezes a existente na fibra de sisal, o que leva a uma baixa adesão com a matriz polimérica. O teor de lignina na fibra de coco irá variar de acordo com idade do fruto. Os frutos mais jovens apresentam por volta de 20% e os maduros 35%(PASSOS, 2005).

3.3.1 Tratamento químico das fibras

Com o objetivo de promover modificações na superfície das fibras naturais, e torná-las menos hidrofílicas e mais compatíveis com a matriz polimérica, diversas estratégias têm sido propostas dentre elas os tratamentos químicos (PEREIRA et al., 2015; THAKUR; THAKUR; GUPTA, 2014).

Os tratamentos químicos são aqueles em que ocorre a utilização de substâncias químicas, que irá reagir com a fibra, permitindo maior interação entre os componentes do compósito. Essa adesão pode ser feita através de uma ligação química efetiva, especialmente as de caráter covalente, ligação de hidrogênio ou ácido-base (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013).

Um exemplo de tratamento químico é o tratamento alcalino à base de hidróxido de sódio (mercerização). Tal tratamento tem demonstrado ser bastante popular, e consiste na solubilização da hemicelulose e da lignina, alterando também a cristalinidade da celulose, levando a um aumento da rugosidade da superfície da fibra (LI; TABIL; PANIGRAHI, 2007).

A mercerização pode ser combinada com o processo de branqueamento, realizado com peróxido de hidrogênio, que possui a capacidade de descolorir a fibra, através da remoção de lignina, hemicelulose e impurezas superficiais (substâncias cerosas) (RAYUNG et al., 2014). Além disso, irá ocorrer a liberação de radicais livres, que reagirão com o grupo hidroxila da fibra e com a matriz, contribuindo para uma melhor adesão fibra/matriz. Esse tratamento também irá reduzir a tendência da fibra de

absorver umidade, além de aumentar a sua estabilidade térmica (KABIR et al., 2012).

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

As matérias primas utilizadas foram:

- Polietileno de alta densidade verde (PEAD), do tipo SHC7260, fornecido pela Braskem com as seguintes especificações: MFI 7,2 g/10min, densidade 0,959 g/cm³
- Fibra de coco (FC) proveniente do Estado da Bahia, que se encontrava seca e desfibrada, mas enoveladas. Sendo doada pela Empresa Projeto Coco Verde, localizada na Rodovia Presidente Dutra, Rio de Janeiro, RJ

Reagentes utilizados:

- Hidróxido de sódio, P.A. (micropérolas), produzido por ISOFAR Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.
- Peroxido de hidrogênio a 30% P.A. produzido por ISOFAR Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.
- Ácido sulfúrico P.A. produzido por VETEC Química Final Ltda.
- Ácido acético P.A. (glacial) C₂H₄O₆, produzido por VETEC Química Final Ltda.
- Álcool etílico absoluto, P.A., produzido por ISOFAR Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.

4.2 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados foram:

- Analisador Termogravimétrico (TGA) simultâneo, da TA Instruments, Q500. Universal Analysis ^(a)
- Agitador Magnético com aquecimento. Marca IKA. Modelo C-MA HS7^(a)
- Bomba a vácuo. Marca Tecnal. Modelo TE-058^(a)
- Equipamento Impacto Izod. Modelo Resil Impactor / CEAST ^(a)
- Máquina Universal de Ensaio EMIC DL 3000. Carga 5 kN ^(a)

- Plastômero. Medidor de índice de fluidez (MFI). Marca: Dynisco. Modelo LMI 4000^(a)
- Moinho de facas da marca Marconi - modelo Ma580^(a)
- Microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca da marca Leo, modelo 1450VP^(b)
- Extrusora dupla rosca corrotacional TECK TRIL DCT-20^(a)
- Injetora ARBURG ALLROUNDER 270S^(a)
- Estufa com circulação de ar, marca ETHIK TECHNOLOGY. Modelo 400-9D^(a)
- Balança analítica da marca BEL Engineering. Modelo M214Ai^(a)

Localização dos equipamentos:

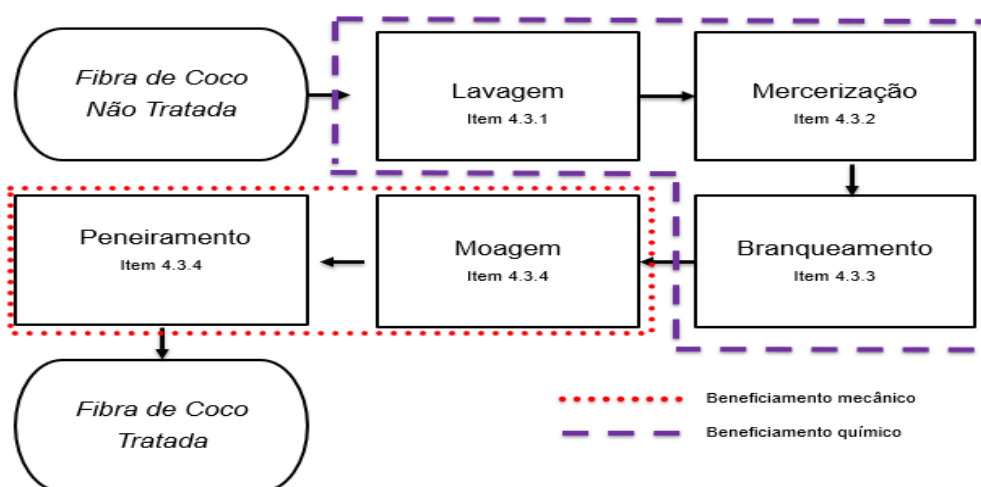
(a) Instituto de macromoléculas professora Eloisa Mano IMA – UFRJ

(b) Universidade do estado do Rio de janeiro - UERJ

4.3 TRATAMENTO DA FIBRA DE COCO

A fibra de coco, previamente moída, foi submetida a um tratamento (Figura 1), antes da incorporação ao PEAD, que consiste em duas etapas, sendo a primeira um tratamento químico constituído por três fases (lavagem, mercerização e branqueamento). A segunda etapa consiste em um beneficiamento mecânico (moagem e peneiramento).

Figura 1: Fluxograma do tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.1 Lavagem

A fibra de coco foi submetida por um processo de lavagem de 2h, em um erlenmeyer contendo água destilada na proporção 1:10 (m/v) (em relação à massa de fibra), em temperatura de 70°C. Ao final da lavagem, a fibra é filtrada, posteriormente, seco em estufa com circulação de ar, por 24 h a 60°C.

4.3.2 Mercerização

Após a lavagem, deu-se a mercerização realizada num erlenmeyer contendo solução de NaOH 5% (m/v) na proporção de 1:20 (m/v) em relação a massa de fibra, sobe agitação constante por 2h, ao fim realizou-se uma filtração simples e uma lavagem até pH neutro, sendo colocado em seguida para secar em estufa por 24h a 60°C.

4.3.3 Branqueamento

Como última etapa do tratamento químico realizou-se um branqueamento num erlenmeyer, contendo uma solução H₂O₂ 6% / NaOH 5% (m/v) na proporção 1:1, sendo a mesma colocada numa proporção de 1:20 (m/v) em relação a massa de fibra adicionada, a 45°C por 2h. Ao termino filtrou-se, lavou-se até pH neutro e colocou na estufa por 24h a 60°C.

4.3.4 Moagem e peneiramento

Após o tratamento a fibra de coco tratada, foi moída em um moinho de facas da marca MARCONI, e depois peneirada, afim de se obter partículas menores que 0,149 mm, com a utilização de uma peneira mesh 100.

4.4 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS – EXTRUSÃO

Os compósitos (Tabela 1) foram preparados através da incorporação de fibra tratada, e da não tratada, previamente secas em estufa a 60°C por 24h, ao PEAD. Sendo processados compósitos de PEAD com teores de fibra de coco de 5, 10 e 15 % m/m, em relação à matriz de PEAD.

Tabela 1: Compósitos obtidos

Código utilizado	PEAD puro	I-5	I-10	I-15	T-5	T-10	T-15
PEAD (% m/m)	100	95	90	85	95	90	85
Fibra de Coco <i>In natura</i> (% m/m)	0	5	10	15	-	-	-
Fibra de Coco Tratada (% m/m)	0	-	-	-	5	10	15

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma extrusora dupla rosca corrotacional, TeckTril, foi utilizada com os parâmetros de perfil de temperatura, mostrado na Tabela 2, taxa de alimentação de 4,15 kg/h e velocidade da rosca de 200rpm.

Tabela 2: Parâmetros de extrusão

Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	90	140	140	140	160	160	160	160	160	180

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova para a avaliação das propriedades mecânicas (resistência à tração e impacto), foram injetados, em uma injetora Arbourg, modelo 270S. Os parâmetros de injeção foram: pressão de injeção de 1200 bar, tempo de resfriamento do molde de 30s e temperatura de resfriamento do molde de 30 °C. O perfil de temperatura a utilizado no processo de injeção é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de temperatura de injeção

Zona	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	160	165	170	180	190

Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 CARACTERIZAÇÃO - FIBRA DE COCO E COMPÓSITOS

Os compósitos obtidos pelo processo de extrusão foram caracterizados quanto as suas propriedades mecânicas (resistência à tração e impacto), índice de fluidez (MFI) e térmica, através da análise termogravimétrica (TGA). As matérias-primas (PEAD e fibra de coco) também tiveram a sua estabilidade térmica avaliada. A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada com o objetivo de observar a adesão da fibra na matriz.

4.6.1 Analise termogravimétrica – TGA

As amostras do PEAD puro, dos compósitos PEAD/FC tratada e não tratada (5, 10 e 15% m/m) e da FC a cada etapa do tratamento, tiveram uma análise de TGA, realizada com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sob

atmosfera de nitrogênio com vazão de 40 ml/min e faixa de temperatura de 30 – 830°C.

4.6.2 Teor de holocelulose

O teor de holocelulose foi realizado com a fibra tratada e a não tratada, em duplicata, pesou-se cerca de 3,0 g, que foram colocadas em um erlenmeyer de 500 ml com 120 ml de água destilada, foram colocadas em banho de óleo a 70°C por 5h, ao se atingir a temperatura adicionou-se 1,0 ml de ácido acético glacial e 2,5 g de clorito de sódio, nas primeiras 2h com intervalo de 1h os adicionou novamente.

Ao fim das 5h, filtrou-se em funil sinterizado (N°3), previamente pesado, lavou-se com água destilada até pH 7 e duas vezes com etanol, posteriormente colocou-se em estufa, com circulação de ar, a 60°C por 24h, após as 24h pesou-se o funil novamente. Calculou-se o teor usando a equação 1.

$$T_{ho} = \frac{M_{F2} - M_{F1}}{M_{am}} \times 100 \quad (1)$$

Onde T_{ho} é teor de holocelulose, M_{am} (massa da amostra), M_{F2} (massa do funil após a filtração) e M_{F1} (massa do funil antes da filtração).

4.6.3 Teor de α -celulose e hemicelulose

Para a determinação do teor de α -celulose e hemicelulose, realizada em duplicata, pesou-se inicialmente cerca de 1g de holocelulose, obtida na etapa 4.6.2 (para a fibra tratada e não tratada). O material foi deixado em contato com 15 ml de solução de NaOH 17,5%, m/m, por 2 min. Posteriormente, triturou-se por 8 min e aguardou-se por 20 min.

Após os 20 min, realizou-se uma filtração, em um funil sinterizado N°3 (previamente pesado), lavou-se com água destilada até pH 7,0 que, ao ser atingido, a lavagem passou a ser feita com 200 ml de ácido acético 20%(m/v) e 200 ml de água destilada. Colocou-se para secar na estufa a 60 °C por 24h, sendo pesado novamente o funil após 24h.

Calculou-se os teores de α -celulose e hemicelulose utilizando-se, respectivamente, as Equações 2 e 3.

$$T_{\alpha-celulose} = \frac{M_{\alpha-celulose}}{M_{holocelulose}} \times 100 \quad (2)$$

$$T_{hemicelulose} = T_{\alpha-celulose} - T_{holocelulose} \quad (3)$$

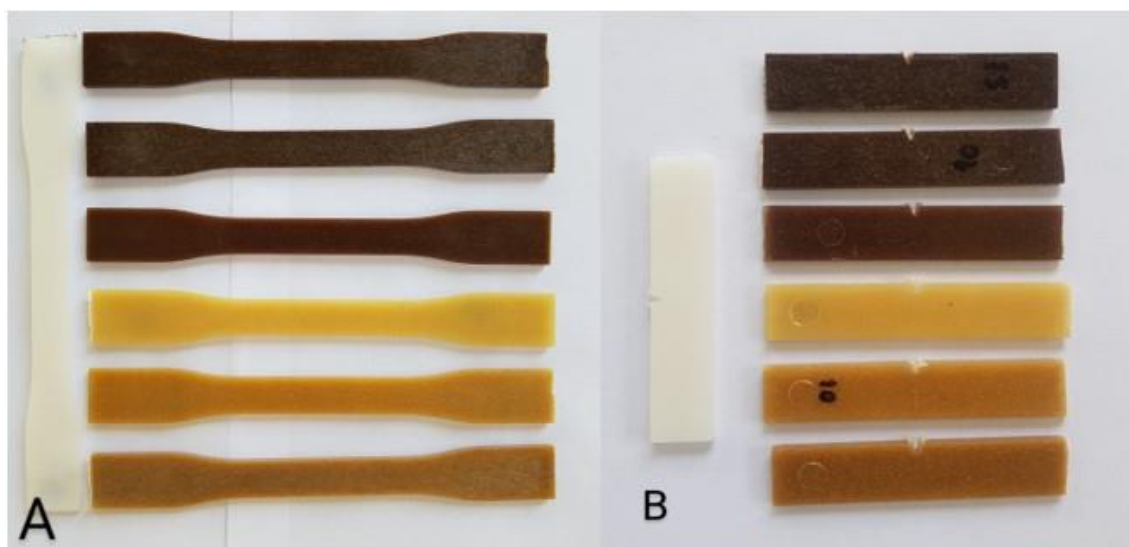
4.6.4 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas avaliadas foram: a resistência à tração e impacto em corpos de provas (Figura 2), obtidas pelo processo de injeção.

A resistência à tração foi realizada segundo a norma ASTM D638, sendo utilizado corpos de provas do tipo I. O ensaio foi realizado em máquina universal de ensaio, com velocidade de separação entre as garras de 15 mm/min e distância entre as garras de 115 mm.

O ensaio de resistência ao impacto IZOD foi realizado, segundo a norma ASTM D256, em 10 corpos de provas entalhados, utilizando um ângulo de 60°C e pendulo de 2 J.

Figura 2: Corpos de prova de resistência à tração (A) e impacto (B)



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.5 Índice de fluidez – MFI

O MFI foi determinado para o PEAD puro e os compósitos PEAD/ FC tratada e não tratada nas concentrações de 5, 10 e 15% m/m, sendo utilizada a norma ASTM D1238, com as condições: temperatura de 190°C e peso de 2160 g.

4.6.6 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

A microscopia foi realizada no PEAD puro e nos compósitos PEAD/FC tratada e não tratada a 15% m/m, em microscópio da marca Jeol, modelo

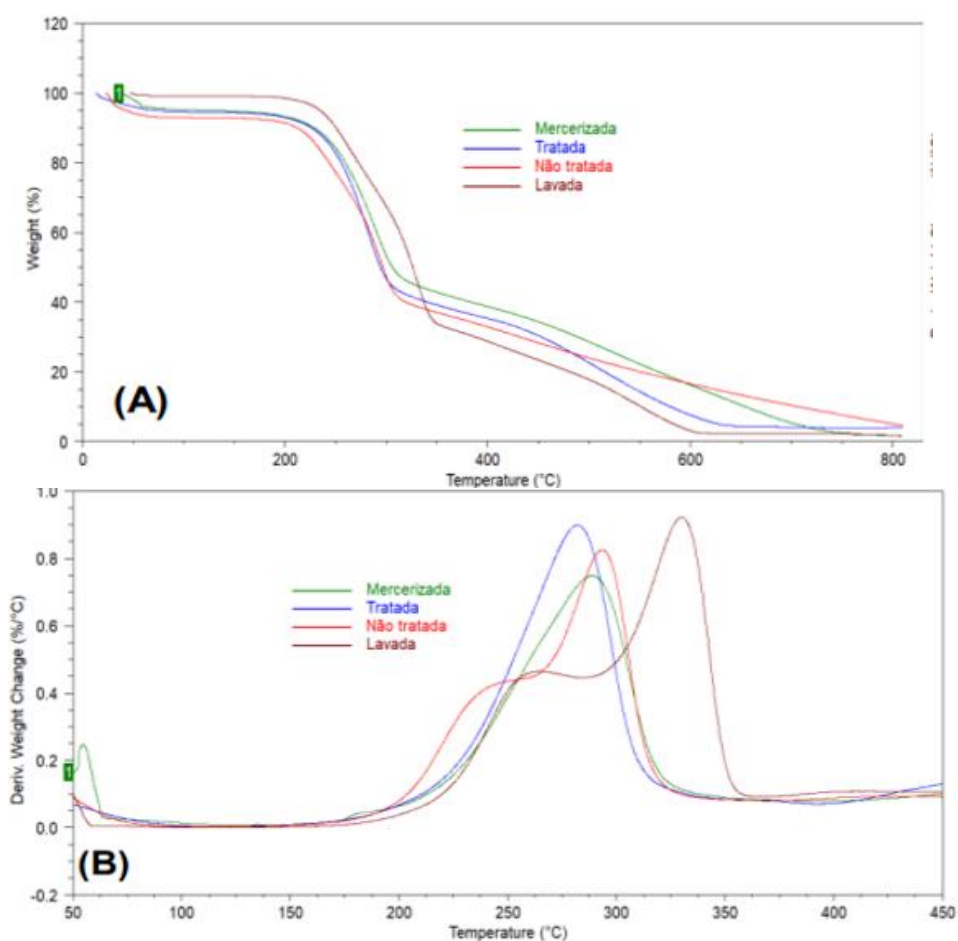
1450VP, com as amostras do corpo de prova de tração fraturadas por criogenia e posteriormente metalizada em ouro, utilizando uma aceleração de elétrons de 20kV, sendo utilizada a ampliação de 500X.

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1 FIBRA DE COCO

Os resultados obtidos pelo TGA (Tabela 4 e Figura 3), foram analisados tendo como base a temperatura de degradação da hemicelulose (220-315°C) e da celulose (315-400°C) (ESCÓCIO et al., 2014), sendo observado um aumento na Tonset de 13,96% ao final do tratamento, nota-se também, através da DTG, o desaparecimento da banda referente a degradação da hemicelulose, o que indica o aumento da concentração de α -celulose ao final do tratamento juntamente da estabilidade térmica da fibra de coco.

Figura 3: Curvas de TGA (A) e DTG (B) da fibra de coco antes e após cada etapa do tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4: TGA da fibra de coco antes e após etapas do tratamento

Fibra	Tonset (°C)	Tmax (°C)	
		Pico 1	Pico 2
Não Tratada	215	254	293
Lavada	232	264	330
Mercerizada	246	-	288
Tratada	245	-	282

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos pelo TGA (Tabela 4 e Figura 3), foram analisados tendo como base a temperatura de degradação da hemicelulose (220-315°C) e da celulose (315-400°C) (ESCÓCIO et al., 2014), sendo observado um aumento na Tonset de 13,96% ao final do tratamento, nota-se também, através da DTG, o desaparecimento da banda referente a degradação da hemicelulose, o que indica o aumento da concentração de α -celulose ao final do tratamento juntamente da estabilidade térmica da fibra de coco.

Através da determinação dos teores de holocelulose, α -celulose e hemicelulose, para a fibra tratada e não tratada (Tabela 5), pode-se observar um sutil aumento de 3,19%, no teor de holocelulose para a fibra tratada em comparação com a *in natura*, além de um aumento da concentração de α -celulose de 28,75% e uma redução de hemicelulose de 23,54%. A sua redução é observada também através da DTG (Figura 3).

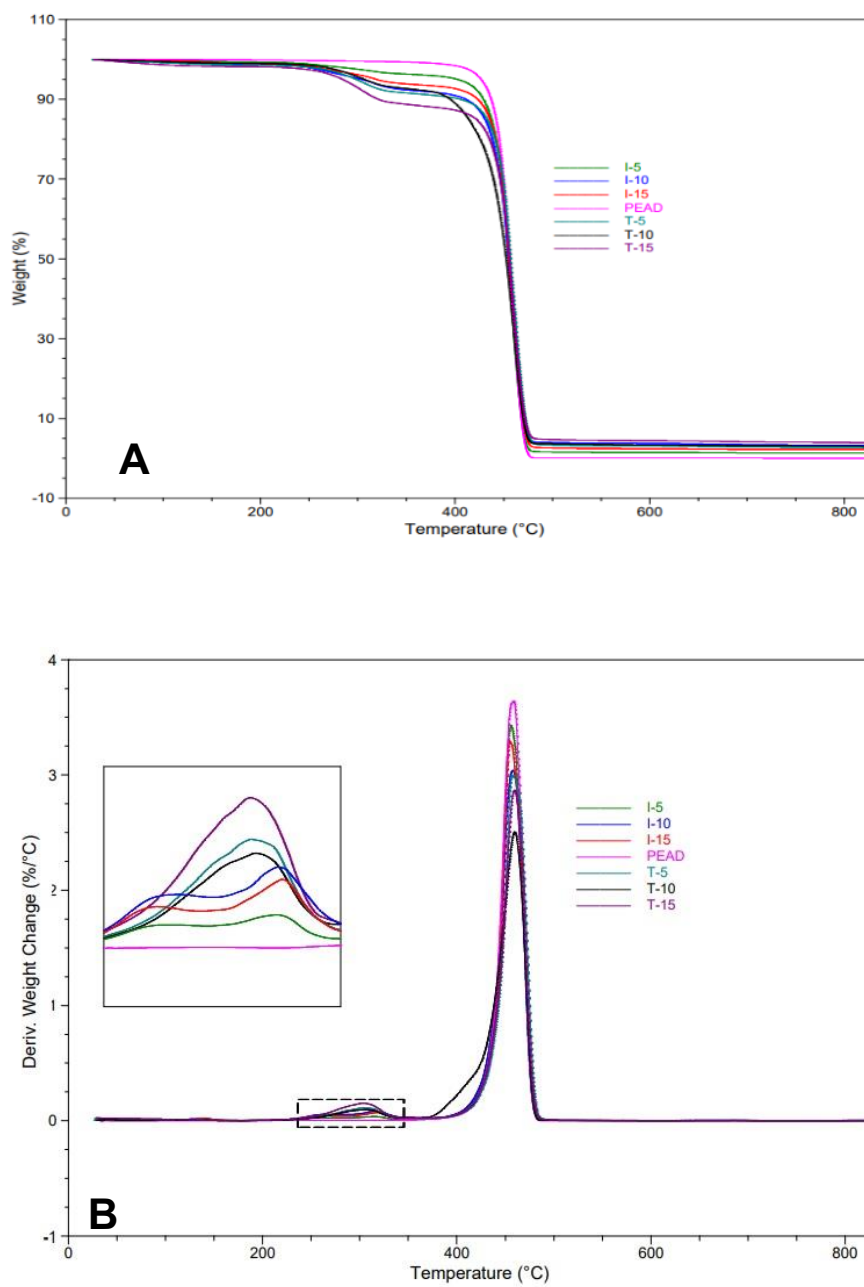
Tabela 5: Composição da fibra de coco tratada e não tratada

Teor (%)	Fibra de coco	
	Não Tratada	Tratada
Holocelulose	83,17 \pm 0,23	88,36 \pm 1,89
α-celulose	44,90 \pm 1,56	73,65 \pm 1,82
Hemicelulose	38,25 \pm 1,77	14,71 \pm 3,71

Fonte: Elaborado pelo autor

5.2 COMPÓSITOS PEAD / FIBRA DE COCO

A Figura 4 mostra as curvas de TGA e DTG, para os compósitos PEAD/ fibra de coco *in natura* e tratada, nas concentrações de 0, 5, 10 e 15% m/m.

Figura 4: Curvas de TGA (A) e DTG (B) dos compostos PEAD/fibra de coco *in natura* e *tratada*

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para as curvas de TGA.

Tabela 6: Resultados TGA dos compostos PEAD/fibra de coco *in natura* (I) e tratada(T)

Amostra	Evento 1			Evento 2			
	Perda de massa 30-350°C (%)	Tonset (°C)	Tmax (°C)	Perda de massa 350-830°C (%)	Tonset (°C)	Tmax (°C)	Resíduo (%)
PEAD puro	-	-	-	99,28	444,09	458,02	0
I-5	4,07	268,49	315,18	94,68	442,81	456,08	1,25
I-10	8,42	265,45	316,25	88,40	441,70	457,76	3,19
I-15	6,59	268,24	318,01	91,20	443,16	454,68	2,21
T-5	9,21	273,47	308,80	88,11	444,26	456,90	2,69
T-10	7,76	271,02	305,39	89,19	439,58	459,47	3,04
T-15	12,03	271,94	303,15	84,11	444,52	459,48	3,86

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos pelo TGA (Figura 4 e Tabela 6) foram analisados considerando-se as ocorrências dos eventos de degradação. O primeiro na faixa de 30-350 °C e o segundo de 350-830 °C, sendo os eventos, respectivamente, a degradação da fibra de coco e o PEAD.

No primeiro evento é possível observar que o aumento do teor de fibra tem a tendência de levar ao aumento da perda de massa. No entanto, esse comportamento não é verificado do I-15 em relação ao I-10 e do T-10 ao T-15. Sendo um forte indicativo de que a carga se encontra distribuída de forma heterogênea na matriz. A mesma relação pode ser observada no resíduo.

Nota-se também, no primeiro evento, que as composições feitas com a fibra tratada apresentaram um ligeiro aumento no valor de Tonset em relação às realizadas com a fibra não tratada. Em contrapartida, para a Tmax, ocorre uma redução de seu valor por volta de 3,38%, para os produzidos com a fibra tratada em comparação com a fibra não tratada.

Já no segundo evento identifica-se que os valores de Tonset e Tmax, referentes à degradação do PEAD, não apresenta variação significativa entre as composições, independentemente do tipo de fibra. Sendo um indicativo de que a fibra, não está tendo uma interação com o PEAD, com intensidade suficiente para alterar a sua estabilidade térmica.

Nota-se que os compósitos obtidos (Figura 5) apresentam uma coloração diferente em relação ao PEAD puro. Entretanto, os compósitos produzidos com a fibra não tratada apresentam uma cor mais escura, sendo um possível sinal de uma maior degradação térmica. Com ambas as fibras, a coloração se torna mais intensa à medida que o seu teor aumenta.

Figura 5: Zoom do corpo de prova de resistência à tração
(Esquerda fibra não tratada / direita fibra trada)



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 7 mostra as propriedades de resistência à tração do PEAD puro e de seus compósitos.

Tabela 7: Propriedades de resistência à tração dos compósitos PEAD/ fibra de coco *in natura* (I) e tratada (T)

Material	Tensão no escoamento (Mpa)	Deformação no escoamento (%)	Modulo elástico (Mpa)
PEAD puro	22,22 ± 0,22	10,11 ± 0,17	886 ± 62
I-5	21,33 ± 0,14	9,27 ± 0,45	1147 ± 44
I-10	19,02 ± 0,57	4,57 ± 0,70	1213 ± 118
I-15	18,16 ± 0,24	3,54 ± 0,09	1364 ± 34
T-5	21,27 ± 0,24	9,20 ± 0,26	1153 ± 50
T-10	18,21 ± 0,64	4,04 ± 0,33	1246 ± 34
T-15	18,30 ± 0,57	3,73 ± 0,30	1410 ± 51

Fonte: Elaborado pelo autor

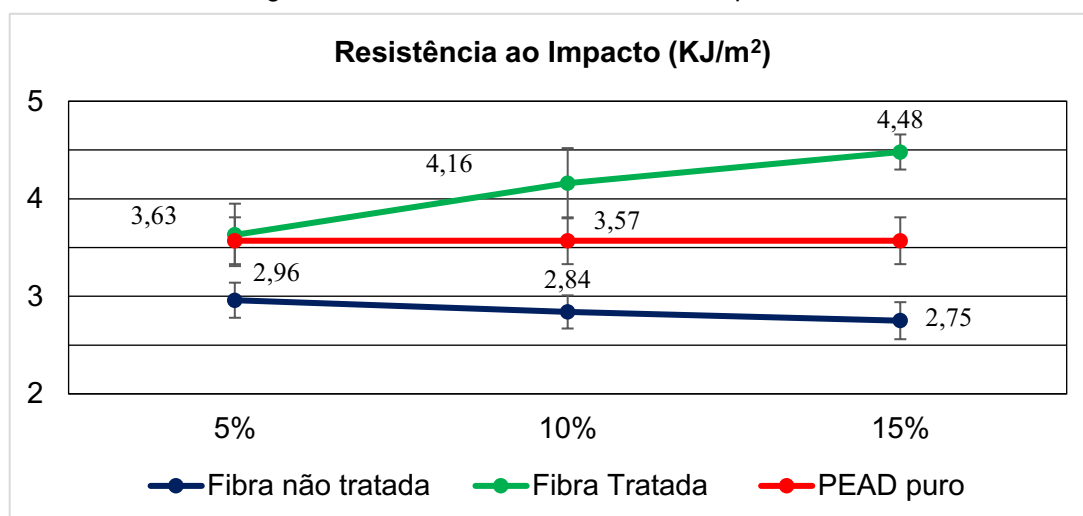
Os dados da Tabela 7 mostram que à medida que a fibra de coco é adicionada à matriz de PEAD, ocorre um decréscimo de 65,0% da capacidade de deformação do compósito final, sendo o maior decréscimo para o teor de 15% m/m para fibra não tratada em comparação para a tratada também a 15%

m/m foi de 63,5%. Tal resultado é esperado, visto que a presença das fibras irá produzir pontos de concentração de tensão, resultando na fratura prematura da matriz polimérica. Entretanto, pode-se observar também que a adição de fibras leva ao aumento da rigidez do compósito final (aumento do módulo elástico).

Outra observação, é que a adição de um maior teor de fibra tratada na matriz (15 % m/m), levou a um maior aumento do valor do módulo elástico em relação ao compósito com fibra não tratada, sendo esse aumento de 1364 para 1410 MPa, para tal resultado sinaliza que o tratamento da fibra tende a ser mais eficiente quando um maior teor de fibra é usado junto do aumento da interação fibra/matriz. Estas observações estão de acordo com os dados de TGA e de composição da fibra. Conforme observados respectivamente na Figura 3 (curvas de TGA) e Tabela 5, a fibra de coco tratada apresentou uma redução (23,54%) da fase hemicelulósica e o aumento do teor da fase celulósica. Este fato levou a uma ancoragem mais pronunciada das fibras a matriz de PEAD, levando ao aumento da rigidez do compósito final.

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência ao impacto (Figura 6) divergem dos obtidos no ensaio de resistência à tração. Os compósitos produzidos com a fibra tratada apresentaram um aumento no valor de resistência ao impacto e à medida que se aumenta o teor de fibra tratada, houve aumento máximo de 25,50% para o compósito com teor de 15% m/m de fibra em relação ao PEAD puro.

Figura 6: Resultados de resistência ao impacto



Fonte: Elaborado pelo autor

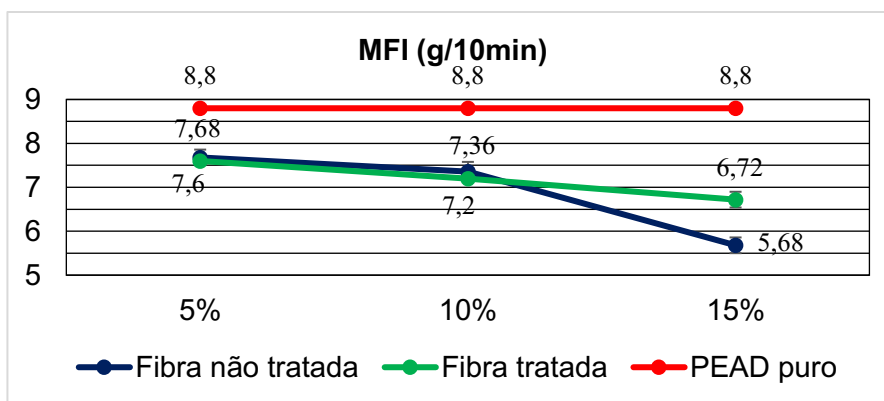
Já as composições produzidas com a fibra não tratada, apresentaram comportamento inverso aos da fibra tratada, ocorrendo uma diminuição da resistência ao impacto (redução máxima de 23,0%), sendo esse o comportamento esperado ao se adicionar fibra à matriz. A melhora da resistência ao impacto (observada somente para a fibra tratada), juntamente com o aumento do módulo elástico, sinaliza a ocorrência de uma melhor adesão fibra/matriz quando a fibra foi tratada.

Através da análise de MFI (Figura 7) é possível observar que o PEAD puro apresentou 8,8 g/10min de fluidez, e para os compósitos com a fibra não tratada nos teores de 5, 10 e 15% m/m foi observado respectivamente os valores de 7,68, 7,36 e 5,680 g/10min. Com isso é possível observar que à medida que se aumentar o teor de fibra a um aumento da viscosidade, em relação ao PEAD puro, o que é um comportamento esperado visto que estruturas fibrosas dificultam o escoamento da cadeia polimérica.

Já os compósitos com a fibra tratada, também nos teores de 5, 10 e 15 % m/m, possui respectivamente os valores de MFI de 7,60, 7,20 e 6,72 g/10min. O que leva a concluir que a adição de fibra tratada, assim como a fibra *in natura*, irá contribuir para o aumento da viscosidade do compósito final.

No entanto os compósitos com a fibra tratada em comparação com os da não tratada, apresentaram para as concentrações de 5 e 10% m/m, valores próximos de MFI, estando dentro dos desvios padrões, mas para a concentração de 15% m/m o compósito oriundo da fibra tratada se mostrou 18% mais fluído que o proveniente da não tratada. Isso se deve a uma possível tendencia da celulose da fibra tratada de se alinhar na direção do fluxo, o que gera um aumento mais pronunciado da fluidez do compósito final, apesar do apesar de sua provável melhor interação com a matriz, que tende a aumentar a viscosidade do compósito obtido.

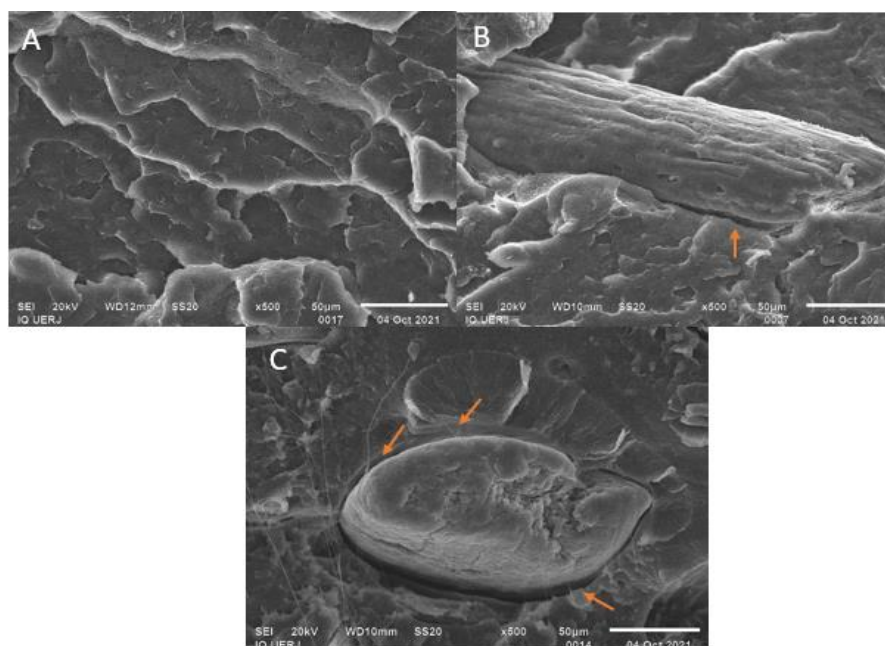
Figura 7: Valores de MFI do PEAD puro e dos compósitos PEAD/fibra de coco



Fonte:Elaborado pelo autor

Através da análise de MEV (Figura 8) é possível visualizar a incorporação da fibra na matriz. Além disso, é possível também verificar a melhor interação da fibra tratada, em comparação a não tratada, ao PEAD. Isso pode ser observado pela presença de fibrilas que se conectam à matriz de polietileno. Tal observação comprova a melhor adesão fibra/matriz, já observada pelo aumento do módulo elástico e da resistência ao impacto nos compósitos obtidos com a fibra tratada.

Figura 8: Microscopia PEAD puro (A), PEAD/FC não tratada 15% m/m (B) e PEAD/FC tratada 15% m/m (C)



Fonte: Elaborado pelo autor

6 CONCLUSÃO

Após o tratamento alcalino e do branqueamento, através da análise de TGA, pode-se concluir que ocorreu um aumento da estabilidade térmica da fibra de coco e pela determinação da composição da fibra, pode-se afirmar que não ocorreu uma variação significativa do teor de holocelulose, mas há uma redução da hemicelulose (23,54%) e um aumento da α -celulose de 28,75%.

Durante os ensaios de resistência à tração dos compósitos produzidos, observa-se um aumento do módulo elástico e uma redução da propriedade de deformação no escoamento, com o aumento do teor de fibra, tanto tratada, como não tratada. No entanto, não foi possível observar uma variação significativa entre os dois tipos de compósitos. Somente no compósito com o maior teor de fibra tratada, a rigidez tende a ser mais pronunciada, sinalizando que, nessa composição, a interação PEAD e fibra foi melhor.

No ensaio de resistência ao impacto, os compósitos obtidos com a fibra tratada apresentaram uma melhora na propriedade, em contrapartida, os provenientes da fibra não tratada foram observados um decréscimo nessa propriedade, sendo mais um forte indicativo que a fibra tratada apresenta uma melhor adesão fibra/matriz.

Através da microscopia MEV foi possível observar, somente com a fibra tratada, a presença de fibrilas, fazendo a ligação da fibra com a matriz de PEAD, comprovando assim a melhor adesão da fibra com a matriz, ratificando os resultados obtidos nos ensaios de resistência ao impacto e à tração.

A adição da fibra ao polímero levou a um aumento da viscosidade. Entretanto, foi observado esse efeito de forma mais pronunciada na fibra não tratada. Comparando os compósitos com as fibras tratada e não tratada com teor de 15% m/m, o compósito com fibra tratada apresentou maior valor de MFI, sinalizando maior fluidez de seu compósito com PEAD, isso ocorreu devido à tendência ao alinhamento da celulose na fibra tratada.

7 REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, É. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 114–122, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013000100021&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>.

BHOWMICK, M.; MUKHOPADHYAY, S.; ALAGIRUSAMY, R. Mechanical properties of natural fibre-reinforced composites. **Textile Progress**, 3, v. 44, n. 2, p. 85–140, jun. 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405167.2012.676800>>. Acesso em: 1 ago. 2021.

CHEN, Y. et al. Melting and crystallization behavior of partially miscible high density polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer (HDPE/EVA) blends. **Thermochimica Acta**, v. 586, p. 1–8, jun. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2014.04.007>>. Acesso em: 4 fev. 2022.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. de. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**, v. 13, n. 1, p. 01–13, jan. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282003000100005&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 5 fev. 2021.

FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552–1596, nov. 2012. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079670012000391>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

FIORE, V.; DI BELLA, G.; VALENZA, A. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 68, p. 14–21, jan. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.08.025>>. Acesso em: 4 ago. 2021.

JIANG, B. et al. Structural Characterization of Lignin and Lignin-Carbohydrate Complex (LCC) from Ginkgo Shells (*Ginkgo biloba* L.) by Comprehensive NMR Spectroscopy. **Polymers**, v. 10, n. 7, p. 736, 4 jul. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4360/10/7/736>>. Acesso em: 4 fev. 2022.

KABIR, M. M. et al. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, out. 2012. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359836812002922>>. Acesso em: 5 fev. 2021.

LI, X.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. Chemical Treatments of Natural Fiber for Use *in natural* Fiber-Reinforced Composites: A Review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 15, n. 1, p. 25–33, 17 fev. 2007. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10924-006-0042-3>>. Acesso em: 5 fev. 2022.

M.R., S. et al. A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p. 108–121, mar. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861718314152>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MAHJOUR, R. et al. Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 103–113, mar. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.036>>. Acesso em: 4 ago. 2021.

MUENSRI, P. et al. Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat gluten biocomposite. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 2, p. 173–179, fev. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.11.002>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

PASSOS, P. R. de A. Destinação Sustentável de Cascas de Coco (Cocos nucifera) Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas. **Coppe/Ufrj**, p. 166p, 2005.

PEREIRA, P. H. F. et al. Vegetal fibers in polymeric composites: a review. **Polímeros**, v. 25, n. 1, p. 9–22, fev. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282015000100002&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 15 set. 2021.

RAYUNG, M. et al. The Effect of Fiber Bleaching Treatment on the Properties of Poly(lactic acid)/Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Composites. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 8, p. 14728–14742, 22 ago. 2014. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1422-0067/15/8/14728>>. Acesso em: 4 ago. 2021.

SAJAN, S.; PHILIP SELVARAJ, D. A review on polymer matrix composite materials and their applications. **Materials Today: Proceedings**, n. xxxx, set. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.034>>. Acesso em: 20 set. 2021.

SANJAY, M. R. et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 566–581, jan. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.101>>. Acesso em: 29 jul. 2021.

SAVINI, G.; ORÉFICE, R. L. Comparative study of HDPE composites reinforced with microtalc and nanotals: high performance filler for improving ductility at low concentration levels. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 6, p. 16387–16398, nov. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2238785420320561>>. Acesso em: 4 fev. 2022.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K.; GUPTA, R. K. Review: Raw Natural Fiber-Based Polymer Composites. **International Journal of Polymer**

Analysis and Characterization, v. 19, n. 3, p. 256–271, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1023666X.2014.880016>>. Acesso em: 12 set. 2021.

VENKATARAJAN, S.; ATHIJAYAMANI, A. An overview on natural cellulose fiber reinforced polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, 2, v. 37, n. Part 2, p. 3620–3624, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.773>>.

VIGNESHWARAN, S. et al. Recent advancement in the natural fiber polymer composites: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 124109, dez. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620341548>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

WIBOWO, A. C. et al. Biodegradable nanocomposites from cellulose acetate: Mechanical, morphological, and thermal properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 37, n. 9, p. 1428–1433, set. 2006. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359835X05003313>>. Acesso em: 10 set. 2021.

YUAN, Q. et al. On Processing and Impact Deformation Behavior of High Density Polyethylene (HDPE)-Calcium Carbonate Nanocomposites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 294, n. 2, p. 141–151, 13 fev. 2009. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mame.200800300>>.

ZAH, R. et al. Curauá fibers in the automobile industry – a sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 11–12, p. 1032–1040, jan. 2007. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652606003507>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

