INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu – uma contribuição para a sustentabilidade.

MARIANA MATOS ARANTES

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais

Orientadora:
Profa. Dra. Esperidiana Augusta Barretos de Moura

São Paulo
2020

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

**Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e
LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu - uma contribuição para a
sustentabilidade**

Versão Corrigida

MARIANA MATOS ARANTES

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Materiais**

**Orientadora:
Profa. Dra. Esperidiana Augusta
Barretos de Moura**

**São Paulo
2020**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho,
para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte

Como citar:

ARANTES, M. M. . ***Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu – uma contribuição para a sustentabilidade..*** 2020. 80 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo.
Disponível em: (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Arantes, Mariana Matos

Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu – uma contribuição para a sustentabilidade. / Mariana Matos

Arantes; orientadora Esperidiana Augusta Barretos de Moura.

-- São Paulo, 2020.

80 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear (Materiais) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2020.

1. Babaçu. 2. LDPE. 3. EVA. I. Augusta Barretos de Moura, Esperidiana , orient. II. Título.

Aos meus pais Elieda e Jairo, por todo apoio e incentivo, independente das circunstâncias.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Esperidiana Augusta Barretos de Moura pela oportunidade de realizar este trabalho, pela orientação e auxílio em todo o percurso durante o mestrado.

Ao UNITPAC por proporcionar a oportunidade de realização do mestrado, em especial à pessoa do André Machado de Senna, coordenador do acordo de cooperação técnico-científica, que me orientou e acalmou sempre que possível.

Ao IPEN na pessoa do Fernando José Firmino Moreira, coordenador do escritório de gestão de projetos, pela oportunidade de realização do mestrado.

À minha família, mãe, pai, meus irmãos Rafael e Mateus, meus avós Geny e Joares (*in memoriam*) que sempre me apoiaram em todos os momentos, que foram minha fortaleza nesse trajeto, sempre com amor e paciência. Se fizeram um apoio necessário e indispensável.

Aos meus coordenadores de curso, Indira, Matheus e Filipe pela compreensão e todo o auxílio que pude receber ao longo do processo, vocês são demais.

À Dani, uma verdadeira amiga que no decorrer desse tempo me escutou, me ajudou, me incentivou e isso independente de qualquer hora ou circunstância.

À Gabriela, Tia Helena e Tio Léo, que mesmo sendo família se tornaram ainda mais próximos, foram irmã, mãe e pai nas minhas idas à São Paulo, sempre com preocupação e muito carinho.

À Indira e Márcia, amigas que construí ao longo dessa jornada e que juntas superamos os quilômetros entre Araguaína e São Paulo, companheiras de viagens e de luta que ajudaram os dias transcorrerem sempre mais leves.

À Jullyana Santana e Carlos Soares amigos que o mestrado me deu e conselheiros nas horas dos problemas.

E a todos amigos e colegas que de algum modo, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

Cada pessoa é aquilo que crê; fala o que gosta;
retém o que procura; ensina o que aprende;
tem o que dá e vale o que faz.
(Chico Xavier)

RESUMO

ARANTES, Mariana M. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu – uma contribuição para a sustentabilidade. 2020. 78 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo

A crescente preocupação sobre problemas ambientais em união com pesquisadores, tem gerado uma nova frente de pesquisa que visa a reciclagem principalmente de polímeros e o aproveitamento de materiais originários de fontes renováveis. Este trabalho visa a incorporação da fibra proveniente do coco de babaçu em polímeros reciclados e puros, onde 75% deles são provenientes da reciclagem. As fibras do coco de babaçu foram caracterizadas, por meio dos ensaios de densidade, o teor de umidade natural e a capacidade de absorção de água. A preparação da blenda polimérica constituída por 25 % em massa de EVA reciclado, 25 % de EVA virgem e 50 % de LDPE foi realizada por meio da técnica de mistura mecânica no estado fundido, utilizando uma extrusora dupla-rosca, e a obtenção das chapas para confecção dos corpos de prova foram feitas em uma extrusora monorosca com matriz plana acoplada. Foi utilizado o agente espumante Endex BR 2650, na proporção de 2,5% em massa. As amostras foram caracterizadas por densidade aparente, DRX, TG, ensaio mecânico de resistência à tração e ensaio de flamabilidade. As curvas de raios X apresentaram os picos característicos dos materiais, não demonstrando alteração dos mesmos no momento de processamento. A termogravimetria mostrou ligeira influência da fibra e argila na temperatura inicial de degradação, bem como nos percentuais de perda de massa. No ensaio de resistência à tração a fibra e argila quando introduzidas na blenda provocaram uma redução variando de 18 % a 43 %, mas ao adicionar o agente espumante houve um acréscimo (10 % a 61 %) quando comparada com as adições de 1% e 3% de FCB, respectivamente. O ensaio de flamabilidade, a incorporação de agente espumante e argila apresentaram atraso na ignição do material, bem como maior dificuldade de propagação das chamas.

Palavras-chave: Babaçu, LDPE, EVA.

ABSTRACT

ARANTES, Mariana M. Development and characterization of polymeric blend based on EVA and LDPE recycled with babassu coconut fibers - a contribution to sustainability. 2020. 77 P. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP. São Paulo.

The growing concern over environmental issues in conjunction with researchers has generated a new research front that aims to study the recycling process, mainly polymers, and the use of materials from renewable sources. This work aims to incorporate the fiber from babassu coconut in recycled and pure polymers, where 75% of them come from recycling. The babassu coconut fibers were characterized by density tests, natural moisture content, and water absorption capacity. The preparation of the polymer blend consisting of 25 wt% of recycled EVA, 25 wt% of virgin EVA, and 50 wt% of LDPE was performed employing a mechanical mixing technique in the molten state by using a twin-screw extruder, and obtaining the plates for making the sample was made in a single screw extruder coupled with a flat channel. The foaming agent Endex BR 2650 was used, in the proportion of 2.5 wt%. The samples were characterized by bulk density, XRD, TG (thermogravimetry), mechanical tensile strength test and flammability test. The x-ray curves displayed the characteristic peaks of the materials, showing no change in the moment of processing. The thermogravimetry analysis showed a slight influence of fiber and clay on the initial temperature of degradation, as well as on the mass-loss rate. In the tensile strength test, the fiber and clay introduced into the blend caused a reduction ranging from 18% to 43%, but when adding the foaming agent there was an increase of 10% to 61% when compared with the additions of 1% and 3% FCB (Babassu Coconut Fiber), respectively. The incorporation of foaming agent and clay showed, in the flammability test, a delay in the ignition of the material, as well as greater difficulty for the flames to spread.

Palavras-chave: Babassu, LDPE, EVA.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Monômeros e polímeros mais comuns.....	22
Tabela 2 - Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras naturais	32
Tabela 3 - Formulação dos compósitos e espumas	48
Tabela 4 - Caracterização química da fibra de coco babaçu	57
Tabela 5 - Densidade aparente da blenda, compósitos e espumas.....	60
Tabela 6 - Temperatura inicial de degradação térmica e perda de massa para a blenda e compósitos com FCB e AVC	63
Tabela 7 - Temperatura inicial de degradação térmica e perda de massa.....	64
Tabela 8 - Ensaio de resistência à tração da blenda e compósitos.....	64
Tabela 9 - Resultados dos ensaios de resistência à tração das espumas	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Importância relativa dos materiais.....	19
Figura 2 - Estrutura dos monômeros e polímeros	20
Figura 3 - Modelo de polímero semicristalino.....	21
Figura 4 - Efeito do grau de cristalinidade e da massa molar nas características físicas do polietileno	21
Figura 5 - Estrutura química do EVA.....	23
Figura 6 - EVA granulado	24
Figura 7 - Representação da molécula de polietileno	25
Figura 8 - LDPE reciclado	26
Figura 9 - Principais tipos de compósitos	28
Figura 10 - Representação da ruptura em materiais: (a) Compósito com fibras curtas e (b) Compósitos com fibras longas	29
Figura 11 - Palmeira de babaçu	33
Figura 12 - Coco de babaçu (Partes aproveitáveis)	34
Figura 13 - Difração de raios X.....	38
Figura 14 - TG para polímeros	39
Figura 15 - Esquema de corpo de prova submetido a um ensaio de tração	40
Figura 16 - Curso do fogo e suas etapas de desenvolvimento.....	41
Figura 17 - Ensaio de flamabilidade horizontal, UL 94	42
Figura 18 - Fibra de coco babaçu natural.....	44
Figura 19 - Fibra de coco babaçu processada	45
Figura 20 - Máquina de abrasão Los Angeles SoloCAP	45
Figura 21 - Argila verde clara modificada	46
Figura 22 - Extrusora dupla rosca co-rotante	47
Figura 23 - Extrusora monorosca, com matriz plana.....	49
Figura 24 - Determinação de densidade aparente (fibra de coco babaçu).....	51
Figura 25 - Equipamento de difração de raios X (DRX)	53
Figura 26 - TGA Q500 V20.....	53
Figura 27 - Máquina universal de ensaios EMIC.....	54

Figura 28 - Ensaio de flamabilidade	55
Figura 29 - Taxa de absorção e água da FCB, por intervalo de tempo	56
Figura 30 - Curva de DRX para a fibra de coco babaçu.....	58
Figura 31 - Curva de DRX para a argila verde clara natural e modificada	59
Figura 32 - Curvas de DRX para a blenda e compósitos com FCB e AVC	61
Figura 33 - Curvas de DRX para as espumas.....	61
Figura 34 - Curva de TG para a blenda e compósitos com FCB e AVC	62
Figura 35 - Curvas de TG para as espumas	63
Figura 36 - Diagrama tensão x deformação para a blenda e compósitos	66
Figura 37 - Diagrama tensão x deformação para as espumas.....	66
Figura 38 - Corpos de prova sem agente espumante submetidos à ensaio de flamabilidade.	67
Figura 39 - Corpos de prova com agente espumante (2,5 % ENDEX BR2650) submetidos à ensaio de flamabilidade. (1) blenda, (2) 1 % FCB e 1 % AVC, (3) 3 % FCB e 1 % AVC.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ASMUBIP - Associação Regional Mulheres Trabalhadoras Rurais Bico do Papagaio

ASTM - American Society for Testing and Materials

AVC – Argila Verde Clara

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CQMA – Centro de Química e Meio Ambiente

DRX – Difração de Raios X

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPS – Poliestireno Expandido

EVA - poli (etileno-co-acetato de vinila)

EVAp - poli (etileno-co-acetato de vinila) puro

EVAr - poli (etileno-co-acetato de vinila) reciclado

FCB – Fibra de Coco Babaçu

GPa – Giga Pascal

HDPE – Polietileno de Alta Densidade

IPEN – Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares

IPN – Reticulados Poliméricos Interpenetrantes

LDPE – Polietileno de Baixa Densidade

MEV – FEV - Microscopia eletrônica de varredura com fonte de emissão de campo

MPa – Mega Pascal

PE – Polietileno

PP – Polipropileno

PF – Resina Fenólica

PU – Poliuretano

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SP – São Paulo

TG - Análise termogravimétrica

TO – Tocantins

UL – Underwriters Laboratories

UNITPAC – Centro Universitário Presidente Antônio Carlos

XPS – Poliestireno Extrudado

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Polímeros	19
2.2 Poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] – EVA	23
2.3 Polietileno	24
2.3.1 Polietilenos de Baixa Densidade (LDPE)	25
2.4 Blendas	26
2.5 Compósitos	28
2.6 Polímeros Reforçados com Fibras Vegetais	30
2.7 Fibras Vegetais	31
2.7.1 Fibra vegetal de Coco Babaçu	32
2.8 Espumas	34
2.8.1 Espumas com fibras vegetais	36
2.9 Técnicas de caracterização	37
2.9.1 Difração de Raios X (DRX)	37
2.9.2 Análise termogravimétrica (TG)	38
2.9.3 Ensaio mecânico de tração	39
2.9.4 Ensaio de flamabilidade	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Materiais	43
3.2 Métodos	43
3.2.1 Processamento da fibra de coco Babaçu (FCB)	43
3.2.1.1 Moagem e peneiramento	44
3.2.2 Modificação da argila verde clara (AVC)	46
3.3 Obtenção da blenda, compósitos e espumas	47
3.3.1 Obtenção da blenda	47
3.3.2 Preparação dos compósitos e espumas	48
3.3.3 Obtenção das chapas de compósitos e espumas	48

3.4	Caracterizações	49
3.4.1	Teor de umidade natural	49
3.4.2	Absorção de água	50
3.4.3	Densidade aparente em relação à água	50
3.4.4	Caraterização química da fibra	52
3.4.5	Difração de raios X (DRX)	52
3.4.6	Análise termogravimétrica (TG)	53
3.4.7	Ensaio mecânico de resistência à tração	54
3.4.8	Flamabilidade	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Análise da fibra de coco Babaçu e argila brasileira modificada	56
4.1.1	Teor de umidade natural da fibra	56
4.1.2	Absorção em massa de água da fibra	56
4.1.3	Densidade aparente em relação à água da fibra	57
4.1.4	Caraterização química da fibra	57
4.1.5	Difração de Raios X (DRX)	57
4.1.5.1	DRX da fibra de coco babaçu	57
4.1.5.2	DRX da argila brasileira modificada	58
4.2	Análise da blenda, compósitos e espumas	59
4.2.1	Densidade aparente em relação à água	59
4.2.2	Difração de raios X (DRX)	60
4.2.3	Análise termogravimétrica	62
4.2.4	Ensaio mecânico de resistência à tração	64
4.2.5	Flamabilidade	67
5	CONCLUSÕES	68
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros vêm sendo utilizados pela humanidade desde 1600 antes de Cristo, através da borracha natural. Com o passar do tempo a humanidade continuou a explorar as possibilidades desses materiais de modo cada vez mais intensivo, inicialmente com polímeros naturais, como ceras, resinas e borrachas naturais e após o século XIX houve o início de desenvolvimento dos termoplásticos modernos (CRAWFORD e QUINN, 2016).

A indústria polimérica associada a grandes centros de pesquisa tem buscado cada vez mais alternativas economicamente viáveis e que objetivem em sustentabilidade. Vale ressaltar que, não só a reciclagem pode ser tida como meio para obter-se um produto sustentável, diversas práticas vêm sendo adotadas ao longo dos anos, tais como, destinação adequada das matérias primas não utilizadas em processos de manufatura, uso de materiais provenientes de fontes renováveis, dentre outras.

Com a Revolução Industrial, iniciada no século XIX, a população nos centros urbanos cresceu exponencialmente reduzindo a população rural. No Brasil na década de 60 com a Era Vargas e o incentivo às indústrias de base, houve um movimento migratório do campo para a cidade. Esse adensamento populacional urbano trouxe uma série de agravantes, sendo que uma das principais delas foi a produção de grandes volumes de lixo. O descarte desses resíduos produzidos acarretou a criação de lixões a céu aberto, aterros controlados e posteriormente aterros sanitários. A gestão de resíduos sólidos urbanos continua a ser uma das áreas mais negligenciadas do desenvolvimento urbano, o que tem requerido meios de gestão sustentáveis por parte do poder público (MWANZA e MBOHWA, 2017; TANG, et. al, 2020).

Os resíduos sólidos urbanos quando descartados de modo inapropriado, através de lixões e aterros sanitários, emitem gases poluentes ao meio ambiente, como é o exemplo do gás metano, um dos principais agentes no processo do efeito estufa. Com a implantação de aterros sanitários, todo o descarte do lixo ocorre de

modo adequado e os resíduos provenientes do processo de decomposição, como o chorume e o gás metano, têm destinação de modo a serem reutilizados em outros sistemas (BRASIL, 2014).

Estima-se que no Brasil no ano de 2014, foram produzidas aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Desse volume coletado 58,4 % tiveram destinação adequada em aterros sanitários e o restante que compreende aproximadamente 33 milhões de toneladas foram dispostos em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2014). Em comparação no ano de 2019 foram geradas 79 milhões de toneladas, um aumento de 0,5 % em comparação a 2014. E o percentual 59,5 % do volume coletado teve destinação adequada, equivalendo à 43,3 milhões de toneladas (ABRELPE, 2019).

O volume com descarte adequado ainda apresenta sensível melhora se analisado os últimos 4 anos, se comparado com a evolução industrial e tecnológica o Brasil precisa melhorar significativamente a destinação dos resíduos sólidos urbanos. Pois, esse descarte realizado de modo incorreto além de acarretar danos diretos ao meio ambiente, tem agravado casos de enfermidades coletivas, gerando caos no sistema público de saúde.

No ano de 2010, entrou em vigor a lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dentre outros itens, aborda o tratamento de materiais poliméricos. A lei estabelece métodos para o desenvolvimento sustentável do país, impõe um sistema de logística reversa, e incentiva o reuso e reciclagem dos materiais. Com esses incentivos e a crescente preocupação pela degradação ambiental é notória a utilização de materiais poliméricos reciclados, como o polietileno, acetato de vinila, poli(cloreto de vinila), poli tereftalato de etileno, dentre outros.

Atualmente o segmento de painéis espumados para isolamento térmico vem apresentando um crescimento exponencial para as aplicações em construções sustentáveis de residências à condomínios, supermercados, *shoppings*, edifícios industriais, entre outros. Este crescimento se deve a economia de energia versus a eficiência térmica, em razão da utilização eficiente de energia e de materiais que não agredam o meio ambiente; assim como ao desenvolvimento de novos materiais sustentáveis com coeficientes de isolamento térmico que possibilitam obter resultados satisfatórios atendendo as normas estabelecidas. Estas inovações têm

resultado em um padrão mundial de qualidade construtiva, onde o ganho é o ambiental, além dos futuros usuários destas edificações.

A espuma de isolamento térmico é um item que deve estar inserido nos critérios de desempenho das construções sustentáveis, da mesma maneira que sistemas de manutenção da qualidade do ar, reaproveitamento de águas, utilização de materiais ecologicamente corretos, ergonomia de móveis e utensílios, dentre outros, pois é um item fundamental em relação ao conforto dos usuários nas edificações.

Este trabalho estudou os efeitos da incorporação de fibra de coco babaçu e argila verde clara em blendas de EVA e HDPE, com e sem adição de agente espumante. As incorporações ocorreram através de mistura mecânica no estado fundido, utilizando uma extrusora dupla-rosca e posteriormente as chapas foram obtidas com auxílio de extrusora monorosca com matriz plana acoplada.

1.1 Objetivo

O objetivo principal do presente trabalho é o desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de poli (etileno-co-acetato de vinila) (EVA) e polietileno de baixa densidade (LDPE) reciclados com fibras de coco de babaçu, visando uma forma de contribuição para a sustentabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Polímeros

A história da humanidade está diretamente relacionada a materiais que foram fundamentais no desenvolvimento dos povos e contribuíram para o avanço da tecnologia. A figura 1 apresenta a relação da evolução histórica do homem e o material que marcou tal civilização.

Figura 1 - Importância relativa dos materiais

Fonte: SHACKELFORD, 2008.

É notório que, os polímeros são um dos materiais utilizados pela humanidade e responsáveis por um importante impacto tecnológico no campo da engenharia moderna. Os termoplásticos também denominados como plásticos são uma das categorias de polímeros, sendo amplamente conhecidos por sua fácil capacidade de modelagem no processo produtivo. Estes podem ser de origem

natural ou sintéticos, sendo naturais os provenientes de animais e plantas e os sintetizados obtidos com auxílio de processos químicos. (CALLIESTER JR, 2002; MANO, 1991; DRZEZDZO, et.al, 2019).

O monômero é uma molécula que compõem a unidade de base dos polímeros, ao se ligar a outros monômeros ocorre o processo da polimerização, formando cadeiras de repetição, quando esses monômeros são iguais, são denominados de homopolímeros. Já os copolímeros são aqueles provenientes da soma de monômeros diferentes. Os polímeros são macromoléculas constituídas por muitas unidades ou segmentos repetidos, essas unidades são denominadas de meros e são formadas por ligações de carbono e hidrogênio, conforme demonstrado na figura 2 (SHACKELFORD, 2008; BAILEY, et.al, 2020).

Figura 2 - Estrutura dos monômeros e polímeros

Fonte: CANEVAROLO, 2006

Os materiais polímeros podem ser amorfos ou semicristalinos. Os que não possuem capacidade de cristalização são denominados amorfos, isso ocorre devido à desordem na cadeia polimérica. Já os semicristalinos (Fig. 3), embora possuem regiões amorfas na sua cadeia, as demais regiões são cristalinas, ou seja, estão em perfeita ordem proporcionando um empacotamento regular, chamado de cristalito (CANEVAROLO, 2006; DRZEZDZO, et.al, 2019).

Figura 3 - Modelo de polímero semicristalino

Fonte: CALLIESTER JR, 2002

A cristalinidade de um material recebe interferência direta da massa molar dos materiais. A figura 4 apresenta as curvas onde é demonstrada a correlação entre a massa molar e cristalinidade, os plásticos quando observados os valores da massa molar podem ser moles ou duros, essa variação ocorre devido a diferença de cristalinidade.

Figura 4 - Efeito do grau de cristalinidade e da massa molar nas características físicas do polietileno

Fonte: CANEVAROLO, 2006

Muitos polímeros comerciais são simples compostos de hidrogênio e carbono como o polietileno, outros possuem oxigênio, nitrogênio, flúor e silício. Assim como os metais alguns polímeros apresentam como propriedades mecânicas a ductilidade, sendo estes leves e de baixo custo, proporcionando excelente aplicação na área do desenho industrial. A tabela 1 apresenta alguns

polímeros amplamente utilizados no meio comercial, seus respectivos monômeros e nomenclaturas (SHACKELFORD, 2008).

Tabela 1 - Monômeros e polímeros mais comuns

Monomero	Nomenclatura IUPAC	Polímero	Nomenclatura usual
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OCH}_3 \end{array}$	poli[1-(metoxycarbonil)1-metileno]		poli(metacrilato de metila)
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	poli(1-feniletileno)		poliestireno
$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	poli(metileno)		polietileno
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	poli(1-metiletileno)		polipropileno
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	poli(1-cloroetileno)		poli(cloreto de vinila)

Fonte: Adaptado de COMPTON et al., 2012

Denominados como termofixos ou termoplásticos, os polímeros são assim classificados de acordo com suas características mecânicas. Os termoplásticos são aqueles com ligações de Van der Waal, ligações químicas fracas entre as cadeias, possibilitando uma separação mais fácil das ligações quando introduzida energia, apresentam solubilidade e podem solubilizar em solventes comuns. No quesito sustentabilidade, apresentam vantagem por proporcionar capacidade de reciclagem, possibilitando inúmeras conformações quando aquecidos, minimizando o impacto na utilização de recursos naturais. Os polímeros termofixos, não são solúveis e não fundem em solventes orgânicos comuns, quando aquecidos, suas ligações ficam cruzadas proporcionando uma estrutura tridimensional (COMPTON et al., 2012; BAILEY, et.al, 2020).

2.2 Poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] – EVA

O copolímero poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA), cuja estrutura química encontra-se apresentada na figura 5, é um copolímero com uma vasta gama de aplicações industriais, tais como, embalagens flexíveis, fios e cabos, calçados, mangueiras e tubos, etc. Basicamente, as aplicações do EVA estão voltadas para materiais que possuem como características em comum estabilidade térmica, boa resistência ao impacto e flexibilidade, dentre outras (KUILA, et. al., 2012; SASIKALA, et.al, 2018).

Figura 5 - Estrutura química do EVA

Fonte: Autor da dissertação.

O EVA é uma poliolefina relativamente polar (polaridade variando conforme o teor de acetato de vinila presente na estrutura), esse caráter polar possibilita a formação de mais e melhores interações com as nanocargas adicionadas. O teor de adição de acetato de vinila controla as propriedades do EVA, podendo aplicá-lo como borracha, elastômeros ou termoplástico (VALENTIM. et. al., 2014; RAJCZAK, et.al, 2020). Para que possa ser processado ele encontra-se comercializado, em formato granular, conforme a figura 6.

Figura 6 - EVA granulado

Fonte: Autor da dissertação.

Os resíduos de EVA constituem um sério problema ambiental. Contudo, é possível reciclar esses resíduos, ou transformá-los em materiais que possam ser re-usados, por exemplo, como insumo no processo produtivo da indústria da construção civil. Esses resíduos podem ser utilizados como agregado sintético leve, em compósitos cimentícios, para produção de blocos vazados de vedação, sem função estrutural (OKOLIEOCHA, et. al., 2015; SANG, et. al., 2016).

Além da grande disponibilidade (cerca de 190.400 toneladas são geradas a nível mundial a cada ano), os resíduos de EVA não necessitam de qualquer tratamento térmico para serem utilizados como agregados leves (SANG, et. al., 2016; SANTOS, et. al., 2016; SASIKALA, et.al, 2018). Por se tratar de um resíduo que possui baixa massa específica, grande capacidade de se deformar, tem boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte e não suscetível a fungos, pode-se, a partir dele, desenvolver um tipo de bloco que permita associar à função de vedação ao conforto térmico e a leveza (RAJCZAK, et.al, 2020).

2.3 Polietileno

O polietileno (PE) é o polímero de poliolefinas mais utilizado, representando 20 % da produção de plástico no mundo. Quando analisada suas propriedades práticas, pode-se observar, baixo custo, excelente isolamento elétrico, boa processabilidade e resistência a produtos químicos. No entanto, existem algumas desvantagens com o uso de polietileno, incluindo a baixa

resistência ao fissuramento por esforço ambiental e pouca compatibilidade com vários aditivos, os quais restringem a sua utilização para certos fins, tais como aplicação em tubulações plásticas (AKHLAGHI, et. al., 2012; RAHEEM, et.al. 2019).

Os polietilenos são as poliolefinas mais simples. Na figura 7 é mostrada a representação da unidade de repetição do polietileno. Quanto menor o grau de ramificação e o comprimento das cadeias poliméricas, maior a cristalinidade e, conseqüentemente, maior sua densidade. O polietileno não é polar e a atração intermolecular é devida às forças de Van der Waals relativamente fracas. (EBEWELE, 1996).

Figura 7 - Representação da molécula de polietileno

Fonte: Autor da dissertação.

Em condições normais, os polietilenos não são tóxicos, podendo inclusive ser usados em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos, no entanto certos aditivos podem ser agressivos. (EBEWELE, 1996; WAN, et. al., 2017; COUTINHO, et. al. 2003; RAHEEM, et.al. 2019).

2.3.1 Polietilenos de Baixa Densidade (LDPE)

O Polietileno de Baixa Densidade (LDPE), é um polímero termoplástico que surge da subdivisão do polietileno, recebe essa denominação por possuir mais ramificações de cadeia do que o polietileno de alta densidade (HDPE), que por sua vez é predominantemente linear (SHACKELFORD, 2008; DUQUE, et.al, 2020). Seu processamento ocorre através da peletização do filamento extrudado, e picotados de modo uniforme, conforme figura 8.

Figura 8 - LDPE reciclado

Fonte: Autor da dissertação.

O LDPE é considerado um polímero com cristalinidade parcial, na faixa de 50 a 60 % e temperatura de fusão entre 110 e 115 °C, temperaturas acima de 300 °C não são aconselhadas pois podem degradar o polímero. As características mecânicas à temperatura ambiente do LDPE podem ser tidas através da densidade relativa entre 0,917 e 0,932, o limite de resistência a tração na faixa de 8,3 a 31,4 MPa e o limite de escoamento entre 9,0 e 14,5 MPa (CALLISTER JR, 2002)

Possui um bom equilíbrio de propriedades mecânicas e ópticas, com fácil processabilidade e baixo custo. Pode ser fabricado por muitos métodos diferentes para uma ampla gama de aplicações. Propriedades especiais de interesse incluem: claridade óptica, flexibilidade, tenacidade, alta resistência ao impacto, boa vedação a quente, baixa temperatura de fragilidade, boa resistência química e a solventes aquosos (MARK, 1998; SEN, RAUT, 2015; DUQUE, et.al, 2020).

O processamento pode ser por extrusão, moldagem por sopro e moldagem por injeção. O LDPE, é aplicado como embalagens industriais e agrícolas, filmes para embalagens de alimentos líquidos e sólidos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras, dentre outros (COUTINHO, et. al., 2003; AWAD e ABDELLATIF, 2019).

2.4 Blendas

Os processos de polimerização têm sido aperfeiçoados com o decorrer dos anos e novos materiais poliméricos tem surgido desde então. Contudo, muitas pesquisas têm sido norteadas para o estudo proveniente da mistura física de dois

ou mais polímeros, ou seja, das blendas poliméricas (BARRA, et. al., 2003; AGBOOLA, et.al, 2020).

Durante as últimas décadas, as pesquisas têm sido direcionadas para a modificação de polímeros existentes com o intuito de produzir novos materiais com propriedades desejáveis. A solução que objetiva atingir uma vasta gama de propriedades se dá através da mistura de dois ou mais polímeros, essa mistura é designada pelo que se conhece como blenda (FAKER, et. al., 2008).

Segundo Moraes (2004) e AGBOOLA, et.al. (2020) ao se formar uma blenda alguns objetivos são esperados, como o melhoramento de propriedades, podendo-se destacar a resistência ao impacto e ao envelhecimento. A estrutura morfológica de uma blenda polimérica depende da interação de seus componentes, das condições do processamento e da compatibilização entre os componentes poliméricos envolvidos, podendo-se prepará-las por três principais técnicas:

- Mistura por solução – mistura dos componentes puros, em um solvente comum. Depois de evaporado o solvente, resulta na mistura dos componentes poliméricos.
- Mistura mecânica – consiste na mistura dos polímeros fundidos ou no estado sólido. Blendas por mistura mecânica de polímero fundido são obtidas com auxílio de extrusoras, injetoras, ou calandras. Já com polímero sólido são processados por moinhos de rolo, misturadores ou batedores.
- Reticulados Poliméricos Interpenetrantes (IPN) – essa técnica é utilizada para melhorar o grau de compatibilidade de polímeros previamente misturados por solução ou mecanicamente, desde que pelo menos um dos componentes da blenda apresente uma estrutura de ligações cruzadas ou reticuladas.

A blenda ou mistura de polímeros reciclados pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades dos polímeros reciclados de maneira a tornarem-se mais competitivos, uma vez que, devido as suas baixas propriedades físicas e químicas, quando comparadas àquelas dos polímeros virgens, o seu uso ainda tem uma participação insipiente no mercado internacional de artefatos plásticos, apesar

das vantagens ambientais em utilizá-los (MOHANTY, et. al., 2002; FARUK, et. al., 2012; JABLONSKA, et.al, 2019).

Por conseguinte, muitas tentativas foram dirigidas para misturar PE com outros polímeros para ultrapassar estas limitações. Entre os polímeros comerciais existentes, o poli [(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA) é um candidato adequado para a mistura com PE porque proporciona um elevado desempenho a um custo relativamente baixo, melhorando a sua flexibilidade, resistência à fissuração por esforço ambiental e transparência. Além disso, devido à presença de grupos éster polares na estrutura química de EVA, pode proporcionar uma maior capacidade de carga de enchimento para PE. Em razão disso, observa-se um interesse crescente nas misturas PE/EVA (AKHLAGHI, et. al., 2012; ENTEZAM, et. al., 2017).

2.5 Compósitos

Materiais compósitos são definidos por combinarem no mínimo dois materiais, que mesmo após a mistura podem ser identificados, sendo, portanto, heterogêneos. Possuem duas fases: fase matriz e fase dispersa.

Os compósitos podem ser classificados em três classes distintas: compósitos carregados com partículas, compósitos com fibras descontínuas e compósitos com fibras contínuas (PANZERA, 2007), como estão ilustrados na figura 9.

Figura 9 - Principais tipos de compósitos

Fonte: PANZERA, 2007

A fase matriz é responsável por ser o meio de transferência e homogeneização dos esforços que a fase reforço. Já a fase reforço é a responsável por ser o elemento que reforça e funciona como a ponte para a transferência de esforços (IZQUIERDO, 2011; KARAMI, et.al, 2019).

A matriz é uma fase contínua que dá forma a estrutura. Por ser a fase contínua, circunda e cobre o reforço, além de ser a fase que está diretamente exposta ao meio ambiente. É a matriz que primeiro entra em contato com qualquer força realizada sobre o compósito, contudo não é a parte mais resistente do compósito, já que se espera somente que transfira todas essas cargas aplicadas a fase reforço. Quanto a fase reforço, podem ser fibras que dispostas continuamente, longas ou curtas. Além de poderem ser orientadas ou não (LOOS, 2014; SARAVANAN, et.al, 2020).

O tamanho das fibras influencia a forma de ruptura do compósito (Fig. 10). Enquanto o material sem fibra romperia integralmente como mostrado na figura 10.a, o com fibras curtas formaria pequenas fissuras na superfície. Já o compósito com fibras longas impediria a propagação da falha (Fig. 10.b).

Figura 10 - Representação da ruptura em materiais: (a) Compósito com fibras curtas e (b) Compósitos com fibras longas

Fonte: LOOS, 2014.

Quanto maior a quantidade de fibras, melhor a resistência e a tenacidade do material, pois o número de microfissuras que a fibra agirá será maior,

absorvendo parte das tensões internas. Entretanto, o aumento na quantidade de fibras também gera uma redução na trabalhabilidade da mistura, o que pode dificultar no procedimento de homogeneidade (IZQUIERDO, 2011; KARAMI, et.al, 2019).

2.6 Polímeros Reforçados com Fibras Vegetais

Durante décadas, fibras sintéticas como vidro, aramida e carbono foram usadas na preparação de compósitos de matriz polimérica, mas devido à crescente consciência ambiental, nos últimos 10 anos a atenção foi transferida para fibras vegetais a partir de recursos renováveis. As primeiras tentativas para o desenvolvimento de compósitos "ecológicos" basearam-se na utilização de polímeros recicláveis (por exemplo, poliolefinas) reforçadas com fibras vegetais (COSTA, et. al., 2016; VASSILOPOULOS, 2020)

No cenário da sustentabilidade, as fibras vegetais vêm ocupando um espaço cada vez maior como matéria prima adicionada em compósitos nas mais diversas aplicações. Os resíduos vegetais em muitas vezes são caracterizados como rejeitos, devido a sua inutilidade e destinação inadequada, muito embora podem ser melhor aproveitados no desenvolvimento de novos materiais compósitos menos poluentes.

O desenvolvimento de compósitos que utilizem como fase dispersa as fibras de origem vegetal não é algo novo, porém, a proximidade da exaustão dos recursos de fontes não renováveis e principalmente a preocupação com a degradação ambiental aumentou a demanda por materiais provenientes de recursos renováveis, biodegradáveis e recicláveis. Dentre os compósitos, destaca-se o desenvolvimento de compósitos de matriz polimérica com fibras de origem vegetal (YAN, et al., 2014; MADURWAR, et. al., 2013; SAYEED, et.al, 2020).

A substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais na fabricação de materiais compósitos tem recebido grande atenção de pesquisadores, não apenas pelo fato das fibras vegetais serem proveniente de fonte renovável, mas também por apresentarem excelentes propriedades mecânicas, serem biodegradáveis, apresentarem baixo custo em relação às fibras sintéticas. Além disso, possuem

baixa densidade e são menos abrasivas, o que minimiza os desgastes dos equipamentos durante o processamento, quando comparados aos materiais como as fibras de vidro e de carbono, o talco (CaCO_3) e o negro de fumo além de provocar menor impacto ambiental (SAYEED, et.al, 2020).

No Brasil, a produção de compósitos com fibras vegetais apresenta grande importância devido a diversidade dessas fibras, a fatores ambientais e socioeconômicos. Consequentemente, as fibras vegetais como a juta, sisal, coco, fibras da bananeira, rami, piaçava, curauá, bagaço de cana-de-açúcar, coco de babaçu, entre outras fibras lignocelulósicas, ganharam a atenção de diversos grupos de pesquisa (MONTEIRO, et. al., 2012).

2.7 Fibras Vegetais

Diante de um cenário que preza pela sustentabilidade, o incentivo ao uso de fibras naturais como adição em compósitos se intensifica e cresce consideravelmente o número de pesquisas na área. Deste modo, a ideia de adicionar os resíduos vegetais em matrizes é uma alternativa que visa a diminuição dos resíduos vegetais. Estes resíduos são, em sua maioria, caracterizados como rejeitos, devido a sua inutilidade e destinação inadequada, podendo ser mais bem aproveitados na criação de novos materiais menos poluentes (GARCEZ et.al, 2018).

Por mais que esta realidade esteja se expandindo nas últimas décadas, essa técnica não é desconhecida. Há milênios as fibras vegetais são utilizadas como adição para reforçar materiais. Dentre as fibras naturais mais utilizadas estão as de algodão, linho, bambu, sisal, juta, piaçava, linho, cana-de-açúcar e celulose (JESUS et. al, 2015; RODIER, et.al, 2020).

As fibras vegetais são feixes formados por células individuais compostas de microfibrilas, que são ricas em celulose. As inúmeras células que formam a fibra estão agrupadas pela lamela intercelular composta de substâncias amorfas, como a hemicelulose, pectina e lignina. A caracterização das fibras é feita considerando os valores das propriedades físicas e mecânicas, por exemplo, o volume de vazios e a absorção de água. O volume de vazios influencia na grande absorção nos

primeiros momentos de imersão, sendo um ponto negativo na relação água/aglomerante da matriz, na intumescência do material e posterior retração. Entretanto, o elevado número de vazios ajuda na redução da massa específica e da condutibilidade térmica, assim como o aumento da absorção acústica (GARCEZ et.al, 2018; MARINELLI et. al, 2008; RODIER, et.al, 2020)

As fibras vegetais apresentam característica além de ser uma fonte renovável e algumas propriedades mecânicas. As fibras apresentadas na tabela 2 têm seus valores de densidade, alongamento, tensão na ruptura e modulo de Young relacionados.

Tabela 2 - Valores de densidade e propriedades mecânicas de fibras naturais

Fibra	Densidade (g/cm³)	Alongamento (%)	Tensão na ruptura (Mpa)	Modulo de Young (GPa)
Algodão	1,5 – 1,6	7,0 – 8,0	287 – 597	5,5 – 12,6
Juta	1,3	1,5 – 1,8	393 – 773	26,5
Rami	–	3,6 – 3,8	400 – 938	61,4 – 128
Linho	1,5	2,7 – 3,2	345 – 1.035	27,6
Sisal	1,5	2,0 – 2,5	5.511 – 635	9,4 – 22
Fibra de côco	1,2	3,0	175	4,0 – 6,0
Vidro-E	2,5	2,5	2.000 – 3.500	70,0
Vidro-S	2,5	2,8	4.750	86,0
Aramida (normal)	1,4	3,3 – 3,7	3.000 – 3.150	63,0 – 67,0
Carbono (padrão)	1,4	1,4 – 1,8	4.000	230,0 – 240,0
Curauá	1,4	4,2	890 – 4.200	50,4

Fonte: MARINELLI, et. al, 2008

2.7.1 Fibra vegetal de Coco Babaçu

O coco de babaçu é o fruto de uma palmeira de mesmo nome, cujo nome científico é *Attalea speciosa*, da família *Arecaceae* (Fig. 11), podendo ser encontrado em vários países da América do Sul. No Brasil, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Figura 11 - Palmeira de babaçu

Fonte: CARRAZA, et. al., 2012.

Os babaçuais são encontrados nas regiões Nordeste, Norte e Centro Oeste, além do estado de Minas Gerais. Além disso, a região Nordeste possui a maior produção de amêndoas e a maior área ocupada por cocais. A palmeira produz frutos de cor marrom com sementes oleaginosas e comestíveis, são quatro cachos por palmeira, sendo em média 150 a 250 cocos por cacho. O coco produzido pelo babaçu cai de forma espontânea após atingir o estado maduro (CARRAZA, et. al., 2012; SIRAKOV, et.al, 2019).

Os frutos são quebrados, em sua maioria de modo artesanal com o uso de um machado e um pedaço de madeira. Sendo esta principal fonte de renda de inúmeras famílias. A produtividade desse sistema rudimentar é baixa, porém já existem empresas que estão automatizando o processo.

O fruto do babaçu é constituído de quatro partes aproveitáveis (Fig. 12). São eles: o epicarpo (13 %), o mesocarpo (20 %), o endocarpo (50 %) e as amêndoas (7 %). Mesmo sendo inteiramente aproveitável, a casca do coco (conjunto do epicarpo, mesocarpo e endocarpo que corresponde a 93 % do fruto) é descartado (EMBRAPA, 1984).

Figura 12 - Coco de babaçu (Partes aproveitáveis)

Fonte: ASMUBIP, 2017.

Os cocos de babaçu são destinados em sua maioria, para a extração das amêndoas, tendo seu uso nas indústrias alimentícia, cosmética, veterinária, farmacêutica e química. A parte de maior resistência (endocarpo) é a camada que representa mais da metade do fruto, utilizada como carvão por ser de qualidade superior ao carvão de madeira. O mesocarpo é a camada que se situa entre o epicarpo e o endocarpo, rica em amido e amplamente utilizada para a produção de farinha alimácea “in natura”, amido, glucose e álcool etílico (CINELLI, et. al., 2014; LOPES, et.al, 2020).

O epicarpo compreende a camada externa e apresenta caráter rígido e fibroso. Sendo aplicado como xaxim, estofados, adubo orgânico e carvão, com características de queimas semelhantes as apresentadas pelo endocarpo. Mesmo tendo uma diversidade de aplicações, a casca do coco babaçu ainda é descartada em grande quantidade. Um dos fatores de descarte é o seu grande volume, que dificulta o armazenamento (CARRAZA, et. al, 2012).

2.8 Espumas

Os materiais a base de espumas são cada vez mais utilizados nas indústrias automotivas, aeroespacial, marítima, aeronáutica, construção e

embalagens, em parte devido às suas características únicas, tais como, peso leve, absorção de impacto, isolamento térmico, isolamento acústico. Isso se deve a progressos realizados na fabricação e processamento de espumas nas últimas décadas.

Com o crescente uso de espumas, foi dada ampla atenção ao seu comportamento mecânico, especialmente quando estas desempenham papel no suporte de carga em estruturas tais como núcleos em painéis sanduíche, para isolamento térmico, e absorventes de impacto. É reconhecido que suas propriedades mecânicas dependem das propriedades do polímero base, densidade relativa (razão da densidade da espuma para a densidade do material de base) e geometria microestrutural (CHEN, et. al., 2015; EMORI, et.al, 2020; LOW, et.al, 2020).

Em comparação com os polímeros sólidos, as espumas poliméricas microcelulares possuem uma série de vantagens, tais como peso leve, elevada resistência ao impacto e resistência, elevada razão de rigidez / peso e baixa condutividade térmica. Poliolefinas, especialmente polietileno (PE) e polipropileno (PP), têm sido amplamente utilizadas devido à sua baixa densidade relativa, boa resistência química, propriedades de isolamento elétrico e baixo custo (WAN, et. al., 2017; MUGHAL, et.al, 2020).

A resistência das espumas de polietileno é muito elevada em comparação com outros tipos de espumas. Contudo, as espumas de polietileno de baixa densidade têm mais probabilidade de perder a sua espessura ao longo do tempo se comparadas às espumas de polietileno de alta densidade (LANDROCK, 1995; LIANG, 2019). As espumas de LDPE apresentam inúmeras vantagens, nomeadamente uma excelente resistência a grande parte dos químicos, orgânicos e inorgânicos. Contudo, a ação de agentes oxidantes fortes a temperaturas mais elevadas e a exposição prolongada aos raios ultravioleta da luz solar podem levar à degradação das mesmas (SILVA, 2015).

O desafio mais importante no setor de construção em todo o mundo é a redução do consumo de energia. Em 2010, os edifícios representaram 32 % do consumo total de energia final global, 19 % das emissões de gás de efeito estufa relacionadas com a energia, 51% do consumo global de eletricidade, 33 % das

emissões de gás carbono e um oitavo a um terço da emissão de gases fluorados de acordo com diferentes convenções. As emissões de gases de efeito estufa no setor da construção mais que dobraram entre 1970 e 2010 (BERARDI e NALDI, 2017).

As espumas atuam no isolamento térmico de edifícios, sendo está uma das principais medidas de economia de energia, e é a maneira mais eficiente para melhorar e reduzir a impressão da pegada de carbono. Por conseguinte, é importante desenvolver um material isolante que possa ser efetivamente implementado em edifícios com eficiência energética: isolamento eficiente, conformidade com as normas, regulamentos ambientais e de segurança, rentabilidade e facilidade de instalação e alta durabilidade (SCHUSTER, et. al., 2015; MUGHAL, et.al, 2020).

As espumas rígidas, são as que apresentam menor condutibilidade térmica, e consequentemente, oferecem uma solução com maior isolamento térmico. Usualmente, são utilizadas espumas rígidas de células fechadas (FERNANDES, et. al., 2014; LOW, et.al, 2020). As espumas rígidas mais usuais são o poliuretano (PU), o poliisocianurato, o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudado (XPS) e a resina fenólica (PF) (DAVIES, 2001; HUNG, et. al., 2014).

2.8.1 Espumas com fibras vegetais

A utilização de fibras vegetais como partículas incorporadas às espumas tem ocorrido com cada vez maior frequência. A fécula de mandioca foi utilizada como matriz de incorporação de demais fibras vegetais para o processamento de embalagens biodegradáveis. Uma das vantagens apresentadas na sua obtenção foi o valor competitivo no mercado, porém o material apresenta alta sensibilidade em presença de água (NAIME, et. al., 2012; KAISANGSRI, et.al, 2019).

Outra fibra vegetal que vem sendo incorporada em matriz polimérica com agente expensor é a oriunda da bananeira. A fibra foi utilizada como agente de reforço em compósitos de EVA misturados em rolo aberto, conformado e

expandidos com auxílio de prensa aquecida e moldes. O estudo mostra que o uso da fibra de bananeira promove um decréscimo nas propriedades mecânicas, uma vez que a fibra gera mais espaços vazios no interior do compósito (ZIMMERMANN, et. al., 2014; MOHAN e KANNY, 2019).

Quanto ao uso de fibras de sisal como alternativa tecnológica sustentável de reforço para compósitos poliméricos expandidos. A produção do material foi realizada com o intuito de ser um componente isolante térmica e sonora, assim a espuma rígida foi obtida através de molde fechado. Entretanto a incorporação do sisal não apresentou ganho de capacidade de isolamento térmico, sendo que os compósitos obtiveram valores de condutividade térmica e degradação térmica inferiores que o da espuma pura (NEIRA, 2011; SILVA, et.al, 2019).

2.9 Técnicas de caracterização

2.9.1 Difração de Raios X (DRX)

A difração de raios X é uma técnica que possibilita quantificar o espaçamento basal (d_{0001}) entre as lamelas do material. Isso ocorre porque na grande parte dos materiais sólidos, os planos cristalinos são ordenados com separação entre eles, na mesma ordem de distância que é obtida no comprimento de onda dos raios X (ALBERS; *et. al.*, 2002; CHIN, 2010; UZUN, et.al, 2020).

Quando o feixe de raios X acerta o sólido, estes são espalhados, percorrendo uma distância d entre os planos (conhecida como distância interplanar), e o ângulos de incidência é o θ . A figura 13 representa o esquema da incidência dos raios X no plano, também conhecida por lei de Bragg, onde, em certas direções os feixes espelhados se somam e produzem o que é denominado por pico de difração (CHIN, 2010; UZUN, et.al, 2020).

Figura 13 - Difração de raios X

Fonte: SALAVAGIONE; et. al., 2009.

A lei de Bragg, tem na equação 1 a sua representação:

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

Onde:

n = representa a ordem de difração;

λ = comprimento de onda da radiação incidente;

d = distância interlamelar;

θ = ângulo de difração.

O método da difração de raios X em pó é o mais utilizado e resulta em informações estruturais, do material analisado. O método consiste na difração de um feixe de raios X através de um pó fino ou pequenos cristais, pois possui a vantagem de não requerer um preparo especial do material estudado (CHIN, 2010).

2.9.2 Análise termogravimétrica (TG)

As análises por termogravimetria ocorrem através do estudo da variação de massa de uma amostra (perda ou ganho) resultante de uma transformação física ou química em função do tempo ou da temperatura. Pode-se conhecer o comportamento térmico da amostra, como sua estabilidade térmica, e acompanhar

processos com variação de massa, como degradação, desidratação, oxidação e desintegração (MATOS, J.R. & MACHADO, 2004). Os resultados deste tipo de análise são as curvas de variação de massa e temperatura, chamadas de curvas termogravimétricas (TG), estas curvas apresentam informações sobre estabilidade térmica. Na figura 14 é possível perceber o padrão de decomposição característicos usados para propósitos de identificação de polímeros. (CANEVAROLO, 2006; ROUQUEROL, 2019).

Figura 14 - TG para polímeros

Fonte: SANTOS; SILVA, 2019.

2.9.3 Ensaio mecânico de tração

O ensaio mecânico de tração é muito utilizado para obtenção de propriedade sobre a resistência do material, como resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. Estas propriedades são determinadas por meio de um ensaio padrão das amostras submetidas a uma taxa constante de estiramento, usando um equipamento de específico para submeter a amostra à forçar que o tracionem. A resistência à tração é a tensão, expressa em MPa ou N/mm², necessária para romper uma amostra em teste padrão pelo estiramento, com uma taxa de velocidade constante.

O alongamento é definido como uma expansão produzida pela força de tração aplicada para uma amostra e é expressa como uma porcentagem do comprimento inicial. O módulo de elasticidade significa que este mede a rigidez de um material sólido. Define a relação entre tensão e deformação, expressa em N/mm^2 , necessária para produzir certo alongamento (CHOUDHARY et al., 2012).

O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial em um corpo de prova com dimensões padrão, preso em duas garras na direção vertical do equipamento de ensaio (Fig. 15). A figura 15.a. apresenta o corpo de prova em suas dimensões originais, em 15.b. é aplicada uma carga F e o corpo de prova começa a sofrer deformação. A figura 15.c. mostra a diferença de comprimento final e inicial do corpo de prova ao final do ensaio de tração.

Figura 15 - Esquema de corpo de prova submetido a um ensaio de tração

Fonte: MENDES, et. al., 2007.

Uma das garras é fixa e a outra é deslocada para cima por um mecanismo de tração acoplado a software no computador que controla a velocidade de deslocamento do travessão. Ainda na garra superior é fixado um sensor de força, que também é conectado ao computador, sendo que este registra a força necessária para tracionar o corpo de prova em função do deslocamento (GUBBELS et al., 1994; ZHU et al., 2010).

2.9.4 Ensaio de flamabilidade

Para que ocorra a o fogo deve-se ocorrer de maneira simultânea a chamada tríade do fogo, onde existem o material combustível, o comburente (oxigênio do ar) e uma fonte de calor, a propagação do fogo ocorre até o momento que um dos elementos da tríade seja extinto. Todo o processo de queima dos materiais, inclusive polímeros, pode ser observado na figura 16, onde inicialmente ocorre um aquecimento e com o aumento da temperatura o material sofre ignição, tendo a combustão e propagação das chamas, até o momento de extinção.

Figura 16 - Curso do fogo e suas etapas de desenvolvimento

Fonte: LOUGHBROUGH, 1991.

O ensaio de flamabilidade é utilizado em inúmeros materiais que tendem a combustão, principalmente quando esses materiais tendem a ser utilizados comercialmente. Regulamentado pelo laboratório americano de controle de qualidade Underwriters Laboratories (UL) (Fig. 17), através da UL-94, sendo esta a norma mais utilizada e aceita na comunidade internacional para materiais plásticos com corpos de prova na posição horizontal (HENRIQUE, 2017; YUAN, et.al; 2018).

Figura 17 - Ensaio de flamabilidade horizontal, UL 94

Fonte: BARBOSA, et. al, 2007.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os materiais apresentados abaixo:

- Copolímero poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA) – Virgem.
- Copolímero poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA) – Reciclado.
- Polietilenos de Baixa Densidade (LDPE) – Reciclado.
- Agente espumante – Endex BR 2650.
- Fibra de Coco Babaçu (FCB).
- Argila verde clara (AVC).
- Água deionizada.
- Na_2CO_3 .
- Trimetil hexadiol amônio.

3.2 Métodos

3.2.1 Processamento da fibra de coco Babaçu (FCB)

As fibras foram processadas para uma redução da dimensão das mesmas. Sua forma alongada e rigidez dificultam o processo de desagregação de partículas que devido ao método de coleta extrativista do coco de babaçu, podem estar agregadas ao coco (Fig. 18).

Figura 18 - Fibra de coco babaçu natural

Fonte: Autor da dissertação.

Inicialmente é necessária uma lavagem para remoção de partículas e impurezas de maiores granulometrias que possam estar agregadas as FCB, esta lavagem ocorre em água corrente com auxílio de bacias e peneiras.

Em sequência à essa lavagem em água corrente, é realizada uma imersão das FCB em água deionizada por um período de 24h, essa imersão auxilia na separação dos filamentos e uma limpeza mais profunda.

Ao fim do período de imersão as fibras são escorridas com auxílio de peneira e levadas para secagem em estufa com passagem de ar forçado, a 60 °C em um período de 24h.

3.2.1.1 Moagem e peneiramento

Com as fibras secas, em um moinho de facas é feita a redução da dimensão longitudinal das mesmas e posteriormente são colocadas em um moinho de bolas para processamento e posterior peneiramento, até obtenção de partículas com tamanhos menores ou iguais a 150 μm (Fig. 19).

Figura 19 - Fibra de coco babaçu processada

Fonte: Autor da dissertação.

O moinho de bolas utilizado no processo de moagem é denominado de máquina de Abrasão Los Angeles SoloCap, modelo STMH-3 conforme figura 20, sendo que o tambor e esferas são de aço.

Figura 20 - Máquina de abrasão Los Angeles SoloCAP

Fonte: Autor da dissertação.

3.2.2 Modificação da argila verde clara (AVC)

A argila verde clara foi modificada de acordo com a metodologia desenvolvida por Valenzuela Díaz (VALENZUELA-DÍAZ, et. al., 2007) Utilizou-se para a modificação o carbonato de sódio, uma vez que esta argila é cálcica e o sal quartenário de amônio para torná-la organofílica.

Inicialmente pesou-se a argila em seu estado natural (100 g) e dispersou-a lentamente em água deionizada (2400 ml) com agitação mecânica por 30 minutos, após esse tempo a mistura descansou por um intervalo de 5 minutos. Acrescentou-se lentamente 26,5 ml de uma solução de Na_2CO_3 na argila já dissolvida sob agitação mecânica, agitou-se por um período de 30 minutos e descansou-se por mais 5 minutos.

Para a solução foram utilizados 10 g de carbonato de sódio, inicialmente dissolvido em 30 ml de água deionizada já medida com auxílio de proveta. Após completa dissolução completou-se a solução até atingir 50 ml na proveta.

Ao final acrescentou cloreto de trimetil hexadiol (66,40 g) na argila sob agitação e ao término de 30 minutos a mistura foi desligada e deixada descansando por 24 horas. Após esse processo a argila que ficou suspensa na água e colocada para secar em estufa com passagem de ar a 60 °C, até completa secagem e por fim a mesma é moída (Fig. 21).

Figura 21 - Argila verde clara modificada

Fonte: Autor da dissertação.

3.3 Obtenção da blenda, compósitos e espumas

3.3.1 Obtenção da blenda

A blenda utilizada como base para todos os compósitos e espumas, foi preparada pela mistura de 25 % em massa de EVA reciclado, 25 % em massa de EVA virgem e 50 % de LDPE reciclado. Para a obtenção do material foi utilizada extrusora co-rotante de dupla rosca HAAKE, modelo Rheomex 332p, com 16 mm e $L/D = 25$ da Thermo Scientific (Fig. 22), pertencente ao laboratório de processamento de materiais compósitos do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) do IPEN/CNEN – SP.

Figura 22 - Extrusora dupla rosca co-rotante

Fonte: Autor da dissertação.

A extrusão foi realizada na faixa de temperatura de 130 °C a 150 °C e velocidade de rotação das roscas de 20rpm. O material extrudado foi resfriado em água e submetido ao processo de granulação contínua em peletizadora. Em seguida a blenda foi seca em estufa com passagem de ar forçado a 60 °C por 12h a fim de retirar a umidade e possibilitar a incorporação dos demais materiais e obtenção dos compósitos.

3.3.2 Preparação dos compósitos e espumas

Após o processamento da blenda foram incorporadas a fibra particulada, a argila e o agente espumante Endex BR 2650 (Endex) para obtenção dos compósitos e espumas nas proporções apresentadas na tabela 3. A extrusão foi realizada na mesma extrusora utilizada para a preparação da blenda, porem na faixa de temperatura de 125 °C a 155 °C e velocidade de rotação das roscas de 30rpm. O material extrudado foi resfriado em água e submetido a granulação contínua. Em seguida a blenda foi seca em estufa com passagem de ar forçado a 60 °C por 12h a fim de retirar a umidade presente.

Tabela 3 - Formulação dos compósitos e espumas

Formulação	Blenda (% em massa)	FCB (% em massa)	AVC (% em massa)	Endex (% em massa)
Blenda pura	100	0	0	0
Blenda / Endex	97,5	0	0	2,5
Blenda / 1FCB / 1AVC	98	1	1	0
Blenda / 3FCB / 1AVC	96	3	1	0
Blenda / 1FCB / 1AVC / Endex	95,5	1	1	2,5
Blenda / 3FCB / 1AVC / Endex	93,5	3	1	2,5

Fonte: Autor da dissertação.

3.3.3 Obtenção das chapas de compósitos e espumas

Para a obtenção das chapas dos compósitos e espumas, as amostras processadas na extrusora de dupla rosca foram alimentadas a uma extrusora monorosca de laboratório HAAKE Rheomex P332, Thermo Scientific com uma matriz plana acoplada (Fig. 23). A extrusão das chapas foi realizada na faixa de temperatura de 140°C a 180 °C, velocidade de rotação da rosca de 25 rpm.

Figura 23 - Extrusora monorosca, com matriz plana

Fonte: Autor da dissertação.

3.4 Caracterizações

3.4.1 Teor de umidade natural

O teor de umidade foi determinado conforme Oliveira (2011), quando a fibra de coco babaçu ficou exposta ao ar. Para iniciar o experimento a fibra foi preparada e seca em estufa a uma temperatura de 60 °C, até a obtenção da constância de massa. Em sequência, pesou-se a massa seca.

Posteriormente, a fibra foi deixada exposta por 24h, obtendo assim o valor da umidade higroscópica.

O teor de umidade é calculado a partir da seguinte equação:

$$H = \frac{M1-M2}{M2} \cdot 100 \quad (01)$$

Onde:

H= Teor de umidade natural;

M1= Massa seca exposta ao ar (g);

M2= Massa seca em estufa (g).

3.4.2 Absorção de água

Para a determinação da absorção de água, foram feitos os seguintes passos (OLIVEIRA, 2011):

A amostra a ser ensaiada foi colocada em estufa com passagem de ar na temperatura de 60°C até obter-se a constância de massa, em seguida, foi retirada da estufa e imersa em água. Para cada pesagem, a fibra foi envolta rapidamente com papel absorvente, para absorver a umidade superficial.

As determinações de massa foram realizadas nos intervalos de 5 min, 30 min, 1 hora, 2 horas e 24h até atingida completa saturação.

Para o cálculo da absorção de água utilizou-se a seguinte equação:

$$A = \frac{M1-M2}{M2} . 100 \quad (02)$$

Onde:

A= Absorção de água (%)

M1= Massa úmida da amostra em determinado tempo (g)

M2= Massa seca da amostra em estufa (g)

3.4.3 Densidade aparente em relação à água

A densidade aparente em relação à água foi determinada utilizando-se um picnômetro e balança digital (OLIVEIRA, 2011). Pesou-se certa quantidade de

da amostra já preparada e seca e esta foi colocada no picnômetro, onde o conjunto foi pesado (Fig. 24).

Figura 24 - Determinação de densidade aparente (fibra de coco babaçu)

Fonte: Autor da dissertação.

Após a pesagem, completou-se o picnômetro com água e pesou-se novamente. As amostras ficaram imersas por um período de 24 horas. Após esse período, o mesmo picnômetro é preenchido somente com água e pesado. Logo após pesa-se, o mesmo, vazio.

A equação para determinar a massa específica é a seguinte:

$$ds = \frac{\rho_s}{\rho_{\text{água}}} = \frac{|M_2 - M_1|}{|(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)|} \quad (03)$$

$$\rho_s = ds \cdot \rho_{\text{água}} \quad (04)$$

Onde:

M1= Massa do picnômetro vazio;

M2= Massa do picnômetro com a amostra;

M3= Massa do picnômetro com a amostra e água;

M4= Massa do picnômetro com água.

3.4.4 Caraterização química da fibra

Inicialmente as fibras foram submetidas a tratamento alcalino (NaOH), onde a proporção ideal de material sólido (FCB) para soluções alcalinas (2,5% e 5%). As proporções de sólido (massa seca) para líquido (solução alcalina) foram testados em tubos de ensaio, nas proporções de 1:5, 1:10 e 1:20, os tubos de ensaio foram hermeticamente fechados e submetidos a temperatura de 121 °C por 30 minutos.

Após o resfriamento, o material foi centrifugado (2000g por 20 min.), O sobrenadante (licor preto) foi refrigerado para posterior precipitação com lignina. O sólido restante foi lavado sucessivamente com água destilada e centrifugado até a última água de lavagem estar límpida e com pH quase neutro. A fracção sólida foi então colocada em tabuleiros e seca à temperatura ambiente.

3.4.5 Difração de raios X (DRX)

A técnica de difração de raios X foi utilizada para determinar a caracterização estrutural da fibra, através do método de pó (OLIVEIRA,2011). Um feixe de raios X incide sobre um conjunto de planos cristalinos, cuja distância interplanar é d com o ângulo de incidência θ . Os espectros de difração de raios X da FCB foi determinado em um difratômetro modelo Rigaku DMAX 2200 (Fig. 25), modelo Multiflex com radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54 \text{ nm}$) operado em 40 kV e 40 mA, com 2θ variando entre 2 ° e 90 °.

Figura 25 - Equipamento de difração de raios X (DRX)

Fonte: Autor da dissertação.

3.4.6 Análise termogravimétrica (TG)

As análises por termogravimetria das amostras foram realizadas no equipamento TA Instruments, modelo TGA Q500 V20 (Fig. 26) com temperatura inicial de 20 °C elevada até 1000 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min em atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 60 ml/min.

Figura 26 - TGA Q500 V20

Fonte: CAIQ, 2020.

3.4.7 Ensaio mecânico de resistência à tração

Os ensaios mecânicos de resistência à tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 882-91, utilizando-se uma máquina universal de ensaios EMIC, com célula de carga de 30 kN, e extensômetro (Fig. 27). Os ensaios foram realizados em amostras dos filmes flexíveis, na direção de máquina, com velocidade de deslocamento de 500 mm/min, em temperatura ambiente.

Figura 27 - Máquina universal de ensaios EMIC

Fonte: Autor da dissertação.

3.4.8 Flamabilidade

Os ensaios de flamabilidade foram realizados de acordo com a UL-94 com corpo de prova na posição horizontal, utilizando-se bico de Bunsen e suporte para fixação da amostra (Fig. 28). Os ensaios foram realizados nas amostras com condição de chama controlada e temperatura ambiente.

Figura 28 - Ensaio de flamabilidade

Fonte: Autor da dissertação.

O ensaio consiste na aplicação de uma chama controlada e inclinação de 45° no corpo de prova e a observação de seu comportamento. Todos os fatores devem ser analisados, tais como se houve apenas deformação ou combustão do material, tempo controlado de exposição e posição da amostra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da fibra de coco Babaçu e argila brasileira modificada

4.1.1 Teor de umidade natural da fibra

O teor de umidade natural da fibra de coco Babaçu, ao utilizar o método de diferença da massa secas ao ar livre e da massa seca em estufa, obteve-se um percentual de 7,335% de teor de umidade nas FCB.

4.1.2 Absorção em massa de água da fibra

Por se tratar de uma fibra de origem natural, a alta taxa de absorção de água é um fator que deve ser analisado. Na figura 29 pode-se perceber que a mesma, em um intervalo de tempo de aproximadamente 120 minutos atingiu valores entre 75% e 100% na taxa de absorção, onde a partir desse momento o percentual de absorção tende a manter uma estabilidade, indicando saturação nas fibras.

Figura 29 - Taxa de absorção e água da FCB, por intervalo de tempo

Fonte: Autor da dissertação.

4.1.3 Densidade aparente em relação à água da fibra

De acordo com o método do picnômetro adotado para calcular a densidade aparente da fibra em relação à água, foi obtido um valor de 1,038 g/cm³, valor próximo ao encontrado por OLIVEIRA (2011) para a fibra de Ubuçu (0,97g/cm³).

4.1.4 Caracterização química da fibra

Os valores obtidos de hemicelulose, celulose, lignina solúvel, lignina insolúvel, cinzas e extrativas, são apresentadas na tabela 4 abaixo, os valores correspondem a percentual em massa. Com os valores obtidos é possível observar que cada componente sofreu alteração nas diferentes etapas do processo.

Tabela 4 - Caracterização química da fibra de coco babaçu

	Hemicelulose (%)	Celulose (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Insolúvel (%)	Cinzas (%)	Extrativas (%)
In Natura	17,93 ± 0,36	30,02 ± 0,53	2,25 ± 0,05	29,59 ± 3,09	9,44 ± 0,41	3,02 ± 0,26
2,5% NaOH	19,65 ± 0,48	33,65 ± 0,48	2,39 ± 0,21	22,45 ± 0,50	9,55 ± 1,10	-
5,0% NaOH	14,47 ± 0,61	37,24 ± 1,59	1,99 ± 0,13	28,47 ± 3,0	10,45 ± 0,35	-

Fonte: Autor da dissertação.

4.1.5 Difração de Raios X (DRX)

4.1.5.1 DRX da fibra de coco babaçu

A curva de DRX para a FCB é apresentado na figura 30. São observados 3 picos característicos de fibras de origem vegetal, devido a presença de celulose. O pico principal observado em 22,96° corresponde a difração da celulose nativa, já

o pico mais ampliado em torno do ponto $16,21^\circ$ corresponde ao sinal dos planos (101) e (101). O pico em $34,14^\circ$ corresponde ao plano (040), sendo também característico de celulose nativa.

Figura 30 - Curva de DRX para a fibra de coco babaçu

Fonte: Autor da dissertação.

O espectro de DRX obtido é muito similar àqueles encontrados por D'ALMEIDA, et.al. (2007), para outras fibras lignocelulósicas, como a piaçava e sisal. O pico na faixa de $34,14^\circ$ corrobora com os valores obtidos por RONG, et. al (2001) e GEORGE, et. al. (1999), sendo típico de celulose nativa.

A curva confirma a característica vegetal da fibra e devido a sua característica observa-se picos isolados que podem ser identificados como partículas impuras na amostra, tais como solo e outras matérias vegetais, como observados por JAERGER (2013). Essas impurezas podem se justificar uma vez que o coco sofre uma maturação no solo, para depois ser utilizado, mesmo com o processo de lavagem partículas podem ter ficado agregadas as fibras.

4.1.5.2 DRX da argila brasileira modificada

Os padrões de DRX da argila verde clara são apresentadas na figura 31. Os espectros mostram três picos com maior intensidade, um a $2\theta = 5,5^\circ$ (d001)

correspondendo a uma distância entre camadas de 1,6 nm, correspondendo este pico à distância montmorilonita do espaçamento basal. Um segundo pico a $2\theta = 12,2^\circ$ corresponde a caulinite e o último a $2\theta = 26,5^\circ$ correspondendo a quartzo. Após a modificação da argila, os padrões de DRX apresentaram um pequeno deslocamento para a esquerda de $2\theta = 5,5^\circ$ para $2\theta = 4,6^\circ$, correspondendo a um aumento da distância entre camadas para 1,92 nm. Este aumento confirma a intercalação do cátion amônio quaternário nos espaçamentos interlamelares da argila, conforme observado por VALENZUELA-DIAZ, et.al. 2007.

Figura 31 - Curva de DRX para a argila verde clara natural e modificada

Fonte: Autor da dissertação.

4.2 Análise da blenda, compósitos e espumas

4.2.1 Densidade aparente em relação à água

De acordo com o método do picnômetro adotado para calcular a densidade da blenda pura (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr), compósitos com 1,0% de argila e 1,0% e 3,0% de fibra de coco Babaçu e para a blenda (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr) com 2,5% de agente espumante Endex BR2650 e compósitos com 1,0% de argila, 2,5% de agente espumante Endex BR2650 e 1,0%

e 3,0% de fibra de coco de babaçu, foram obtidos os valores apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Densidade aparente da blenda, compósitos e espumas

Amostras	Densidade (g/cm³)
Blenda	0,93 ± 0,01
Blenda / 1FCB / 1AVC	0,95 ± 0,02
Blenda / 3FCB / 1AVC	0,96 ± 0,01
Blenda / Endex	0,28 ± 0,02
Blenda/ 1FCB/ 1AVC/ Endex	0,25 ± 0,02
Blenda/ 3FCB/ 1AVC/ Endex	0,22 ± 0,02

Fonte: Autor da dissertação.

O valor obtido para a blenda de 0,93g/cm³ assemelha-se ao obtido por DIAS (2007) de 0,946 g/cm³ para o LDPE e por SPINA (2017) onde o EVA teve uma densidade de 0,95 g/cm³ e o LDPE obteve 0,92 g/cm³. As demais amostras mostram variações de densidade aparente em relação à água, isso justifica-se uma vez que as mesmas contêm microcargas e nanocargas de fibra e argila, respectivamente, interferindo assim no valor se comparado com a blenda.

4.2.2 Difração de raios X (DRX)

A figura 32 mostra os espectros de DRX no intervalo de 2θ igual a 3 e 2θ igual a 60° para a blenda EVAp/EVAr/LDPEr (25/25/50 % em massa) e compósitos com 1,0 % de argila e 1,0 e 3,0 % de fibra de coco Babaçu. O espectro de DRX da blenda mostra o pico característico de EVA e LDPE em aproximadamente 2θ = 21,2° resultante da região cristalina destes polímeros (VICTOR et. al., 2016 e BEDIN, 2014). Também é observado um ombro em 17,94° característico da fibra vegetal proveniente da fibra de coco babaçu, e um pico 23,4° sendo este o pico secundário da curva e referente ao pico principal da celulose nativa na FCB.

Figura 32 - Curvas de DRX para a blenda e compósitos com FCB e AVC

Fonte: Autor da dissertação.

Na figura 33 é observado os espectros de DRX no intervalo de 2θ igual a 3 e 2θ igual a 60° para a blenda (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr) com 2,5% de ENDEX BR2650 e compósitos com 1,0% de argila, 2,5% de Agente espumante e 1,0% e 3,0% de fibra de coco Babaçu. O espectro de DRX da blenda com o Endex mostra o pico característico de EVA e LDPE em aproximadamente $2\theta = 21,11^\circ$ (VICTOR et. al., 2016 e BEDIN, 2014). O pico na faixa de $2\theta = 23,1^\circ$ característico da celulose nativa da FCB também é perceptível (D'ALMEIDA, et.al., 2007)

Figura 33 - Curvas de DRX para as espumas

Fonte: Autor da dissertação.

4.2.3 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica da blenda (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr) e seus compósitos com 1,0% de argila e 1,0% e 3,0% de fibra de coco Babaçu, sem agente espumante, foi realizada para avaliar os efeitos da adição da fibra de coco babaçu na estabilidade térmica dos compósitos, avaliando suas estabilidades térmicas e massas residuais até 600 °C.

Na figura 34 observa-se que a adição da fibra praticamente não alterou a temperatura inicial de degradação da blenda quando comparada aos compósitos incorporadas com a fibra de coco babaçu e argila verde clara, no entanto os compósitos apresentam uma sensível redução na estabilidade térmica, o mesmo comportamento foi observado por Oliveira (2016) em compósitos de Curauá incorporados em polilactato.

Figura 34 - Curva de TG para a blenda e compósitos com FCB e AVC

Fonte: Autor da dissertação.

A tabela 6 apresenta os valores de temperaturas iniciais e máximas, bem como a respectiva de perda de massa para a blenda (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr) e seus compósitos com 1,0% de argila e 1,0% e 3,0% de fibra de coco Babaçu. É possível observar que os compósitos apresentam temperaturas de degradação inferiores ao da blenda, bem como a perda de massa da blenda foi

superior aos valores obtidos com adição da FCB e AVC, isso se justifica uma vez que a fibra e a argila apresentam resíduos após a degradação térmica.

Tabela 6 - Temperatura inicial de degradação térmica e perda de massa para a blenda e compósitos com FCB e AVC

Amostras	T_{inicial} (°C)	T_{max} (°C)	Perda de Massa (%)
Blenda	293,1	595,7	99,5
Blenda / 1FCB / 1AVC	247,2	595,8	97,8
Blenda / 3FCB / 1AVC	268,9	595,9	98,6

Fonte: Autor da dissertação.

A figura 35 é observada a curva de TG para a blenda (25 % EVAp / 25 % EVAr / 50 % LDPEr) com 2,5 % de agente espumante Endex BR2650 e compósitos com 1,0% de argila, 2,5 % de Agente espumante Endex BR2650 e 1,0 e 3,0 % de fibra de coco Babaçu. A adição do agente espumante associado ao aumento da proporção de fibra de coco babaçu, proporcionou um início de degradação da espuma em temperatura inferior à da espuma somente com a blenda.

Figura 35 - Curvas de TG para as espumas

Fonte: Autor da dissertação.

Na tabela 7 são expressos os valores de temperaturas iniciais e máximas, bem como a respectiva de perda de massa para a blenda (25% EVAp /

25% EVAr / 50% LDPEr) com 2,5% de agente espumante Endex BR2650 e compósitos com 1,0% de argila, 2,5% de Agente espumante Endex BR2650 e 1,0% e 3,0% de fibra de coco Babaçu. A característica observada nas amostras sem o agente espumante, se mantem com a adição do mesmo, onde é possível observar que os compósitos apresentam temperaturas de degradação inferiores ao da blenda, bem como a perda de massa da blenda foi superior aos valores obtidos com adição da FCB e AVC.

Tabela 7 - Temperatura inicial de degradação térmica e perda de massa

Amostras	T_{inicial} (°C)	T_{max} (°C)	Perda de Massa (%)
Blenda / Endex	287,2	595,7	99,4
Blenda/ 1FCB/ 1AVC/ Endex	274,1	595,7	98,3
Blenda/ 3FCB/ 1AVC/ Endex	266,6	595,8	97,7

Fonte: Autor da dissertação.

4.2.4 Ensaio mecânico de resistência à tração

A tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à tração das amostras da blenda e compósitos. Os compósitos com fibra de coco Babaçu e Argila Verde Clara apresentaram valores inferiores na resistência à tração máxima, resistência à tração na ruptura e módulo de Young se comparados à blenda.

Tabela 8 - Ensaio de resistência à tração da blenda e compósitos

Amostras	Resistência à Tração Máxima (MPa)	Resistência à Tração na Ruptura (MPa)	Elongação na Ruptura (%)	Módulo Young (GPa)
Blenda	10,4 ± 1,0	10,1 ± 0,9	99,8 ± 2,5	0,7 ± 0,2
Blenda / 1FCB / 1AVC	8,5 ± 1,6	8,6 ± 1,6	111,5 ± 9,3	0,5 ± 0,2
Blenda / 3FCB / 1AVC	5,9 ± 0,2	5,9 ± 0,5	50,0 ± 9,9	0,4 ± 0,1

Fonte: Autor da dissertação.

Na tabela 9 são mostrados os valores obtidos no ensaio mecânico de resistência à tração nas amostras com agente espumante (Endex BR2650). Os resultados apresentam os valores médios calculados a partir dos dados obtidos nos testes com 08 corpos de prova. Como pode ser observado na tabela, as amostras com adição de FCB, Argila Verde Clara e agente espumante obtiveram valores superiores a amostra de blenda com agente espumante. A amostra com menor concentração de FCB obteve o melhor resultado se analisados todos os parâmetros apresentados sendo o módulo de Young com ganho na ordem de 50%, mostrando maior ductilidade quando ocorre menor incorporação de FCB.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de resistência à tração das espumas

Amostras	Resistência à Tração Máxima (MPa)	Resistência à Tração na Ruptura (MPa)	Elongação na Ruptura (%)	Módulo de Young (GPa)
Blenda / Endex	6,0 ± 0,5	6,0 ± 0,4	46,7 ± 7,9	0,3 ± ,1
Blenda/ 1FCB/ 1AVC/ Endex	9,7 ± 1,4	9,7 ± 1,5	122,6 ± 7,4	0,3 ± 0,1
Blenda/ 3FCB/ 1AVC/ Endex	6,6 ± 0,7	6,5 ± 0,7	94,7 ± 6,5	0,3 ± 0,2

Fonte: Autor da dissertação.

No diagrama de tensão x deformação para a blenda e os compósitos apresentados na figura 36 e para as espumas na figura 37, é possível observar a curva dos valores médios para os corpos de prova de cada variação da amostra. As figuras mostram que os compósitos e espumas se comportam como polímeros dúcteis (CALLISTER; RETHWISCH, 2012), ao comparar as curvas tensão x deformação é possível verificar que a blenda possui melhor relação que os compósitos e espumas.

Figura 36 - Diagrama tensão x deformação para a blenda e compósitos

Fonte: Autor da dissertação.

Figura 37 - Diagrama tensão x deformação para as espumas

Fonte: Autor da dissertação.

A redução dos valores de resistência à tração máxima ao comparar com a blenda pura, pode ser justificado devido a presença de fibras naturais, dispersas de modo aleatório e em granulometria menor ou igual a 150 μm , causando assim vazios que fragilizam o material. Cavalcante e Carvalho (2009) relatam que é provável, que sob as condições experimentais e devido o equipamento disponível, o processo de confecção não tenha sido tão eficiente, provocando uma falha na interação entre polímero e fibras.

4.2.5 Flamabilidade

Para o ensaio de flamabilidade foi observado que a argila, associada ao agente espumante proporcionou um efeito retardante na combustão das amostras. Os corpos de prova submetidos a 10 segundos de exposição a chama, conforme determina a UL-94, somente os que se encontravam sem agente espumante entraram em combustão (Fig. 38).

Figura 38 - Corpos de prova sem agente espumante submetidos à ensaio de flamabilidade. (1) blenda, (2) 1 % FCB e 1 % AVC, (3) 3 % FCB e 1 % AVC

Fonte: Autor da dissertação.

Os corpos de prova com agente espumante (2,5% ENDEX BR2650) suportaram a presença do fogo e permaneceram com as características praticamente inalteradas, sofrendo leve derretimento na extremidade mais próxima da exposição à chama, conforme figura 37.

Figura 39 - Corpos de prova com agente espumante (2,5 % ENDEX BR2650) submetidos à ensaio de flamabilidade. (1) blenda, (2) 1 % FCB e 1 % AVC, (3) 3 % FCB e 1 % AVC

Fonte: Autor da dissertação.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de (25% EVAp / 25% EVAr / 50% LDPEr) com fibras de coco de babaçu. Com base nos ensaios pode-se concluir que:

A densidade aparente em relação à água dos compósitos e espumas bases para confecção dos painéis, apresentaram valores superiores à blenda pura, porém estes ainda estão baixos e são esperados, uma vez que existe a incorporação de cargas com densidade superior ao material de referência.

As curvas de raios X mantiveram os picos característicos dos materiais, demonstrando que o processamento dos mesmos não alterou suas propriedades originais. Mesmo com o processo de extrusão em temperaturas na faixa de 125 °C a 155 °C a celulose nativa manteve seu pico principal.

A termogravimetria apresentou que a incorporação de FCB e AVC apresentou uma sensível variação nas temperaturas de degradação dos compósitos e espumas, sendo observado que a massa residual foi mais significativa nas amostras que possuíam cargas incorporadas.

Os ensaios mecânicos de resistência à tração e módulo Young para os compósitos e espumas demonstraram que a incorporação da fibra e argila reduziram a resistência máxima à tração, se comparados com as blends.

O ensaio de flamabilidade apresentou um bom comportamento do material quando exposto à chama, sendo que o agente espumante e argila verde clara atuaram como retardantes de chama.

Os resultados obtidos mostram que a fibra de babaçu além de ser uma matéria prima de origem renovável, com viés socioambiental ainda apresenta características satisfatórias para incorporação em materiais poliméricos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para melhor analisar o potencial de incorporação da fibra de coco babaçu em matrizes poliméricas, sugere-se os seguintes pontos para trabalhos futuros:

- Fazer a análise de barreira térmica para todos os compósitos e espumas incorporados com FCB e AVC;
- Realizar a microscopia eletrônica de varredura com fonte de emissão de campo (MEV-FEG), para verificar a interação da fibra e argila com a matriz, bem como a dispersão das mesmas;
- Incorporar a fibra em polímeros diferentes da blenda EVA/LDPE;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2014. Disponível em < [http://www.abrelpe.org.br/Panorama/ panorama 2014.pdf](http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama%202014.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2016.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2019. Disponível em < [http://www.abrelpe.org.br/Panorama/ panorama 2019.pdf](http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama%202019.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2020.

AGBOOLA, O.; FAYOMI, O. S. I.; SADIKU, R.; POPOOLA, P.; ALABA, P. A.; ADEBOLA, A. T. Polymers blends for the improvement of nanofiltration membranes in wastewater treatment: A short review. **Materials today: proceedings**, 2020

ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X**. Cerâmica 48 v.305. p. 34-37, 2002.

AKHLAGHI, S.; SHARIF, A.; KALAEI, M.; ELAHI, A.; PIRZADEH, M.; MAZINANI, S.; AFSHARI, M. **Effect of stabilizer on the mechanical, morphological and thermal properties of compatibilized high density polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer/organoclay nanocomposites**. Materials and Design, v.33, p.273–283, 2012.

ASMUBIP, Associação Regional de Mulheres Trabalhadoras Rurais do Bico do Papagaio. **A palmeira Babaçu**. Disponível em: < <http://www.asmubip.org.br/babacu/a-palmeira/>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

AWAD, A. H.; ABDELLATIF, M. H. Assessment of mechanical and physical properties of LDPE reinforced with marble dust. **Composites Part B: Engineering**, v.173, 2019.

BAILEY, E. J.; WINEY, K. I. Dynamics of polymer segments, polymer chains, and nanoparticles in polymer nanocomposite melts: A review. **Progress in Polymer Science**, Volume 105, June 2020.

BARBOSA, R.; MELO, T. J. A.; ARAÚJO, E. A.; ITO, E. N. Preparação de argilas organofílicas e desenvolvimento de nanocompósitos de polietileno. Parte 2: Comportamento de inflamabilidade. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 2, p. 104-112, 2007

BEDIN, M. G. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco in natura e modificada**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2014.

BRASIL. Portal Brasil. **Aterros sanitários protegem ambiente de contaminação**, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/aterros-sanitarios-protegem-meio-ambiente-de-contaminacao>>. Acesso em: 16 Abr. 2017.

CAIQ – Central Analítica do Instituto de Química – USP. **Instrumentação**. Disponível em: <http://ca.iq.usp.br/novo/paginas_view.php?idPagina=35>. Acesso em: 02 fev 2020.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. LTC, v. 8º Edição, 2012.

CALLISTER JR, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. LTC: Rio de Janeiro, 2002.

CANEVAROLO, S. J. **CIÊNCIA DOS POLÍMEROS: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 1 ed. ed. São Paulo: 2006.

CANEVAROLO S. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. 1 ed. ed. São Paulo: 2012.

CARRAZA, L. R.; SILVA, M. L.; ÁVILA, J. C. C. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Instituto Sociedade, População e Natureza, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ispn.org.br/arquivos/Mont_babacu006.pdf>. Acesso em: 06 Mar. 2017

CAVALCANTE, J. M. F.; CARVALHO, L. H. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas de compósitos PP/Fios alinhados e contínuos de Juta**, 2009. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/1043.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

CHEN, Y.; DAS, R.; BATTLE, M. **Effects of cell size and cell wall thickness variations on the stiffness of closed-cell foams**. *International Journal of Solids and Structures*, v.52, p.150–164, 2015.

CHIN, A. W. **Polymers for Innovative Food Packaging An Interactive Qualifying Project Report**. Worcester Polytechnic Institute, p. 55, 2010.

CHOUDHARY, S.; MUNGSE, H. P.; KHATRI, O. P. Dispersion of alkylated graphene in organic solvents and its potential for lubrication applications. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, n. 39, p. 21032–21039, 2012.

CINELLI, B. A.; LÓPEZ, J. A.; CASTILHO, L. R.; FREIRE, D. M. G.; CASTRO, A. M. **Granular starch hydrolysis of babassu agroindustrial residue: A bioprocess within the context of biorefinery**. *Fuel*, v.124, p.41–48, 2014.

COMPTON, O. C.; CRANFORD, S. W.; PUTZ, K. W.; AN, Z.; BRINSON, L. C.; BUEHLER, M. J.; NGUYEN, S. T. Tuning the {Mechanical} {Properties} of {Graphene} {Oxide} {Paper} and {Its} {Associated} {Polymer} {Nanocomposites} by {Controlling} {Cooperative} {Intersheet} {Hydrogen} {Bonding}. **ACS Nano**, v. 6, n. 3, p. 2008–2019, 2012.

COSTA, C. S. M. F.; FONSECA, A. C.; SERRA, A. C.; COELHO, J. F. J. **Dynamic Mechanical Thermal Analysis of Polymer Composites Reinforced with Natural Fibers**. *Polymer Reviews*, v.56, n.2, p.362–383, 2016.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.13, n.1, p.1-13, 2003.

CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. **Microplastic Pollutants**. Elsevier Science, 2016.

D'ALMEIDA, J.R.M.; D'ALMEIDA, A.L.F.S.; CARVALHO, L.H. **Mechanical, morphological and structural characteristics of caroa (neoglaziovia variegata) fibers**. *Polymers and Polymer Composites*, V.16, p. 577-583, 2007.

DEDAVID, B. A. GOMES, C. I. MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicação e preparação de amostras**: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DENARI, G. B. **Princípios e aplicações de análise térmica** /org. por Gabriela Bueno Denari e Eder Tadeu Gomes Cavalheiro. -- São Carlos : IQSC, 2012. 40 p. 1. p. 40, 2012.

DRZEZDZON, J.; JACEWICZ, D.; SIELICKA, A.; CHMURYNSKI, L. A review of new approaches to analytical methods to determine the structure and morphology of polymers. **Trends in Analytical Chemistry**, v.118, p.470-476, 2019.

DUQUE, J. V. F.; MARTINS, M. F.; DEBENEST, G.; ORLANDO, M. T. D. The influence of the recycling stress history on LDPE waste pyrolysis. **Polymer Testing**, v.86, 2020.

EBEWELE, R. O. **Polymer science and technology**, New York, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: 1996

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Babaçu: Programa Nacional de Pesquisa**. Departamento de Orientação e Apoio à Programação de Pesquisa, Brasília, 1984. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/51263/babacu-programa-nacional-de-pesquisa>>. Acesso em: 10 Abr. 2017.

EMORI, K.; FUSHIMI, S.; MIURA, T.; YONEZU, A. FEM simulation of polymeric foam with random pore structure: Uniaxial compression with loading rate effect. **Polymer Testing**, v.82, 2020.

GARCEZ, M. R.; MACHADO, A. O.; GARCEZ, E. O.; GATTO, D. A. Tijolos leves para alvenaria produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23 n.3, p. 607-614, maio/jun 2018.

GEORGE, D.M.R.; CAIRNS, P.; SMITH, A.C.; WALDRAN, K.W. Crystallinity of lyophilised carrot cell wall components. **International Journal of Biological macromolecules**, V. 26, n.5, p.325-331, 1999.

GUBBELS, F.; JÉRÔME, R.; TEYSSIÉ, P.; VANLATHEN, E.; DELTOUR, R.; CALDERONE, A.; PARENTÉ, V.; BRÉDAS, J. L. Selective Localization of Carbon Black in Immiscible Polymer Blends: A Useful Tool To Design Electrical Conductive Composites. **Macromolecules**, v. 27, n. 7, p. 1972–1974, 1994.

HENRIQUE, A. A. M. P. **Avaliação da flamabilidade e dos resíduos de queima de tintas acrílicas à base d'água**. PUCRS: Porto Alegre, p. 1-130, 2017.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Biblioteca Digital Usp: Teses e dissertações, São Carlos, p.1-146, 10 mar. 2011

JABLONSKA, M.; REIBAUS, S.; HENNING, S.; MENZEL, M.; HÄHNEL, A.; KLEHM, J.; HIRSCH, U.; HEILMANN, A. From the surface to the bulk: A comparison of methods for the microanalysis of an immiscible polymer blend. **Micron**, v. 124, 2019.

JAERGER, S. **Compósitos de polietileno de baixa densidade contendo hidróxidos duplos e hidroxissais lamelares organofílicos e organofóbicos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

JESUS, M. S.; SOUSA, T. B.; MORI, F. A.; GUIMARÃES, B. M. R. Fibras vegetais com potencial para reforço de compósitos poliméricos analisados a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. **O PAPEL**, v. 76, n. 8, p. 61 – 63, 2015.

KAISANGSRI, N.; KOWALSKI, R. J.; KERDCHOECHUEN, O.; LAOHAKUNJIT, N.; GANJYAL, G. M. Cellulose fiber enhances the physical characteristics of extruded biodegradable cassava starch foams. *Industrial Crops & Products*, v.142, 2019.

KARAMI, P.; KHASRAGHI, S. S.; HASHEMI, M.; RABIEI, S.; SHOJAEI, A. Polymer/nanodiamond composites - a comprehensive review from synthesis and fabrication to properties and applications. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.269, p.122-151, 2019.

KUILA, T.; KHANRA, P.; MISHRA, A. K.; KIM, N. H.; LEE, J. H. **Functionalized-graphene/ethylene vinyl acetate co-polymer composites for improved mechanical and thermal properties**. *Polymer Testing*, v.31, p.282–289, 2012.

LANDROCK, A. H. **Handbook of Plastic Foams: Types, Properties, Manufacture and Applications**, New Jersey: Elsevier Science, p. 221-248, 1995.

LIANG, J. **Melt strength and drawability of HDPE, LDPE and HDPE/LDPE blends**. *Polymer Testing*, v.73, p. 433-438, 2019.

LOOS, M. R. **Nanociência e nanotecnologia: compósitos termofixos reforçados com nanotubos de carbono**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

LOUGHBROUGH, R. Flame retardants, legislation fire market. **Industrial Minerals**, p. 35-43, 1991.

LOW, Z. K.; BLAL, N.; NAOUAR, N.; BAILLIS, D. **Influence of boundary conditions on computation of the effective thermal conductivity of foams**. International Journal of Heat and Mass Transfer, v.155, 2020.

MADURWAR M. V.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. **Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review**. Construction and Building Materials, v.38, p.872-878, 2013.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Blucher, 1991.

MARK, J. E. **Polymers data handbook**. Oxford University Press, 1998.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros**, v.18 n.2 São Carlos Apr./June 2008.

MATOS, J.R. & MACHADO, L. D. B. . **Análise térmica –Termogravimetria**. In: **Técnicas de caracterização de polímeros**. Artliber ed. São Paulo: [s.n.]. p. 209–228.

MENDES, A. M.; ROSSINI, G. H.; SIMON, H. J. B. D.; LAHR, M.; PACIONI, T. R. **Relatório de ensaio de tração com materiais poliméricos**, 2007. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~assump/Projetos/2007/Relat_Ensaio_Polimero.pdf>. Acesso em: 17 Jan. 2020.

MOHAN, T. P.; KANNY, K. Compressive characteristics of unmodified and nanoclay treated banana fiber reinforced epoxy composite cylinders. *Composites Part B: Engineering*, v.169, p.118-125, 2019.

MONTEIRO, S. N.; CALADO, V.; RODRIGUEZ, R. J. S.; MARGEM, F. M. **Thermogravimetric stability of polymer composites reinforced with less common lignocellulosic fibers – an overview**. Journal of Materials Research and Technology, v.1, issue 2, p.117-126, 2012.

MUGHAL, W.; XIN, C.; LI, J.; ABRO, M.; YANG, Z.; SOLANGI, K. H.; HE, Y. **Heat transfer performance evaluation of a novel concept of the core-hole heat**

exchanger for polymer foaming process. International Journal of Thermal Sciences v.151, 2020.

MWANZA, B. G.; MBOHWA, C. **Drivers to Sustainable Plastic Solid Waste Recycling: A Review.** Procedia Manufacturing, v.8, p.649 – 656, 2017

NAIME, N.; BRANT, A. J. C.; LUGÃO, A. B.; PONCE, P. **Espumas de fécula de mandioca com fibras naturais.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 20, 04 – 08 nov. 2012, Joinville, SC.

NEIRA, D. S. M. **Desenvolvimento de um compósito de espuma rígida de poliuretano de mamona e fibras de sisal para isolamento térmica.** Natal, Repositório UFRN, 2011.

OKOLIEOCHA, C.; RAPS, D.; SUBRAMANIAM, K.; ALTSTÄDT, V. **Microcellular to nanocellular polymer foams: Progress (2004–2015) and future directions – A review.** European Polymer Journal, v.73, p.500–519, 2015.

OLIVEIRA, A.K.F. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos.** Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2011.

OLIVEIRA, J. M. **Obtenção e caracterização de compósitos biodegradáveis de poliácido lático (PLA) reforçados com fibras de cuará.** Repositório UNB, Brasília, p. 1 – 86, 25 ago 2016.

PANZERA, T. H. **Desenvolvimento de um material compósito cerâmico para aplicação em mancais porosos.** Biblioteca Digital UFMG; Teses e dissertações, Belo Horizonte, p.1-220, 16 mar 2007.

RAHEEM, A. B.; NOOR, Z. Z.; HASSAN, A.; HAMID, M. K. A.; SAMSUDIN, S. A.; SABEEN, A. H. Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review. **Journal of Cleaner Production**, v.225, p.1052-1064, 2019

RAJCZAK, E.; ARRIGO, R.; MALUCELLI, G. Thermal stability and flame retardance of EVA containing DNA-modified clays. **Thermochimica Acta**. V.686, 2020.

RODIER, L.; CORREIA, V. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Elaboration of eco-efficient vegetable fibers reinforced cement-based composites using glass powder residue. **Cement and Concrete Composites**, Vol. 110, July 2020.

RONG, M.Z.; ZHANG, M.Q.; LIU, Y.; YANG, G.C.; ZENG, H.M. **The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites**. *Composites Science and Technology*, V. 61, p.1437-1447, 2001.

ROUQUEROL, J. Thermal Analysis | Sample-Controlled Techniques. *Encyclopedia of Analytical Science* (Third Edition), p.17-32, 2019.

SALAVAGIONE, H. J.; MARTÍNEZ, G.; GÓMEZ, M. A. Synthesis of poly(vinyl alcohol)/reduced graphite oxide nanocomposites with improved thermal and electrical properties. **Journal of Materials Chemistry**, v. 19, n. 28, p. 5027–5032, 2009.

SANG, G.; ZHU, Y.; YANG, G. **Mechanical properties of high porosity cement-based foam materials modified by EVA**. *Construction and Building Materials*, v.112, p.648–653, 2016.

SANTOS, A. M.; SILVA, R. C. J. P. **Comportamento térmico dos polímeros: parte 1**. Disponível em: < http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840772/312/Analisetermica_parte1_rev01.pdf>. Acesso em 20 nov 2019.

SANTOS, F. M. R.; SOUZA, T. F.; BARQUETE, D. M.; AMADO, F. D. R. **Comparative analysis of the sisal and piassava fibers as reinforcements in lightweight cementitious composites with EVA waste**. *Construction and Building Materials*, v.128, p.315–323, 2016.

SARAVANAN, A. K.; PRASAD, A. R.; MURUGANANDAM, D.; SARAVANAN, G.; VIVEKANANDAN, S.; SUDHAKAR, M. Study on natural fiber composites of jute, pine apple and banana compositions percentage of weight basis for thermal resistance and thermal conductivity. **Materials Today: Proceedings**, v.11, 2020.

SASIKALA, A.; KALA, A. Thermal Stability And Mechanical Strength Analysis of EVA and Blend of EVA With Natural Rubber. **Materials Today: Proceedings** v.5 p.8862–8867, 2018

SCHUSTER, M. A.; MANARA, J.; VO, C. **Experimental characterization and theoretical modeling of the infrared-optical properties and the thermal conductivity of foams**. *International Journal of Thermal Sciences*, v.98, p.156-164, 2015.

SEN, S. K.; RAUT, S. **Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review**. Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 03, n. 1, p. 462-473, 2015.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos materiais**. 6.ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, C. C. B.; TERASHIMA, F. J. H.; BARBIERI, N.; LIMA, K. F. Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods. Applied Acoustic, v.156, p.92-100, 2019.

SILVA, D. A. **Comportamento tribológico de sistemas espumas ortopédicas pele artificial: efeito da morfologia, propriedades mecânicas e energia livre superficial**, 2015. Disponível em: < <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090414898/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

SIRAKOV, N.; FONTEZ, B.; LIBOUREL, T.; SANTOS, A.; MITJA, D.; LOISEL, P. **A stage-structured hierarchical Bayes model for the babassu palm tree population dynamics** – Estimated from anthropogenic open area data sets. Ecological Modelling, v.400, p. 14-26, 2019.

SPERLING, L. **Introduction to physical polymer science** . 4^a. ed. Estados Unidos: Wiley,2006.

TANG, Z.; LI, W.; TAM, V. W. Y.; XUE, C. Advanced progress in recycling municipal and construction solid wastes for manufacturing sustainable construction materials. **Resources, Conservation & Recycling**: X 6, 2020.

VALENTIM, A. C. S.; TAVARES M. I. B.; SILVA E. O. **Efeito da adição de TiO2 nas propriedades térmicas e na cristalinidade do copolímero de etileno/acetato de vinila**. Quim. Nova, v. 37, n. 2, p. 255-259, 2014.

VALENZUELA-DIAZ, F. R.; SILVA, A. A.; MARTINS, M. G.; RODRIGUES, M. G. F. **Preparação de argilas organofílicas usando diferentes concentrações de sal quaternário de amônio**. Cerâmica v. 53, p. 417-422, 2007.

VASSILOPOULOS, A. P. The history of fiber-reinforced polymer composite laminate fatigue. **International Journal of Fatigue**. Volume 134, May 2020.

VICTOR, R. S.; DINIZ, L. M.; LEITE, A. M. D.; VIANA, K. M. S.; ARAÚJO, E. M. **Preparação e caracterização de nanocompósitos EVA/argila**. 22 Cbecimat, p. 9501-9512, 2016.

YAN, L.; CHOUW, N.; JAYARAMAN, K. **Flax fibre and its composites – A review**. Composites: Part B, v.56, p.296–317, 2014.

YUAN, B.; SUN, Y.; CHEN, X.; SHI, Y.; DAI, H.; HE, S. Poorly-/well-dispersed graphene: Abnormal influence on flammability and fire behavior of intumescent flame retardant. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v.109, p.345-354, 2018.

WAN, C.; SUN, G.; GAO, F.; LIU, T.; ESSEGHIR, M.; ZHAO, L.; YUAN, W. **Effect of phase compatibility on the foaming behavior of LDPE/HDPE and LDPE/PP blends with subcritical CO₂ as the blowing agent**. J. of Supercritical Fluids, v.120, p.421–431, 2017.

ZHU, C.; GUO, S.; FANG, Y.; DONG, S. Reducing sugar: New functional molecules for the green synthesis of graphene nanosheets. **ACS Nano**, v. 4, n. 4, p. 2429–2437, 2010.

ZIMMERMANN, M. V. G.; TURELLA, T. C.; ZATTERA, A. J. Influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de Poli (etileno-co-acetato de vinila) com e sem Agente de Expansão. **Polímeros**, vol. 24, n. 1, p. 58-64, 2014

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone/Fax(0XX11) 3133-8908
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://www.ipen.br>

O IPEN é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento, associada à Universidade de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.