



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto Politécnico

João Guilherme Macedo de Almeida Pedote

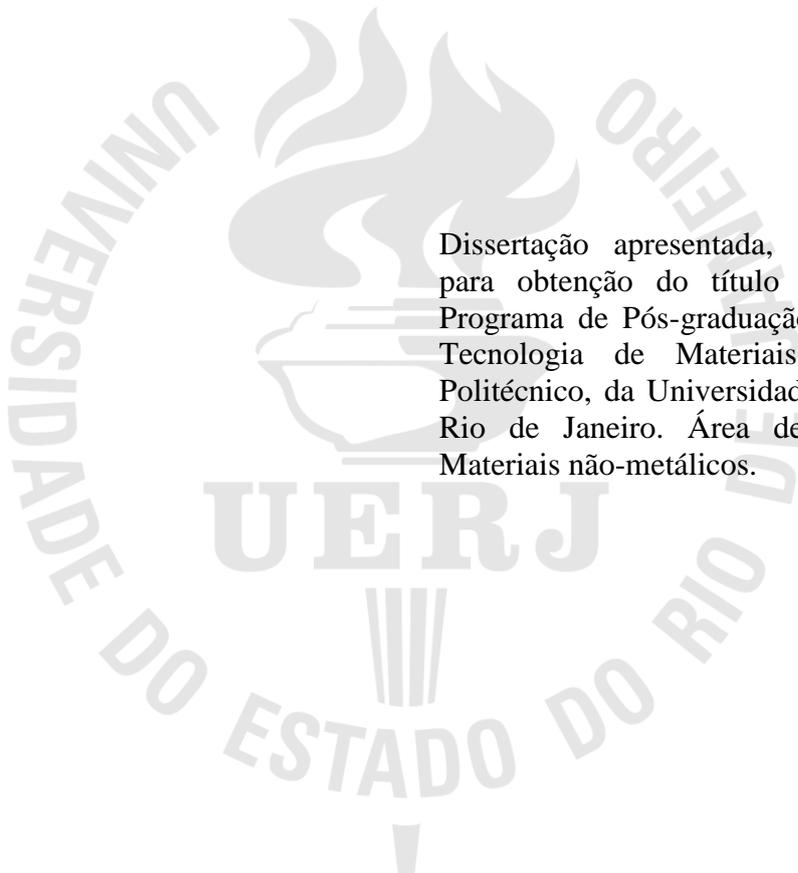
**Avaliação das propriedades do compósito de acrilonitrila-butadieno-
estireno carregado com fibra de palmeira real australiana**

Nova Friburgo

2020

João Guilherme Macedo de Almeida Pedote

Avaliação das propriedades do compósito de acrilonitrila-butadieno-estireno carregado com fibra de palmeira real australiana



Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Materiais não-metálicos.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marisa Cristina Guimarães Rocha

Nova Friburgo

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/E

P371 Pedote, João Guilherme Macedo de Almeida.
Avaliação das propriedades do compósito de acrilonitrila-
butadieno estireno carregado com fibra de palmeira real australiana /
João Guilherme Macedo de Almeida Pedote. - 2020.
79 f. : il.

Orientadora: Marisa Cristina Guimarães Rocha
Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Instituto Politécnico.

1. Polímeros – Misturas – Propriedades mecânicas – Teses. 2.
Compostos poliméricos – Teses. 3. Resíduos orgânicos –
Reaproveitamento – Teses. I. Rocha, Marisa Cristina Guimarães. II.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto Politécnico. III.
Título.

CDU 678.7

Bibliotecária Cleide Sancho CRB7/5843

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

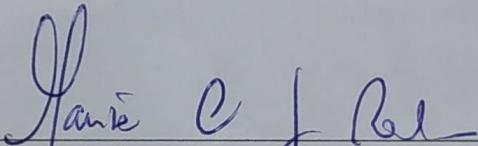
João Guilherme Macedo de Almeida Pedote

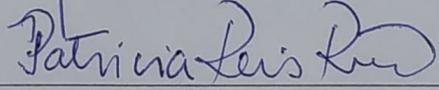
Avaliação das propriedades de compósitos de acrilonitrila-butadieno-estireno carregados com fibra de palmeira real australiana

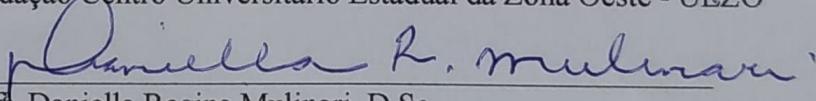
Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais do Instituto Politécnico, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Materiais Não-Metálicos, Linha de Pesquisa: Polímeros, Aplicações.

Aprovada em 05 de fevereiro de 2020.

Banca examinadora:


Prof^a Marisa Cristina Guimarães Rocha, D.Sc. (Orientadora)
Instituto Politécnico - UERJ


Prof^a. Patricia Reis Pinto, D.Sc
Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO


Prof^a. Daniella Regina Mulinari, D.Sc.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ

Nova Friburgo

2020

AGRADECIMENTOS

À minha família por tudo o que eu realizei e me tornei durante esses 27 anos de vida.

À professora Marisa Rocha pela orientação, suporte e paciência durante a realização deste projeto.

Ao técnico Jorge de Mattos Futigami e à professora Nancy Alvarez que sempre estiveram à disposição para ajudar na realização e na análise dos experimentos.

A todos os amigos que fiz durante o curso.

Às professoras Daniella Regina Mulinari e Patrícia Reis Pinto por participarem da banca avaliadora.

A todos que, de alguma forma, me ajudaram na realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

... there is no shame in not knowing. The problem arises when irrational thought and attendant behavior fill the vacuum left by ignorance.

Nei deGrasse Tyson

RESUMO

PEDOTE, J. G. M. A, **Avaliação das propriedades do compósito de acrilonitrila-butadieno-estireno carregado com fibra de palmeira real australiana**. 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2020.

As ações do ser humano no planeta já podem ser observadas em diversas áreas de pesquisa e, com a projeção de aumento populacional nos próximos anos, muitas questões precisam ser abordadas. O uso de fibras naturais como reforços em compósitos poliméricos, a fim de se produzir materiais de engenharia mais leves, de baixo custo e biodegradáveis tem sido estudado nos últimos anos. Neste trabalho foram desenvolvidos compósitos de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) reforçados com fibras da palmeira real australiana. As fibras passaram pelo tratamento químico de mercerização e os efeitos desse tratamento foram analisados pelas técnicas de Difração de Raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Infravermelho. As fibras *in natura* e mercerizadas misturadas ao ABS foram processadas em extrusora de rosca dupla nas proporções 5, 10, 15 e 20% (m/m). As condições de processamento foram analisadas por avaliação do índice de fluidez. Os compósitos produzidos foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura e suas propriedades mecânicas avaliadas por ensaios de tração e flexão. As misturas foram injetadas para a confecção dos corpos de prova de tração e flexão. Os resultados da caracterização das fibras demonstraram que a mercerização promoveu redução da cristalinidade, remoção parcial de lignina e aumento do teor de celulose II da palmeira, além de uma maior dispersão das fibras na matriz polimérica. As análises dos ensaios mecânicos dos compósitos indicaram que, dependendo da aplicação solicitada, a adição das fibras de palmeira melhorou as propriedades mecânicas, quando comparados ao ABS virgem, podendo ser aplicados em materiais mais sustentáveis e de menor custo.

Palavras-chave: Fibras da palmeira real australiana. ABS. Compósitos. Mercerização.

Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

PEDOTE, J. G. M. A, **Evaluation of the properties of the acrylonitrile-butadiene-styrene composite loaded with australian royal palm fiber**. 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2020.

The actions of human beings on the planet can already be observed in several areas of research, and, with the projection of population increase in the coming years, many issues need to be addressed. The use of natural fibers as reinforcements in polymeric composites in order to produce lighter, low-cost and biodegradable engineering materials has been studied in recent years. In this work, acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) composites reinforced with fibers from the Australian royal palm were developed. The fibers underwent chemical mercerization treatment and the effects of this treatment were analyzed by X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and Infrared Spectroscopy techniques. The “*in natura*” and mercerized fibers mixed with ABS were processed in a double screw extruder in the proportions 5, 10, 15 and 20% (w/w). Processing conditions were analyzed by melting flow index. The composites produced were characterized by scanning electron microscopy and their mechanical properties were evaluated by tensile and flexion tests. The mixtures were injected to make the tensile and flexion specimens. The results of the characterization of the fibers demonstrated that the mercerization promoted a reduction of crystallinity, partial removal of lignin and an increase in the cellulose II content of the palm fiber, in addition to a greater dispersion of the fibers in the polymeric matrix. The analysis of the mechanical tests of the composites indicated that, when compared to virgin ABS, depending on the requested application, the addition of palm fibers improved the mechanical properties, being able to be applied in more sustainable and less costly materials.

Keywords: Australian royal palm fibers. ABS. Composites. Mercerization.

Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espécies de Palmeiras.....	18
Figura 2 - A folha de palmeira representada em pintura a óleo.....	19
Figura 3 - Archontophoenix Alexandrae.....	20
Figura 4 - Distribuição da Archontophoenix alexandrae na Austrália.....	21
Figura 5 - Estrutura do ABS.....	23
Figura 6 - Obtenção do ABS.....	24
Figura 7 - Fibra da Palmeira Real Australiana.....	33
Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental.....	34
Figura 9 - Difractogramas de raios X das fibras de palmeira in natura e mercerizadas.....	40
Figura 10 - Microscopia da fibra de palmeira in natura.....	42
Figura 11 - Microscopia da fibra de palmeira mercerizada.....	42
Figura 12 - Fibrilas e rugosidade observadas na microscopia da FP mercerizada.....	43
Figura 13 - Clareamento da fibra de palmeira após a mercerização.....	44
Figura 14 - Espectros na região do infravermelho das fibras de palmeira in natura e das fibras de palmeira mercerizadas.....	44
Figura 15 - Índice de fluidez do ABS e dos compósitos.....	48
Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura do ABS.....	50
Figura 17 - Microscopias dos compósitos.....	51
Figura 18 - Módulo de elasticidade do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FM.....	53
Figura 19 - Resistência à tração do ABS e dos compósitos ABS/FP e ABS/FM.....	54
Figura 20 - Deformação na ruptura do ABS e dos compósitos ABS/FP e ABS/FM.....	55
Figura 21 - Módulo de Elasticidade do ABS e dos compósitos.....	57
Figura 22 - Resistência à flexão do ABS e dos compósitos.....	58
Figura 23 - Microscopia óptica dos filamentos para impressão 3D.....	59
Figura 24 - Microscopia eletrônica de varredura do ABS in natura.....	71
Figura 25 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP05.....	72
Figura 26 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP10.....	73
Figura 27 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP15.....	74
Figura 28 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP20.....	75
Figura 29 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM05.....	76
Figura 30 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM10.....	77
Figura 31 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM15.....	78
Figura 32 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM20.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Influência dos monômeros nas propriedades do ABS.....	25
Tabela 2 - Propriedades do ABS.....	25
Tabela 3 - Comparação das densidades, resistências à tração e módulos de elasticidade de fibras sintéticas e naturais.....	28
Tabela 4 - Especificações do ABS.....	32
Tabela 5 - Perfis de temperatura, rotação e alimentação da extrusão.....	36
Tabela 6 - Formulação dos compósitos ABS/FP e ABS/FPM.....	36
Tabela 7 - Índices de cristalinidade das fibras de palmeira in natura e mercerizadas.....	41
Tabela 8 - Atribuição dos sinais no infravermelho da fibra de palmeira in natura e da fibra.....	45
Tabela 9 - Razão de absorbância (RA).....	46
Tabela 10 - Índice de fluidez (MFI) do ABS virgem e do ABS processado.....	47
Tabela 11 - Índice de fluidez do ABS, dos compósitos ABS/FB e ABS/FM.....	48
Tabela 12 - Propriedades mecânicas em tração dos compósitos ABS/FP e ABS/FM.....	52
Tabela 13 - Propriedades mecânicas em flexão do ABS e dos compósitos.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
IPRJ	Instituto Politécnico do Rio de Janeiro
MFI	Índice de Fluidez
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
FP	Fibra de Palmeira
FPM	Fibra de Palmeira Mercerizada
RPM	Rotações por minuto
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
OH	Hidroxila
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
DRX	Difração de Raios X

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
	OBJETIVO	16
1	REVISÃO DA LITERATURA	17
1.1	Palmeira Real Australiana	17
1.2	Copolímero Acrilonitrila-Butadieno- Estireno (ABS)	22
1.3	Compósitos	26
1.4	Compósitos com fibras lignocelulósicas	27
1.5	Compósitos de ABS com fibras de palmeira australiana	29
1.6	Tratamento químico da fibra de palmeira australiana	30
1.7	Mercerização	31
2	METODOLOGIA	32
2.1	Materiais Utilizados	32
2.1.1	<u>Copolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)</u>	32
2.1.2	<u>Fibra de Palmeira</u>	32
2.1.3	<u>Estearato de Cálcio</u>	33
2.2	Procedimento experimental	34
2.3	Preparação dos compósitos de ABS com as fibras de Palmeira in natura e com as fibras de Palmeira Mercerizadas	34
2.3.1	<u>Moagem e Peneiração das Fibras de Palmeira</u>	34
2.3.2	<u>Mercerização das Fibras</u>	35
2.3.3	<u>Determinação do índice de fluidez da matriz polimérica ABS pura e dos compósitos contendo fibra de palmeira pré e pós tratamento</u>	35
2.3.4	<u>Processamento em Extrusão dos Compósitos</u>	36
2.3.5	<u>Preparação dos Corpos de Prova para Ensaios de Tração e Flexão</u>	37
2.3.6	<u>Determinação das propriedades mecânicas em Flexão</u>	37
2.3.7	<u>Determinação das propriedades mecânicas em tração</u>	38
2.3.8	<u>Confecção dos fios</u>	38
2.3.9	<u>Difração de raios X (DRX)</u>	38
2.3.10	<u>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</u>	38
2.3.11	<u>Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)</u>	39
2.3.12	<u>Microscopia óptica (MO)</u>	39

3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
3.1	Análise do processo de mercerização de fibras	40
3.1.1	<u>Difratometria de raios X (DRX)</u>	40
3.1.2	<u>Microscopia eletrônica de varredura das fibras de palmeira in natura e das fibras mercerizadas</u>	42
3.1.3	<u>Espectroscopia de infravermelho (FTIR)</u>	44
3.2	Análise das condições de processamento adotadas através de análise de índice de fluidez	46
3.3	Avaliação da processabilidade dos compósitos obtidos	47
3.4	Microscopia eletrônica de varredura do ABS e dos compósitos ABS/FPe dos compósitos ABS/FPM	49
3.5	Propriedades mecânicas em tração do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM	52
3.6	Propriedades mecânicas em flexão do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM	56
3.7	Microscopia óptica dos filamentos	58
	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
	APÊNDICE	71

INTRODUÇÃO

Os efeitos causados pelo ser humano no planeta já podem ser observados em muitas áreas geográficas e, com a tendência de aumento populacional (consequentemente gerando o aumento do consumo) muitas questões precisam ser abordadas, como o destino final de nossos resíduos, a quantidade cada vez maior de partículas de plásticos no oceano, o consumo de energia e o impacto ambiental gerado pelos materiais produzimos.

O uso de fibras naturais como reforços em compósitos poliméricos a fim de se produzir materiais de engenharia mais leves, de baixo custo e biodegradáveis, quando comparadas às fibras de vidro (AKIL, 2011), tem sido estudado nos anos recentes. Esse interesse deve-se principalmente por essas fibras naturais serem alternativas renováveis comparadas aos recursos finitos e poluentes originados do petróleo. Uma das razões para esse crescente interesse é que as fibras naturais possuem propriedades mecânicas semelhantes, e em alguns casos, superiores às fibras de vidros conhecidas (BLEDZKI *et al.*, 1999).

Uma quantidade considerável de resíduos que são descartados é gerada diariamente pela agroindústria. A utilização desses recursos como reforços em compósito poliméricos mostra-se uma possibilidade atrativa devido ao baixíssimo custo e propriedades similares às fibras sintéticas convencionais (BOLTON, 1994). A fibra da palmeira real australiana apresenta-se como um desses recursos por ser um subproduto da indústria do palmito. Pelo fato de o Brasil ser o maior produtor de palmito do mundo, toneladas desses resíduos são descartados no ambiente anualmente.

As fibras naturais podem ser consideradas como compósitos formados por fibrilas ocas de celulose mantidas juntas por uma matriz de lignina e hemicelulose (BHATTACHARYYA *et al.*, 2003). Compósitos que utilizam fibras vegetais como reforço apresentam vantagens econômicas e ambientais (GASSAN *et al.*, 2000). Baixa densidade, baixo custo, propriedades mecânicas consideráveis e biodegradabilidade são vantagens da utilização de fibras vegetais às fibras sintéticas tradicionais (CAO *et al.*, 2006).

O constituinte principal de qualquer fibra vegetal é a celulose e, além dela, a maioria das fibras naturais também é composta por hemicelulose, lignina, ceras e vários compostos solúveis em água; sendo a celulose, a hemicelulose e a lignina os constituintes de maior concentração (AKIL *et al.*, 2011)

As fibras baseadas em celulose são polares e hidrofílicas por natureza devido à presença de grupos hidroxila altamente polarizados em sua estrutura (JOHN *et al.*, 2008). Por causa dessa

polaridade inerente, materiais compósitos feitos com fibras naturais não modificadas frequentemente exibem propriedades mecânicas insatisfatórias. Para superar isso, em muitos casos, um tratamento de superfície ou compatibilizantes precisam ser usados antes da fabricação do compósito.

Um dos tratamentos químicos mais realizados no tratamento de fibras vegetais, como a fibra da palmeira real australiana, é o processo de mercerização. Nesse processo as fibras são imersas em uma solução concentrada de hidróxido de sódio. A mercerização altera as regiões cristalina e amorfa da celulose, e este processo é influenciado por parâmetros como: concentração da solução alcalina, tempo de tratamento, temperatura, aditivos e tensão aplicada aos materiais (GEMCI, 2010).

A utilização de compósitos com matrizes poliméricas termoplásticas aumentou de forma significativa nos últimos anos. O copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um commodity amplamente utilizado nas indústrias automotivas e na produção de utensílios plásticos (MILENIUS, 1979). É um plástico amorfo que apresenta vantagens como: resistência química, retardamento de chama, fácil processamento (quando comparado a materiais cerâmicos), entre outras (WIEBECK, 2005).

O desenvolvimento de compósitos de ABS reforçados com fibras naturais tem sido descrito na literatura. Esses estudos envolvem a utilização de diversas fibras vegetais, entre elas as fibras de palmeira (NEHER *et al.*, 2014), as fibras de juta (HOSOKAWA *et al.*, 2017; DUNNE *et al.*, 2017), o pó de madeira (XIAO *et al.*, 2004), as fibras de kenaf (MOHAMMAD *et al.*, 2013), as fibras de banana (SINGH *et al.*, 2019), as fibras de sisal (DUNNE *et al.*, 2017), as fibras das folhas do abacaxi (THREEPOP NATKUL *et al.*, 2014), entre outras. De forma geral, os estudos demonstram que a adição das fibras ao ABS gera compósitos com propriedades superiores, comparados ao copolímero virgem, desde que ocorra tanto adesão eficiente com a matriz polimérica quanto dispersão satisfatória das fibras no polímero. Em alguns desses estudos, agentes compatibilizantes e tratamentos químicos são utilizados a fim de ter uma interação fibra/matriz aprimorada e consequentemente gerando melhores propriedades mecânicas para o compósito.

O copolímero ABS é um material de referência no processo de modelagem por impressão em 3D (TORRADO *et al.*, 2014). A impressão tridimensional é uma das técnicas de fabricação aditiva mais versáteis e revolucionárias na criação de objetos 3D que possuem estruturas únicas e propriedades diversas. A acessibilidade das impressoras 3D para uso industrial e pessoal aumentou dramaticamente na última década (WOHLERS, 2014). O fato de

as primeiras patentes relacionadas aos processos de fabricação por adição terem expirado é um dos grandes influenciadores desse aumento (STANSBURY, 2016). Esse processo de impressão utiliza uma extrusora de pequena escala para forçar a saída de um filamento polimérico termoplástico o qual é depositado no estado semifundido em uma plataforma em um processo camada-a-camada (ZEIN *et al.*, 2012).

A possibilidade de reduzir os custos desse material através da incorporação de fibras naturais é atraente tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental, podendo ampliar ainda mais a utilização de impressoras 3D.

OBJETIVO

Em virtude do papel desempenhado pelo Brasil na produção mundial de palmito (maior produtor) e da vasta quantidade de resíduos gerados que são descartados por essa indústria, este trabalho tem como objetivo principal a utilização das fibras da palmeira real australiana, através da sua incorporação ao copolímero termoplástico acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), gerando compósitos passíveis de utilização como filamentos para impressoras 3D, reduzindo custos e contribuindo para produzir materiais com menores impactos adversos ao meio ambiente com propriedades mecânicas aprimoradas.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Palmeira Real Australiana

A *Arecaceae* é uma família botânica de plantas perenes da ordem Acales, que inclui as espécies denominadas coloquialmente de palmeiras (ALLABY, 2012).

Atualmente são conhecidos 181 gêneros na família *Arecaceae* com cerca de 2600 espécies (CHRISTENHUSZ, *et al.*, 2016), sendo que a maioria é restrita a climas tropicais e subtropicais. A maioria das palmeiras se distingue por suas folhas grandes e verdes, dispostas no topo de um caule não ramificado. No entanto, as palmeiras exibem uma enorme diversidade de características físicas e habitam quase todos os tipos de habitat, desde florestas tropicais até desertos (HAYNES *et al.*, 2001). A Figura 1 ilustra algumas espécies de palmeiras.

Figura 1 - Espécies de Palmeiras



Legenda: Canto superior esquerdo: *Archontophoenix alexandrae*. Canto superior direito: *Corypha utan*. Canto inferior esquerdo: *Licuala ramsayi*. Canto inferior direito: *Wodyetia bifurcata*.
Fonte: DOWE, 2010.

Em muitas culturas antigas, devido à sua importância como alimento, as palmeiras são consideradas símbolos de ideias como vitória, paz e fertilidade (Figura 2) (GIOVINO, 2007). Hoje em dia, para os habitantes de climas mais frios, as palmeiras simbolizam os trópicos e as férias (SAYAN, 2001).

Figura 2 - A folha de palmeira representada em pintura a óleo



Fonte: BOUGUEREAU, Século XIX

O interesse no cultivo dessas espécies de plantas aumentou significativamente devido ao seu protagonismo indiscutível, onde as palmeiras são de imensa importância ecológica e econômica (BELINI *et al.*, 2011). As palmeiras estão entre as famílias de plantas mais conhecidas e mais cultivadas. Muitos produtos e alimentos comuns são derivados das palmeiras. Nos tempos contemporâneos, as palmeiras também são amplamente utilizadas no paisagismo, o que as torna plantas com grande potencial econômico (DOWE, 2010).

Dentre as várias espécies de palmeiras, a *Archontophoenix alexandrae*, denominada coloquialmente por palmeira real australiana, destaca-se pela extração de espécies nobres de palmito (MULINARI *et al.*, 2010). A partir de cada palmeira, são obtidos aproximadamente 400g de palmito comercial e o resíduo gerado consiste em 80-90% do peso total da palmeira.

A palmeira real australiana apresenta classificação científica como pertencente ao reino *Plantae*, à classe das *Monocotyledonea*, à ordem das *Arecales*, à família das *Arecaceae*, ao gênero *Archontophoenix* e à espécie *Archontophoenix Alexandrae*. É uma espécie originária de Queensland, Austrália, uma região tropical que está a uma altitude abaixo de 1.100 m. A Figura 3 ilustra as palmeiras reais australianas.

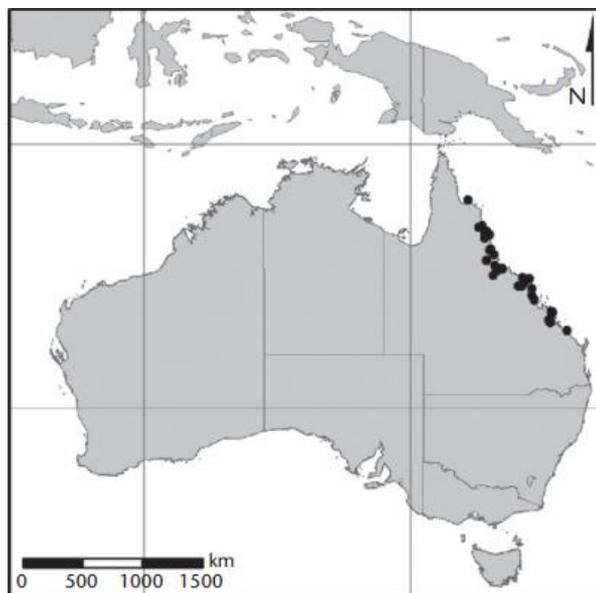
Figura 3 - *Archontophoenix Alexandrae*, nos Lagos Centenários, Jardins Botânicos de Cairns, Queensland



Fonte: DOWE, 2010.

Archontophoenix alexandrae é a palmeira mais difundida e predominante no nordeste da Austrália, contribuindo para uma fisionomia característica da paisagem, embora a maior parte de seu antigo habitat de planície tenha sido desmatada para agricultura (DOWE, 2010). A Figura 4 mostra a distribuição dessa espécie na Austrália.

Figura 4 - Distribuição da *Archontophoenix alexandrae* na Austrália



Fonte: DOWE, 2010.

Ferdinand von Mueller (1825 – 1896), Botânico Oficial do governo inglês, durante o reinado da Rainha Vitória (1819 – 1901) forneceu informações adicionais sobre a *Archontophoenix alexandrae* em um de seus fragmentos de artigos (Mueller, 1865), transcrito abaixo:

Essa palmeira é a mais bonita do país e é dedicada à nobre princesa Alexandra, ex-trono dinamarquês, agora da família real britânica. Nomeada em homenagem à princesa Alexandra da Dinamarca (1844 - 1925), filha do rei Christian IX e Louise de Hessen-Kassel, casada com o rei Eduardo VII da Grã-Bretanha (1841 - 1910) em 1863. (MUELLER, 1865, p.48).

A Palmeira Real Australiana é utilizada no Brasil e em outros países em parques e jardins (MAEDA *et al.*, 1987; LORENZI *et al.*, 2005). As plantas dessa espécie possuem um sistema de raízes muito densas, o que as tornam muito importantes na prevenção de erosão em margens de rios (STRINGHETA *et al.*, 2004). O clima necessário para cultivar esta espécie pode ser quente e úmido. Esta planta se adapta a vários tipos de solos, como solos muito arenosos ou com alto teor de argila, além de tolerar pH baixo (RIBEIRO, 1996).

Entre várias fibras naturais, as fibras da palmeira real australiana apresentam vantagens devido à sua abundância e baixo custo, uma vez que é um subproduto da indústria do palmito. O Brasil é responsável por fornecer 95% do palmito consumido no mundo (EMBRAPA, 2019). A produção anual brasileira é de aproximadamente 210 mil toneladas, baseada quase que exclusivamente no extrativismo (de SOUZA, 2011). Este setor brasileiro tem um faturamento

anual estimado em US\$ 350 milhões, com a geração de 8 mil empregos diretos e 25 mil empregos indiretos (EMBRAPA, 2019).

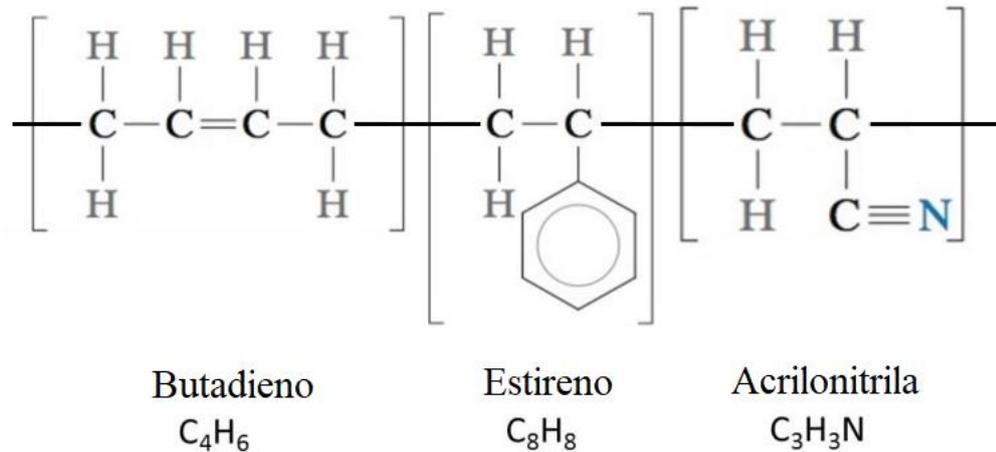
Apesar de não existir muitos estudos sobre a utilização das fibras de palmeira real australiana no desenvolvimento de materiais de engenharia, existem inúmeros artigos científicos (MAEDA *et al.*, 1987; AL-OQLA *et al.*, 2014; ALAWAR *et al.*, 2009; KADDAMI *et al.*, 2006; BENDAHOU *et al.*, 2008; SBIAI *et al.*, 2010; BEN *et al.*, 2010; SBIAI *et al.*, 2008; RENOUPREZ *et al.*, 1988) dedicados ao estudo de outras espécies de palmeiras.

Estudo efetuado por Al-Oqla *et al.* (2014) avaliou a viabilidade da utilização de fibras de tamareira (FT), uma espécie de palmeira extensivamente cultivada pelos seus frutos (tâmaras), como reforço em compósitos de matriz polimérica na indústria automobilística. A fim de verificar o potencial e competitividade das fibras de tamareira, foram realizadas diversas comparações com outras fibras naturais já utilizadas na área, como fibras de cânhamo, fibras de sisal e fibras de coco. Na maioria das comparações, as FT mostraram-se mais vantajosas que as outras fibras analisadas. Os compósitos formulados com as FT apresentaram os maiores valores de módulo de Young e maior razão custo/desempenho. Além disso, os autores enfatizaram que a adoção dessa fibra tem uma influência ambiental significativa por possibilitar o gerenciamento eficiente e sustentável de resíduos.

1.2 Copolímero Acrilonitrila-Butadieno- Estireno (ABS)

O copolímero ABS é um termoplástico amorfo de engenharia constituído a partir de três monômeros: acrilonitrila, butadieno e estireno e, sua estrutura, pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 - Estrutura do ABS

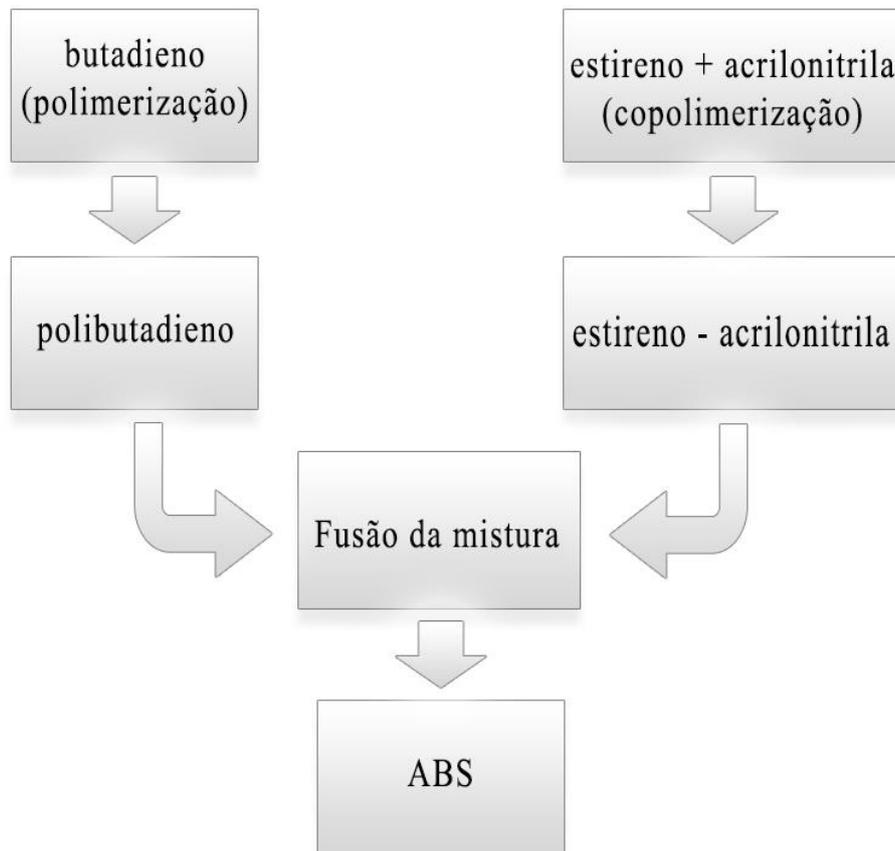


Fonte: O autor, 2019.

O ABS foi patenteado em 1948 e introduzido ao mercado pela Borg-Warner Corporation em 1954 (BRITANNICA, 2009).

O processo químico da preparação de resinas de ABS se inicia com a polimerização do butadieno, gerando o polibutadieno. Em paralelo, estireno e acrilonitrila são copolimerizados em um reator, resultando no copolímero estireno-acrilonitrila. Posteriormente, é realizada a extrusão da blenda (polibutadieno + estireno-acrilonitrila) para produção do copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno, conhecido como ABS (WIEBECK, 2005). Este processo pode ser observado na Figura 6:

Figura 6 - Obtenção do ABS



Fonte: O autor, 2019

Sob condições normais de uso e processamento, o ABS se decompõe de maneira estável, com liberação de agentes cancerígenos bem abaixo dos limites recomendados em local de trabalho (UNWIN, 2012; FORREST, 1995). No entanto, em temperaturas mais altas (iguais ou superiores a 400 °C), o ABS pode se decompor em seus constituintes: butadieno (cancerígeno para humanos), acrilonitrila (possivelmente cancerígeno para humanos) e estireno (UNWIN, 2012).

As propriedades do ABS são influenciadas diretamente por cada um de seus componentes, como pode ser visto na Tabela 1. Por exemplo, a acrilonitrila aumenta a dureza e a resistência química do ABS, enquanto o butadieno age como um plastificante, ao mesmo tempo que aumenta a resistência ao impacto. O estireno melhora as propriedades térmicas e de processamento (SALARI, 2008).

Tabela 1 - Influência dos monômeros nas propriedades do ABS

Acrilonitrila fornece	Estireno fornece	Butadieno fornece
Resistência térmica e química	Brilho, moldabilidade e rigidez	Resistência ao impacto e alongamento

Fonte: WIEBECK, 2005.

A composição dos três monômeros do ABS padrão normalmente consiste de 15 a 35% de acrilonitrila, 5 a 30% de butadieno e de 40 a 60% de estireno. Essas proporções, entretanto, podem variar de acordo com as propriedades desejadas (ZENKIEWICZ et al., 2009; MARISSEN et al., 2001; KONOSHI et al., 2002).

Os copolímeros ABS apresentam uma excelente combinação de propriedades mecânicas, térmicas e químicas, moderado preço e facilidade de processamento. Além disso exibem um bom balanço de resistência ao impacto, à tração, dureza e módulo de elasticidade (WIEBECK, 2005). Os valores médios de propriedades encontrados nos copolímeros ABS comerciais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades do ABS

Propriedades do ABS		ABS	
		Mínimo	Máximo
Tensão na Ruptura	MPa	38	58
Módulo de Elasticidade	MPa	1900	2700
Alongamento na Ruptura	%	2	3,1
Resistência ao Impacto Charpy	kJ/m ²	12	36
Densidade	g/cm ³	1,02	1,06
Fluidez	cm ³ /10 min	2	35

Fonte: WIEBECK, 2005.

Por sua densidade relativamente baixa e sua capacidade de ser moldado e extrudado por injeção, o ABS torna-se uma opção viável na fabricação de produtos como: tubos, instrumentos musicais, componentes de acabamento automotivos, para-choques automotivos, dispositivos médicos, brinquedos (MILENIUS, 1979), sendo os bens domésticos e de consumo os que compreendem suas principais aplicações (PLATT, 2003).

Em estudo, Żenkiewicz *et al.* (2009) avaliaram a influência nas propriedades mecânicas de peças de ABS que foram moldadas em injeção repetidas vezes e observou-se que as maiores alterações na resistência à tração e no índice de fluidez ocorrem durante a primeira moldagem por injeção e que, o índice de fluidez aumenta levemente com o número processamentos. Com

maior efeito na primeira injeção (aproximadamente 14% de aumento) e em maior proporção após a décima injeção (excedendo 27% de aumento no módulo de fluidez).

1.3 Compósitos

Compósitos são materiais multifásicos que exibem uma proporção significativa das características de suas fases constituintes, de forma a se obter a melhor combinação de propriedades (PETERS, 2013). Muitos materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases; uma denominada matriz que normalmente está em maior quantidade, é contínua e envolve a outra fase denominada fase dispersa, ou fibras (CALLISTER, 2008).

A matriz tem como principal função distribuir a carga pelo compósito, enquanto o reforço é responsável por resistir aos esforços solicitados (NETO; PARDINI, 2016). Em comparação à matriz, as fibras são fortes e rígidas e geralmente ortotrópicas (tendo propriedades diferentes em duas direções diferentes).

Materiais compósitos podem ser classificados de acordo com suas matrizes em três diferentes categorias; compósitos de matrizes cerâmicas, compósitos de matrizes metálicas e compósitos de matrizes poliméricas (CAMARGO et al., 2009)

Um compósito de matriz polimérica (CMP) é um material composto por uma variedade de fibras curtas ou contínuas unidas por uma matriz polimérica. Ao contrário dos compósitos de matriz cerâmica (CMC), no qual o reforço é usado principalmente para melhorar a resistência à fratura, o reforço em um CMP fornece alta resistência e rigidez. Os CMPs são projetados para transferir esforços entre as fibras através da matriz. Algumas das vantagens desses compósitos incluem seu baixo peso, alta rigidez e sua alta resistência à tração ao longo da orientação de suas fibras. Outras vantagens são boas resistência à abrasão e à corrosão (PRINCETON, 2018).

Diversos polímeros podem ser utilizados na mistura com fibras naturais para o desenvolvimento de compósitos, como poliéster insaturado, resina epóxi, polipropileno e polietileno. Esses polímeros são os mais recomendados devido às temperaturas de processamento serem inferiores a 200°C a fim de se evitar a degradação da fibra (SAHEB et al., 1999).

1.4 Compósitos com fibras lignocelulósicas

Compósitos que utilizam fibras naturais como reforço são, majoritariamente, commodities que apresentam propriedades estruturais funcionais a um custo relativamente baixo (ALAWAR et al., 2009).

As fibras são introduzidas aos polímeros para melhorar propriedades como rigidez, resistência ao impacto, flexão e resistência à tração. No caso de polímeros reforçados com fibras naturais, também se pode obter materiais biodegradáveis ou com maior propensão à biodegradação (CAO et al., 2006). As fibras mais utilizadas como elementos de reforço em polímeros são as fibras de vidro, de aramida e de carbono. De forma geral, os compósitos poliméricos reforçados com fibras de vidro são os mais baratos e os mais comumente usados (BOLTON, 1995).

Fibras lignocelulósicas, como as de palmeira, sisal, coco, juta, bambu, madeira, além de vários resíduos de produtos celulósicos (WILLIAMS; WOOL, 2000), como: farinhas obtidas de resíduos agroindustriais, ou de madeira, têm sido utilizadas como elementos de reforço de diferentes resinas termorrígidas e termoplásticas (GASSAN; GUTOWSKI, 2000).

A indústria automotiva teve de desenvolver novos materiais utilizando essas fibras de baixo custo devido a uma lei europeia implementada em 2006, a qual exigiu que até o ano de 2015, 85% dos materiais utilizados nos carros sejam reciclados ou reutilizados. A grande vantagem desses materiais para esse setor é a sua baixa densidade. Veículos mais leves necessitam de menos combustível e, conseqüentemente há uma redução das emissões de CO₂ na atmosfera (MURILLO *et al.*, 2018).

Ao contrário das fibras de engenharia tradicionais (fibras de vidro, carbono) e cargas minerais, as fibras lignocelulósicas são capazes de conceder ao compósito certos benefícios, como: maior tendência à biodegradação, baixa densidade, menor desgaste do equipamento durante o processamento, diminuição nos riscos à saúde e um alto grau de flexibilidade.

A fim de se obter materiais de engenharia de baixo custo, o uso de fibras naturais de origem vegetal como reforço em compósitos poliméricos recentemente vem sendo muito estudado (WILLIAMS; WOOL, 2000). Novas leis ambientais, assim como a pressão por parte dos consumidores vem gerando uma tendência nas indústrias de manufaturas (principalmente as indústrias automotivas, de construção e de embalagens) a procurar novos materiais que possam substituir os materiais convencionais obtidos de fontes não-renováveis utilizados como

elemento de reforço, como a fibra de vidro (NEHER et al., 2014), por aqueles obtidos a partir de fontes renováveis.

Na Tabela 3 abaixo, pode-se verificar que o uso de fibras vegetais pode promover propriedades similares às das fibras sintéticas convencionais, e que devido à baixa densidade específica pode conduzir a uma relação custo-benefício mais vantajosa.

Tabela 3 - Comparação das densidades, resistências à tração e módulos de elasticidade de fibras sintéticas e naturais

Fibras	Densidade Específica	Resistência à Tração (GPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Fibras Vegetais	0.6-1.2	1.6-2.95	10-130
Vidro	2.6	1.35	30
Kevlar	1.4	2.71	90
Carbono	1.8	1.71	130

Fonte: Bolton, 1994.

Os compósitos de matrizes poliméricas, entretanto, também podem apresentar desvantagens, como a incompatibilidade entre as fibras naturais hidrofílicas e as matrizes termoplásticas hidrofóbicas, requerendo o uso de tratamentos químicos e, ou térmicos, além da adição de agentes compatibilizantes, a fim de se aprimorar a adesão entre as fibras e a matriz (DHAKAL et al., 2007).

As fibras naturais de origem vegetal são hidrofílicas, pois são constituídas por celulose, ligninas e hemiceluloses, que contém grupos hidroxila fortemente polarizados. Essas fibras, portanto, são incompatíveis com termoplásticos hidrofóbicos, como as poliolefinas (JOHN; ANANDJIWALA, 2008). Todos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais absorvem água em atmosfera úmida e quando imersos em meio aquoso. O efeito da absorção de umidade leva à degradação da interface fibra-matriz, gerando uma baixa eficiência na transferência de tensões, o que resulta em uma redução das propriedades mecânicas e dimensionais. (KALIA et al., 2009) Uma das maiores preocupações com o uso de fibras vegetais é a sua susceptibilidade à absorção de umidade e o efeito que isso causa em suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas. Devido a esse caráter hidrofílico das fibras naturais, é imperioso que este problema tenha a devida atenção a fim de que a fibra utilizada possa ser considerada uma opção viável de reforço ao compósito (THWE; LIAO, 2012).

Existe vasta literatura sobre a utilização de fibras lignocelulósicas como reforço em compósitos de matrizes poliméricas (SAHEB et al., 1999; KU et al., 2011; KALIA et al., 2009).

1.5 Compósitos de ABS com fibras de palmeira australiana

Aparentemente, não há trabalhos publicados sobre compósitos de ABS reforçados com fibras de palmeira real australiana. Há, entretanto, outros artigos publicados envolvendo o desenvolvimento de compósitos de outros polímeros reforçados com essas fibras.

Estudo publicado na literatura (HELINGTON; MULINARI, 2013) teve como objetivo principal desenvolver um deck a partir de compósitos poliméricos reforçados com a palmeira real australiana. Com essa finalidade, compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) foram processadas com as fibras lignocelulósicas mercerizadas se utilizando uma solução 10% de NaOH durante 1 hora. Além disso, polietileno grafitizado com anidrido maleico (PE-g-MA) foi utilizado como agente compatibilizante. Os resultados obtidos mostraram que a mercerização causou alterações na superfície das fibras, proporcionando aumento nos módulos elásticos em tração e em flexão dos compósitos. Materiais mais rígidos e menos deformáveis foram obtidos se utilizando um teor de até 20% (m/m) de fibras. O uso do agente compatibilizante, entretanto, proporcionou resultados superiores aos dos demais compósitos.

Oliveira (2015) desenvolveu compósito de polipropileno reforçado com a fibra da Palmeira Real Australiana. De modo a promover melhor interação entre as fibras e o polipropileno, as fibras foram mercerizadas. Além disso o polipropileno grafitizado com anidrido maleico (PP-g-MA) foi utilizado como agente compatibilizante. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação de fibras mercerizadas promoveu um aumento de aproximadamente 12% no limite de resistência a tração e de aproximadamente 21% no módulo de elasticidade dos compósitos. A adição do agente compatibilizante não resultou em mudanças significativas da resistência à flexão e à tração. Os resultados obtidos por L. S. Reis (2014), entretanto, demonstraram que o uso do PP-g-MA promoveu o aumento da rigidez e da resistência ao impacto dos compósitos de PP reforçados com a fibra de palmeira.

Sá (2019) desenvolveu compósitos de polipropileno reciclado com fibras da palmeira-real australiana (80/20). Os resultados obtidos mostraram que não houve uma variação significativa do módulo elástico do PP com a incorporação das fibras e que houve um decréscimo significativo da resistência a tração do polímero. Houve, entretanto, um ligeiro aumento da resistência ao impacto com a incorporação das fibras. As temperaturas de fusão e de cristalização não foram alteradas com a incorporação das fibras. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou que o PP reciclado tem uma maior interação com a Fibra da Palmeira-real do que com o PP comercial de índice de fluidez similar.

Há na literatura também alguns artigos sobre o desenvolvimento de compósitos de ABS reforçados com fibras lignocelulósicas.

Neher *et. al.* (2014) produziram compósitos poliméricos de ABS com diferentes concentrações de fibras de palmeira (FP) (5%, 10% e 20%) e, ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de Raios-X (DRX) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizados para avaliar a morfologia de superfície, microestrutura e a adesão fibra de palmeira com o ABS dos compósitos. As imagens obtidas pelo ensaio MEV mostraram que após a adição de FP nos compósitos, a fragilidade do material aumentou devido à criação de vazios. A partir da DRX se observou que os compósitos FP-ABS são amorfos por natureza. Além disso, o espectro de FTIR mostrou que não há nova ligação formada após a adição de FP à matriz polimérica do ABS.

A maioria desses estudos mostram que há uma fraca adesão interfacial entre matrizes poliméricas hidrofóbicas e as fibras lignocelulósicas hidrofílicas. De modo a se obter propriedades mecânicas satisfatórias, há, portanto, necessidade de melhorar as propriedades de adesão através de tratamentos químicos das fibras (mercerização), adição de compatibilizantes, entre outros.

1.6 Tratamento químico da fibra de palmeira australiana

As fibras de palmeira australiana são altamente hidrofílicas e possuem em sua composição lignina, celulose e hemiceluloses. Seu uso como reforço se contrasta com o caráter hidrofóbico de muitas matrizes poliméricas, ou seja, não há uma afinidade entre a fibra e a matriz e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas dos materiais produzidos são afetadas, impossibilitando o uso dessas fibras em aplicações onde a resistência mecânica é fundamental.

Em geral, as desvantagens da utilização de uma fibra natural em um compósito polimérico são atribuídas a seu alto potencial de absorção de umidade, baixa molhabilidade e baixa adesão na matriz. A fim de melhorar as propriedades mecânicas desses compósitos, o tratamento químico de mercerização é considerado uma boa técnica para modificar a superfície da fibra para obter melhor interface fibra/matriz (CAO *et al.*, 2006).

1.7 Mercerização

A mercerização, algumas vezes denominada como processo de tratamento alcalino é um dos tratamentos químicos de fibras mais utilizados na indústria têxtil. De acordo com Hashim et al. (2012), a ASTM D 1965 define mercerização como um processo no qual as fibras vegetais são submetidas a interação com uma solução concentrada de base forte, produzindo um grande inchamento das fibras, que promove mudanças na sua estrutura fina, dimensão, morfologia e propriedades mecânicas. O tipo de álcali e sua concentração exercem influência no grau de inchamento, e portanto, no grau de transformação do látice cristalino monoclinico da celulose I, apresentado pela celulose nativa, para celulose II, que é um polimorfo da celulose I. Há indicações que o hidróxido de sódio promove o maior inchamento das fibras resultando em maior obtenção da celulose II (MOHD *et al.*, 2012; PAUKSZTA *et al.*, 2013).

A mercerização também promove aumento da rugosidade superficial da fibra e o aumento da razão comprimento (L)/ diâmetro da fibra (D), o que favorece a adesão mecânica da fibra na matriz. (D'ALMEIDA, 2005) Em condições severas, esse procedimento pode levar à degradação das fibras (CAO et al., 2006).

A composição química tanto de tipos similares como de tipos diferentes de fibras naturais pode variar. Assim, as condições ótimas de mercerização variam para cada fibra (MOHD *et al.*, 2012; PAUKSZTA *et al.*, 2013).

De forma geral, há um efeito positivo da mercerização das fibras naturais nas propriedades mecânicas dos compósitos obtidos. (MOHD *et al.*, 2012; LIU; DAI, 2007; JARAMILLO-QUICENO et al., 2018; XIA et al., 2014; KALIA et al., 2009; CHANDRASEKAR et al., 2017). Há, entretanto, controvérsias descritas na literatura (PAUKSZTA *et al.*, 2013).

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais Utilizados

Os materiais utilizados neste estudo encontram-se relacionados a seguir.

2.1.1 Copolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)

O copolímero utilizado foi o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) de código GP-35 (INEOS Styrolution Terluran GP-35), fornecido pela Ineos Styrolution do Brasil Polímeros LTDA. Suas propriedades são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações do ABS (*)

Densidade (ISO 1183)	1040 kg/m ³
Índice de Fluidez (ASTM D1238)	3,1 g/10 min
Módulo de Elasticidade (ISO 527-1/-2)	2300 Mpa
Alongamento na Ruptura (ASTM D638)	2,4%
Tensão na Ruptura (ASTM D638)	44 MPA

INEOS Styrolution, 2019.

2.1.2 Fibra de Palmeira

As fibras utilizadas como reforço foram as fibras provenientes da palmeira imperial australiana, doadas pela empresa Biosolvit, localizada em Barra Mansa – RJ. A Figura 7 ilustra as fibras utilizadas nesse trabalho.

Figura 7 - Fibra da Palmeira Real Australiana



Fonte: O autor (2019)

2.1.3 Estearato de Cálcio

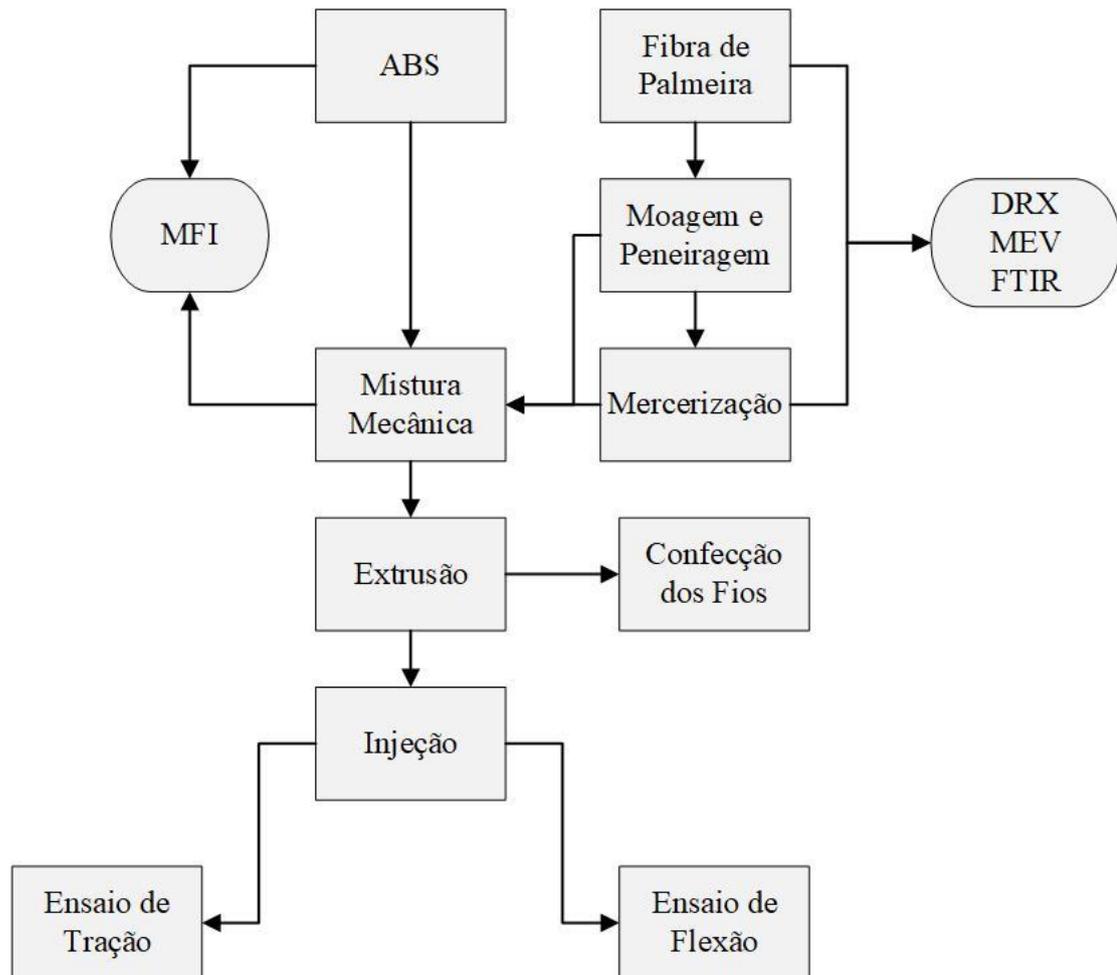
O auxiliar de processamento, utilizado como lubrificante, foi o estearato de cálcio de lote 20438H/12, fornecido pela empresa Ultrapure Chemicals do Brasil LTDA.

O estearato de cálcio é amplamente utilizado no processamento de ABS como um lubrificante, agente desmoldante e eliminador de ácidos. Os sabões de cálcio são usados como lubrificantes fisiologicamente inertes e estabilizadores secundários na indústria de plásticos para melhorar as propriedades de fluxo (NORA; KOENEN, 2000). O estearato foi utilizado na proporção 10g ou 1%, a cada 1 kg ou 100% de mistura ABS/Fibra de Palmeira. Esta relação foi escolhida de acordo com a literatura (MURILLO et al., 2018).

2.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental foi desenvolvido de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do procedimento experimental



Fonte - O autor, 2019.

2.3 Preparação dos compósitos de ABS com as fibras de Palmeira *in natura* e com as fibras de Palmeira Mercerizadas

2.3.1 Moagem e Peneiração das Fibras de Palmeira

As fibras de palmeira *in natura*, previamente secas em estufa Marconi, a temperatura de 80°C, foram moídas com a utilização de um liquidificador doméstico. Em seguida, as fibras

foram peneiradas utilizando uma peneira de 60 mesh. A fração do material retida por essa peneira foi novamente triturada por um período de 72 horas, utilizando um moinho de bolas MARCONI, MA701/21. Esse processo foi repetido até a obtenção de uma maior quantidade de fibra com granulometria abaixo de 60 mesh. Parte dessas fibras foi submetida ao processo químico de mercerização.

2.3.2 Mercerização das Fibras

As fibras de palmeira foram mercerizadas utilizando solução de 20% de hidróxido de sódio (NaOH). As fibras foram imersas na solução de NaOH e mantidas em repouso durante 1 hora. Após esse período, as fibras foram lavadas com água até obtenção de pH igual a 7. Com o pH estabilizado em 7, a solução foi removida da fibra utilizando um sistema de filtração a vácuo.

Posteriormente as fibras mercerizadas foram colocadas em estufa à temperatura de 70°C durante 24 horas. Como se verificou que após o processo de secagem a fibra estava aglutinada, com a aparência empedrada, as fibras foram moídas novamente em moinho de bolas e subsequentemente peneiradas, conforme descrito no item 2.2.1.

2.3.3 Determinação do índice de fluidez da matriz polimérica ABS pura e dos compósitos contendo fibra de palmeira pré e pós tratamento.

O índice de fluidez dos materiais foi avaliado segundo a norma ASTM D-1238-13, utilizando o plastômetro de extrusão da marca INSTRON, modelo CEAST MF10. As condições utilizadas foram: temperatura de 200 °C e carga de 5 kg.

Em cada ensaio de índice de fluidez (MFI), foram realizados cortes de massa com intervalos de 60 segundos obtendo um total de 10 pedaços para cada amostra. Cada pedaço teve sua massa mensurada por uma balança de precisão da marca Exacta. Para cada condição de processamento foram realizadas triplicatas, e então, foram calculados as médias aritméticas e os desvios padrões de cada análise.

2.3.4 Processamento em Extrusão dos Compósitos

Os compósitos de ABS carregados com fibras de palmeira mercerizada e *in natura* foram preparados através de extrusão efetuada em extrusora de rosca dupla Leistritz ZSE 18 MAXX, com diâmetro de 18,5 mm e razão comprimento/diâmetro (L/D) = 40. Antes do processamento, os constituintes dos compósitos foram secos em estufa a 80 °C e em seguida processados.

Os perfis de temperatura e as condições de rotação da rosca dupla e da alimentação estão ilustrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Perfis de temperatura, rotação e alimentação da extrusão

Rotações por minuto (RPM)	Alimentação do material na extrusora (kg/h)	Temperatura das zonas de aquecimento (°C)
500	5.0	Isoterma a 190°C

Fonte: O autor, 2019.

Para cada 1 quilo de ABS/FP e ABS/FPM processado, foram também adicionados 10 gramas de estearato de cálcio, utilizado como lubrificante no processo de extrusão. As proporções de cada material utilizadas na formulação dos compósitos e suas denominações são apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 – Formulação dos compósitos ABS/FP e ABS/FPM

Compósitos	ABS (%)	FP(%)	FPM(%)
ABS	100	-	-
P05	95	5	-
P10	90	10	-
P15	85	15	-
P20	80	20	-
M5	95	-	5
M10	90	-	10
M15	85	-	15
M20	80	-	20

Fonte: O autor, 2019.

Ao fim da extrusão, foi realizada a peletização dos filamentos extrudados em um granulador AX Plásticos. Os pellets produzidos foram secos em estufa a 80°C a fim de eliminar a umidade presente.

2.3.5 Preparação dos Corpos de Prova para Ensaio de Tração e Flexão

Os corpos de prova do tipo V, para a realização dos ensaios tração, de acordo com a norma ASTM D638, e flexão, de acordo com a norma ASTM D790, foram confeccionados através de moldagem por injeção em injetora da marca AX Plásticos, modelo AX 16 III utilizando as seguintes condições: perfil de temperatura da alimentação até a matriz de 70/190/185/180 °C, velocidade de preenchimento da injetora de 95%, velocidade de recuo da rosca de 30% e tempo de resfriamento de 30 segundos.

2.3.6 Determinação das propriedades mecânicas em Flexão

Os ensaios de flexão foram efetuados em Máquina Universal de Ensaio SHIMADZU AG-X Plus, de acordo com a norma ASTM-D 790. A célula de carga utilizada foi de 100 kN. Os outros parâmetros utilizados no ensaio foram definidos a partir da equação 1 estabelecida pela norma:

$$R = \frac{ZL^2}{6d} \quad (1)$$

Onde:

- R é a velocidade do suporte móvel (mm/min);
- Z é = taxa de deformação na superfície oposta ao carregamento; valor tabelado referente ao procedimento B;
- L é a distância entre os apoios = 40 mm;
- d é a média das espessuras dos corpos de prova;

Aplicando os valores na equação 1, se obteve um valor de R igual a 7,438 mm/min. Antes do teste, as dimensões dos corpos de prova foram determinadas com o uso de um paquímetro.

2.3.7 Determinação das propriedades mecânicas em tração

Os ensaios de tração foram efetuados em Máquina Universal de Ensaio SHIMADZU AG-X Plus e o ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D638. A velocidade de afastamento das garras foi de 1 mm/min. A célula de carga utilizada foi de 5 kN. Os corpos de prova foram ensaiados e os resultados obtidos foram interpretados e analisados através do software TRAPEZIUM que acompanha o equipamento.

2.3.8 Confecção dos fios

Os filamentos para impressão 3D foram gerados utilizando uma mini-extrusora Weellzoom, modelo “Desktop” da Universidade de Araraquara (Uniara) simulando as condições de uma extrusora industrial.

2.3.9 Difração de raios X (DRX)

A cristalinidade das FP e FPM foram determinadas através de difração de raios X realizada no Setor de Caracterização Tecnológica (SCT) do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). A análise de difração de raios X foi realizada em difratômetro da empresa Bruker, modelo AXS D8 Advance Eco com radiação de $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,542 \text{ \AA}$) em 40 kV e 25 mA. A análise foi realizada em 20 °C em um intervalo de ângulo 2θ de 2-80° a uma taxa de varredura de $0,01^\circ \text{ min}^{-1}$ e um detector LynxEye XE sensível à posição com discriminação energética.

2.3.10 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise detalhada da morfologia dos compósitos, as superfícies dos corpos de prova fraturados durante o ensaio de tração foram revestidas com um filme condutor de ouro através do processo sputtering, utilizando metalizador BAL-TEC SCD-005. As amostras foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo Hitachi TM3030 Plus (CETEM), utilizando filamento de Cu e a incidência de feixe de elétrons secundários de 10 a 15 KV. Essas análises foram realizadas no CETEM.

2.3.11 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

As análises dos grupos funcionais presentes na palmeira virgem e na palmeira mercerizada foram realizadas por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) no Laboratório de Apoio Instrumental (LAPIN 1), do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano (IMA) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os espectros de infravermelho foram obtidos através de um espectrômetro da empresa Perkin Elmer, modelo Frontier, na região de 400-4000 cm^{-1} . Os espectros foram obtidos no modo de absorbância, com uma resolução de 4 cm^{-1} e velocidade de varredura de 0,2 cm/s .

2.3.12 Microscopia óptica (MO)

Os filamentos para impressão 3D foram analisados em um microscópio óptico Zeiss Modelo Axiophot, disponível na Escola de Engenharia de Lorena EEL/USP para visualizar a distribuição e o comprimento das fibras dentro da matriz.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

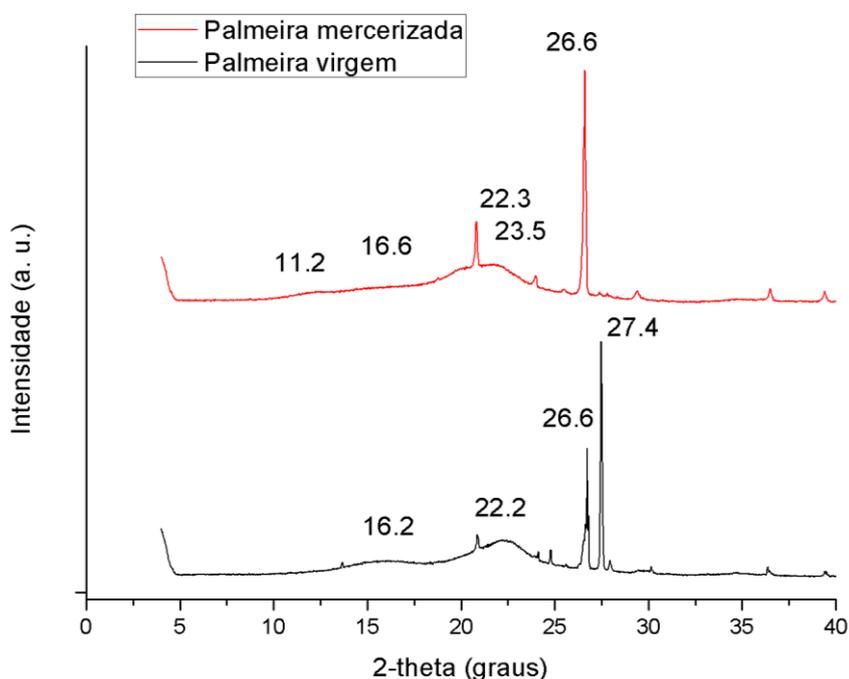
3.1 Análise do processo de mercerização de fibras

No presente estudo, as técnicas de caracterização: difratometria de raios X, microscopia eletrônica de varredura e infravermelho com transformada de Fourier foram utilizadas para avaliar o processo de mercerização das fibras.

3.1.1 Difratometria de raios X (DRX)

A Figura 9 ilustra os difratogramas obtidos pelo ensaio de raios X das fibras de palmeira in natura e das fibras de palmeira mercerizadas.

Figura 9 -Difratogramas de raios X das fibras de palmeira in natura e mercerizadas



Fonte: O autor, 2019.

Os difratogramas das fibras de palmeira apresentam picos em 2θ igual a 16.2, 22.2, 26.6 e 27.4. Os difratogramas das fibras de palmeira mercerizadas apresentam picos em 2θ igual a 11.2, 16.6, 22.3, 23.5 e 26.6.

O pico observado em $2\Theta = 11.2$ é observado apenas na fibra de palmeira mercerizada e é atribuído ao plano cristalográfico (101) da celulose II (EL OUDIANI et al., 2011). Os picos observados em $2\Theta = 16.2^\circ$ e $2\Theta = 16.6^\circ$ são atribuídos ao plano cristalográfico (110) da celulose I (KAFLE et al, 2014; GONG et al, 2017; CARRILLO-VARELA et al., 2018), enquanto os picos $2\Theta = 22.2^\circ$ e $2\Theta = 22.3^\circ$ são atribuídos ao plano cristalográfico (200) da celulose II (EL OUDIANI et al., 2011). O pico de intensidade em $2\Theta = 23,5^\circ$ é observado apenas no difratograma da fibra de palmeira mercerizada e é atribuído ao plano cristalográfico (200) da celulose I. Já os picos de alta intensidade observados em $2\Theta = 26.6^\circ$ e $2\Theta = 27.6^\circ$ podem ser atribuídos a impurezas inorgânicas que podem ter se originado do solo onde as palmeiras foram cultivadas.

Esses resultados sugerem que a fibra de palmeira virgem já apresenta um certo teor de celulose II. Esse resultado não era esperado, uma vez que as fibras lignocelulósicas apresentam predominantemente a celulose I. Os difratogramas, entretanto, indicam que aparentemente a picos correspondentes a celulose II são mais proeminentes, ou seja, mais intensos na fibra mercerizada.

Os índices de cristalinidade obtidos das fibras estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Índices de cristalinidade das fibras de palmeira in natura e mercerizadas

Material	I_{am}	I_c	CI
Fibra de palmeira <i>in natura</i>	5247	7621	31,15%
Fibra de palmeira mercerizada	5755	4255	26,06%

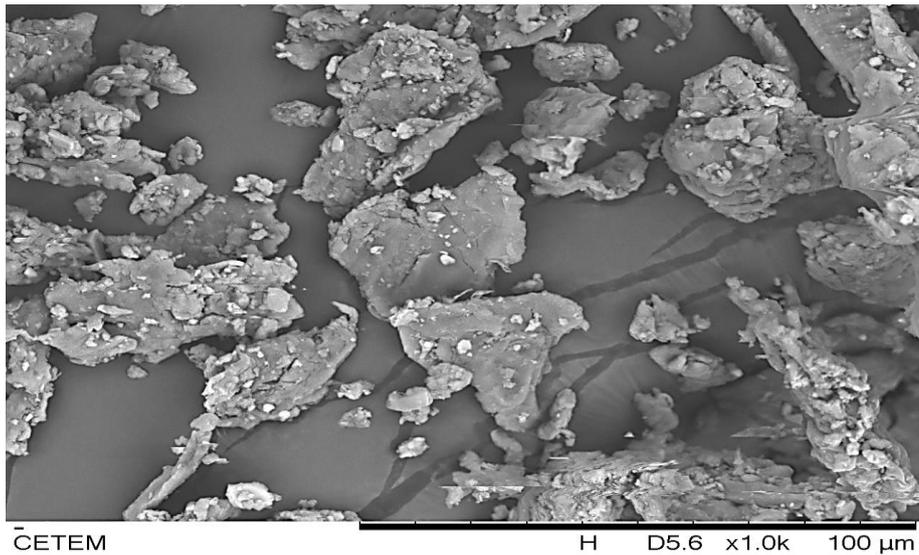
Fonte: O autor, 2019.

Observa-se que com a mercerização as fibras sofreram uma diminuição na cristalinidade de aproximadamente 5,1%. Esta redução era esperada, porém em intensidade maior, visto que o principal objetivo da mercerização é a transformação da celulose I (mais cristalina) em celulose II (mais amorfa). Foi observado por Guedes (GUEDES, 2014) que a fibra de palmeira real australiana possui um índice de cristalinidade inferior quando comparada a outras fibras lignocelulósicas, portanto, por essa condição, a mercerização pode não ser tão efetiva neste material.

3.1.2 Microscopia eletrônica de varredura das fibras de palmeira *in natura* e das fibras mercerizadas

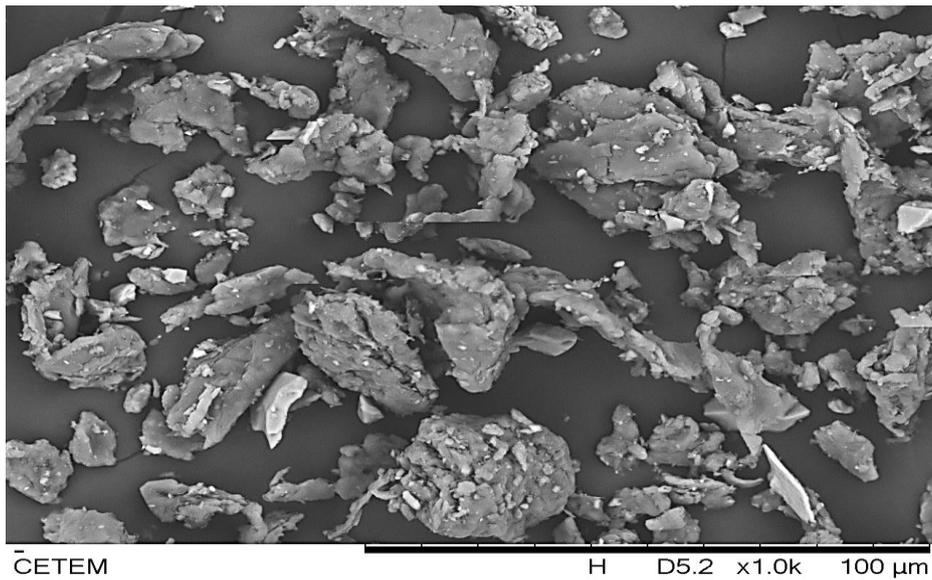
Na Figuras 10 e 11 observam-se, respectivamente, as microscopias das fibras de palmeira *in natura* e mercerizadas.

Figura 10 - Microscopia da fibra de palmeira *in natura*



Fonte: O autor, 2019

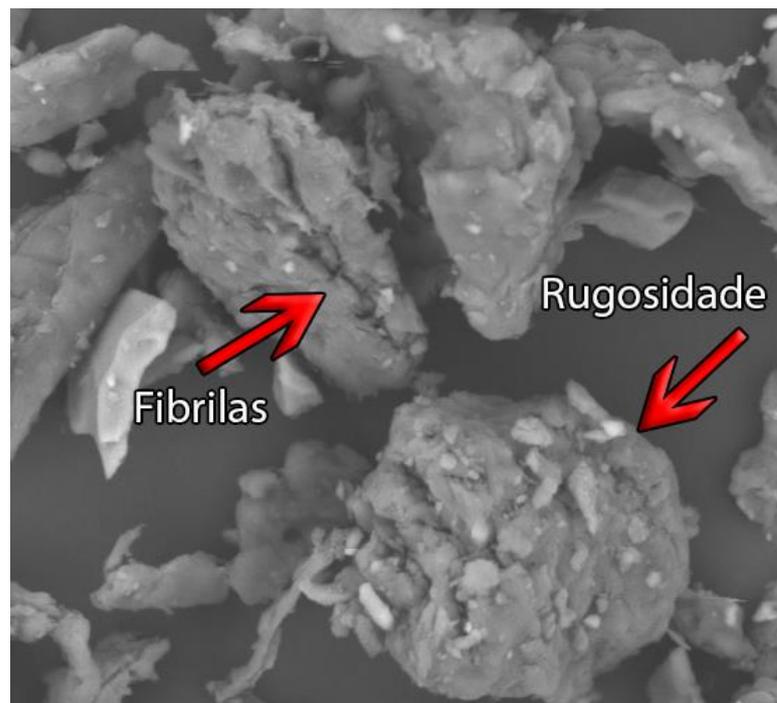
Figura 11 - Microscopia da fibra de palmeira mercerizada



Fonte: O autor, 2019

As micrografias sugerem a formação de fibrilas e vazios e de uma estrutura mais rugosa (Figura 12), como esperado. Consequentemente, há um aumento da área de contato da fibra com a matriz, promovendo maior adesão da fibra à matriz polimérica e melhores propriedades dos compósitos mercerizados, quando comparados aos compósitos em que as fibras não receberam tratamento (PAUKSZTA *et al.*, 2013; ALBINANTE *et al.*, 2016).

Figura 12 - Fibrilas e rugosidade observadas na microscopia da fibra de palmeira mercerizada



Fonte: O autor, 2019.

Embora as micrografias não mostrem, o processo de mercerização causou pelo menos remoção parcial da lignina, uma vez que experimentalmente se observou um clareamento das fibras submetidas ao tratamento alcalino, que pode ser observado na Figura 13.

Figura 13 - Clareamento da fibra de palmeira após a mercerização.



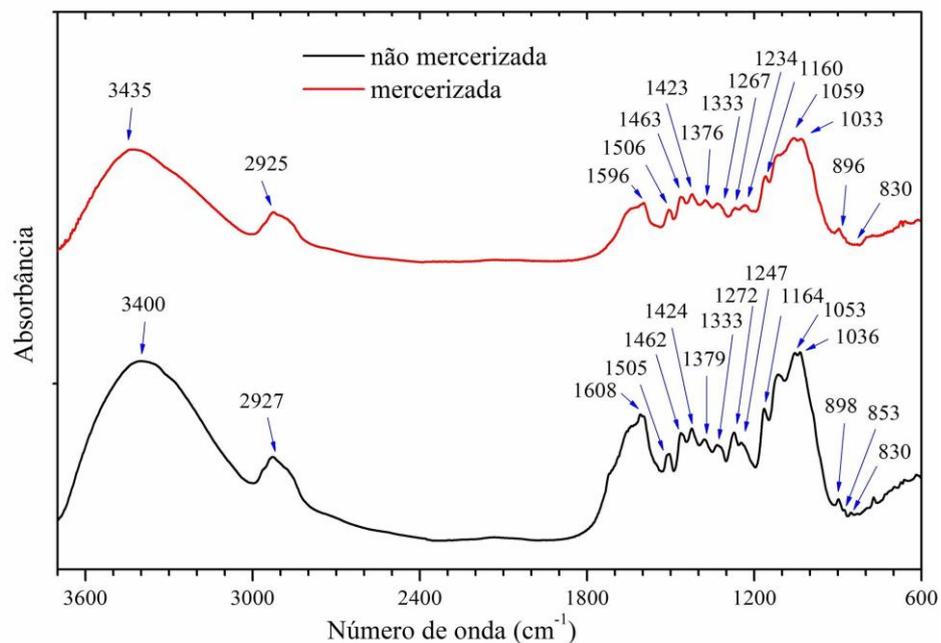
Legenda: À esquerda: Palmeira não tratada. À direita: Palmeira mercerizada.

Fonte: O autor, 2019.

3.1.3 Espectroscopia de infravermelho (FTIR)

Os espectros obtidos na região do infravermelho das fibras da palmeira *in natura* e mercerizadas estão ilustradas na Figura 14.

Figura 14 – Espectros na região do infravermelho das fibras de palmeira *in natura* e das fibras de palmeira mercerizadas.



Fonte: O autor, 2019.

A atribuição dos sinais no infravermelho das amostras de fibra de palmeira *in natura* e de fibra de palmeira mercerizada é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Atribuição dos sinais no infravermelho da fibra de palmeira *in natura* e da fibra de palmeira mercerizada

Não mercerizada	Mercerizada	Atribuição do sinal
Número de onda (cm ⁻¹)		
830	830	Deformação de C-H fora do plano dos H do C-2 e C-6 do anel siringílico (ABREU, 1997)
853		Deformação de C-H fora do plano dos H do C-2, C-5 e C-6 (anel guaiacílico) (ABREU, 1997)
898	896	Estiramento de ligação β -glicosídica (OH et al., 2005)
1036	1033	Estiramento C-O em C-6 (cel I) (OH et al., 2005)
1053	1059	Estiramento C-O em C-3 (OH et al., 2005)
1164	1160	Estiramento antissimétrico C-O-C (DAI et al., 2010; DOS SANTOS et al., 2018)
	1234	Flexão no plano de COH (OH et al., 2005)
1247		Estiramento C-O (OH et al., 2005) Estiramento do anel G na lignina (DAI et al., 2010)
	1267	Flexão no plano COH (OH et al., 2005)
1272		Estiramento do grupo C-O-C correspondente a ligação glicosídica da celulose (DOS SANTOS et al., 2018)
1333	1333	Forma um dublete típico da celulose cristalina junto com banda em 1379 e correspondem as vibrações angulares das ligações COH e HCC (ABREU, 1997)
1379	1376	Flexão no plano, CH (OH et al., 2005)
1424	1423	Vibração do anel aromático da lignina (ABREU, 1997)
1462	1463	Deformação C-H e vibração do anel aromático (ABREU, 1997)
1505	1506	Vibração do anel aromático (lignina)
	1596	Vibração do anel aromático com estiramento simétrico de C=C (lignina) (DAI et al., 2010)
2927	2925	Estiramento de CH em CH ₂ (DOS SANTOS et al., 2018)
3400	3435	Estiramento de OH (OH et al., 2005)

Fonte: O autor, 2019.

Não foram observados os picos característicos de celulose II ao redor de 3450 e 3480 cm^{-1} , nem o pico característico de hemicelulose ao redor de 1720 cm^{-1} .

As intensidades (em termos de absorvância) das amostras de palmeira mercerizada (0.91) e de palmeira *in natura* (0.95) foram calculadas utilizando como referência as bandas localizadas em 1053 e 1059 cm^{-1} e indicam que o processo de mercerização causou um aumento da intensidade dos grupos OH (Tabela 9). O aumento da concentração de NaOH promove a remoção de material sensível à alcalinidade (DAS et al., 2006). Portanto, o aumento da intensidade dos grupos OH nas fibras mercerizadas era esperado.

Tabela 9 - Razão de absorvância (RA)

	Bandas RA1	Valor	Bandas RA2	Valor
Palmeira <i>in natura</i>	3400/1053	0.96	898/1053	0,22
Palmeira mercerizada	3435/1059	0.91	896/1059	0,28

Fonte: O autor, 2019.

3.2 Análise das condições de processamento adotadas através de análise de índice de fluidez

Uma etapa de grande importância para o desenvolvimento deste estudo é a etapa da escolha das condições corretas para o processamento do ABS. Neste trabalho, o material foi processado por extrusão em extrusora de rosca-dupla co-rotacional. As condições térmicas, de rotação do parafuso e de alimentação devem ser as melhores possíveis a fim de se promover uma boa dispersão da fibra na matriz e, em paralelo, evitar que ocorra a degradação dos materiais durante o processamento.

As condições de rotação da rosca dupla, da taxa de alimentação da extrusora através de dosador gravimétrico e das zonas de temperatura, detalhadas no capítulo 2.3.3, foram previamente escolhidas de acordo com a literatura (MURILLO et al., 2018). A fim de se verificar se essas condições eram adequadas, o índice de fluidez do ABS virgem e do ABS processado foram determinados e comparados sendo ilustrados na tabela 10.

Tabela 10 - Índice de fluidez (MFI) do ABS virgem e do ABS processado

Condição analisada	MFI(g/10min)	Desvio Padrão
ABS virgem	2,36	0,09
ABS processado	2,29	0,15

Fonte: O autor, 2019

Não foi possível fazer a comparação entre os dados fornecidos pelo fabricante e os encontrados em laboratório, visto que nas especificações do polímero fornecidas pela BASF através de ficha técnica (BASF, 2016) as condições do ensaio foram determinadas pela norma ISO 1133, enquanto as condições do ensaio utilizadas em laboratório foram as prescritas pela norma ASTM D-1238-13.

Analisando os dados de índice de fluidez obtidos, pode-se verificar que as condições de processamento escolhidas com base nos dados apresentados na literatura (MURILLO et al., 2018), o MFI obtido pelo ABS após processamento não foi alterado de forma significativa em relação ao MFI do ABS virgem, indicando que não houve degradação do polímero.

3.3 Avaliação da processabilidade dos compósitos obtidos

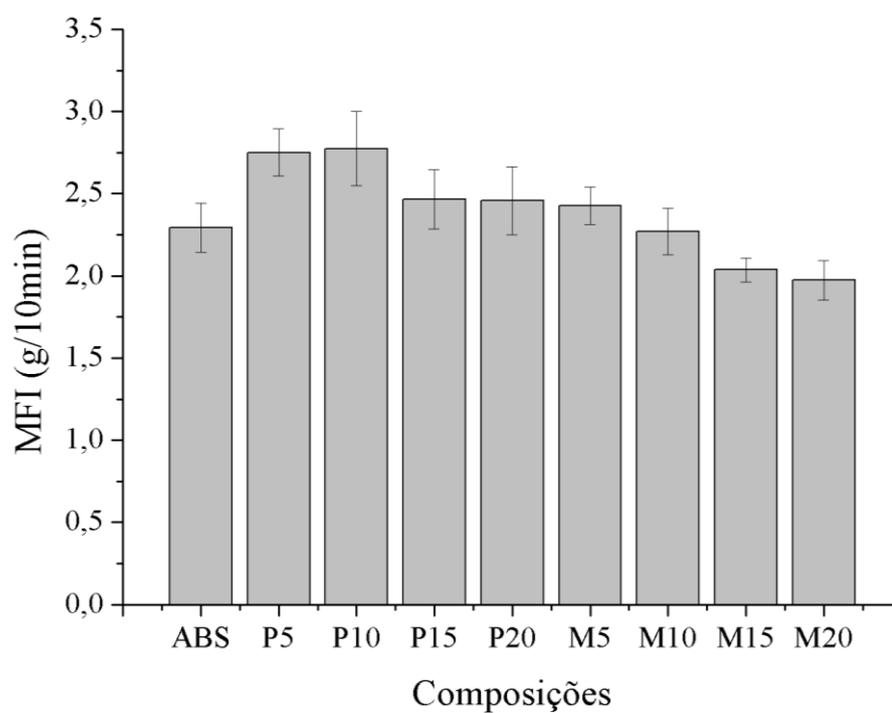
Na Tabela 11 são apresentados os resultados da determinação do índice de fluidez (MFI) do ABS, dos compósitos de ABS carregados com diferentes teores de fibras de palmeira (ABS/FP) e dos compósitos de ABS carregados com as fibras de palmeira mercerizadas (ABS/FM) nas condições experimentais adotadas. Esses resultados também podem ser visualizados na Figura 15.

Tabela 11 – Índice de fluidez do ABS, dos compósitos ABS/FB e ABS/FM

Condição analisada	MFI (g/10min)	Desvio Padrão
ABS processado	2,29	0,15
P05	2,75	0,14
P10	2,77	0,23
P15	2,47	0,18
P20	2,46	0,21
M05	2,43	0,12
M10	2,27	0,14
M15	2,04	0,07
M20	1,97	0,12

Fonte: O autor, 2019.

Figura 15 - Índice de fluidez do ABS e dos compósitos



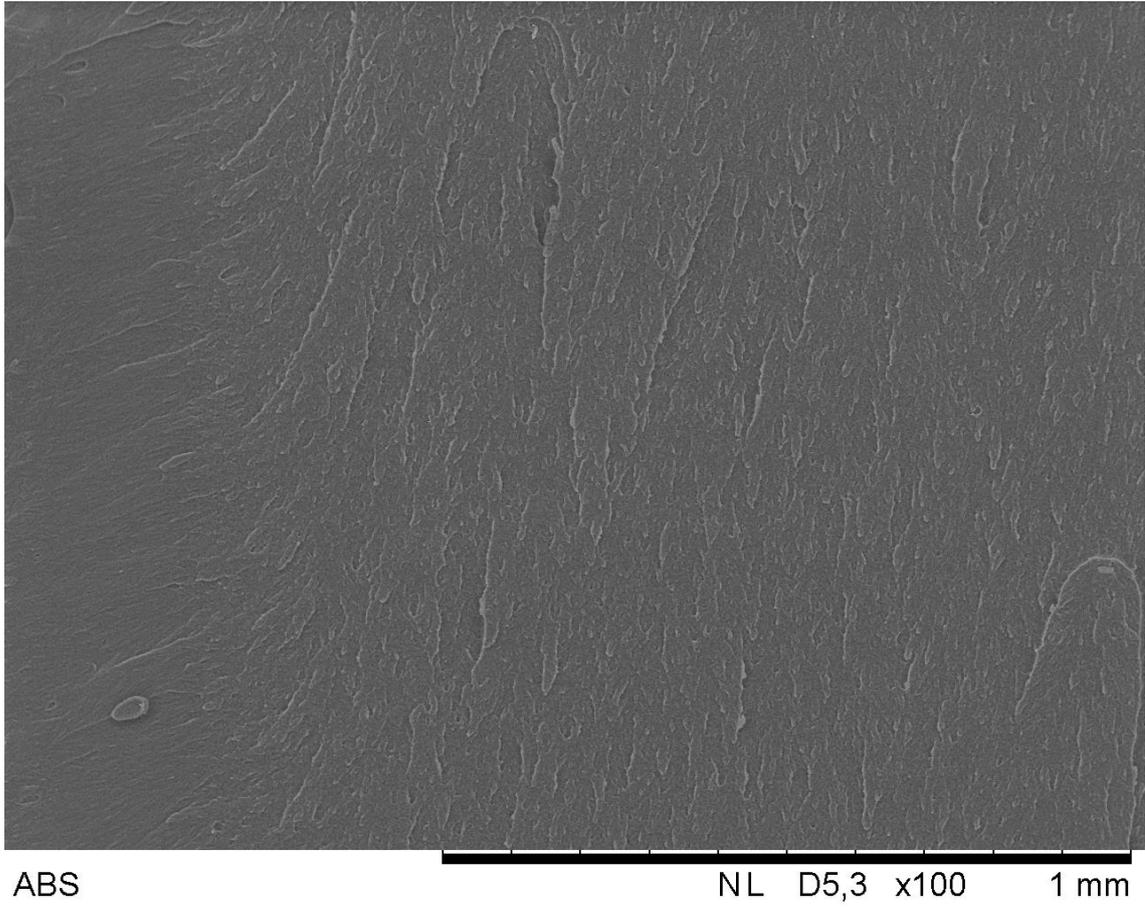
Fonte: O autor, 2019.

Comparando o índice de fluidez do ABS processado com os compósitos carregados com fibra de palmeira, se observa através dos resultados tabelados e da Figura 15 que há um aumento do MFI do ABS quando a fibra de palmeira é incorporada em teores de 5 e 10% ao polímero, e que com o aumento do teor da fibra, o valor do MFI tende a diminuir ficando aproximadamente igual ao apresentado pelo polímero puro. Esses resultados demonstram que a adição da fibra de palmeira não causa um efeito adverso na processabilidade do ABS. O aumento observado resultante da incorporação de baixos teores da fibra pode ser uma indicação que as fibras nesses teores estejam causando um efeito “plastificante” no polímero, diminuindo as interações entre as macromoléculas e diminuindo a sua viscosidade. Como o índice de fluidez, entretanto, não é uma propriedade do polímero, sendo um parâmetro fortemente influenciado pelas propriedades viscoelásticas dos materiais, assim como das condições operacionais do equipamento, de forma a se obter informações mais confiáveis sobre a processabilidade (comportamento de escoamento dos materiais) dos materiais, se torna necessário determinar a curva de viscosidade através de reometria capilar. As análises dos índices de fluidez dos compósitos produzidos com a fibra de palmeira mercerizada mostram que a processabilidade do ABS não foi significativamente alterada com a incorporação fibra mercerizada.

3.4 Microscopia eletrônica de varredura do ABS e dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM

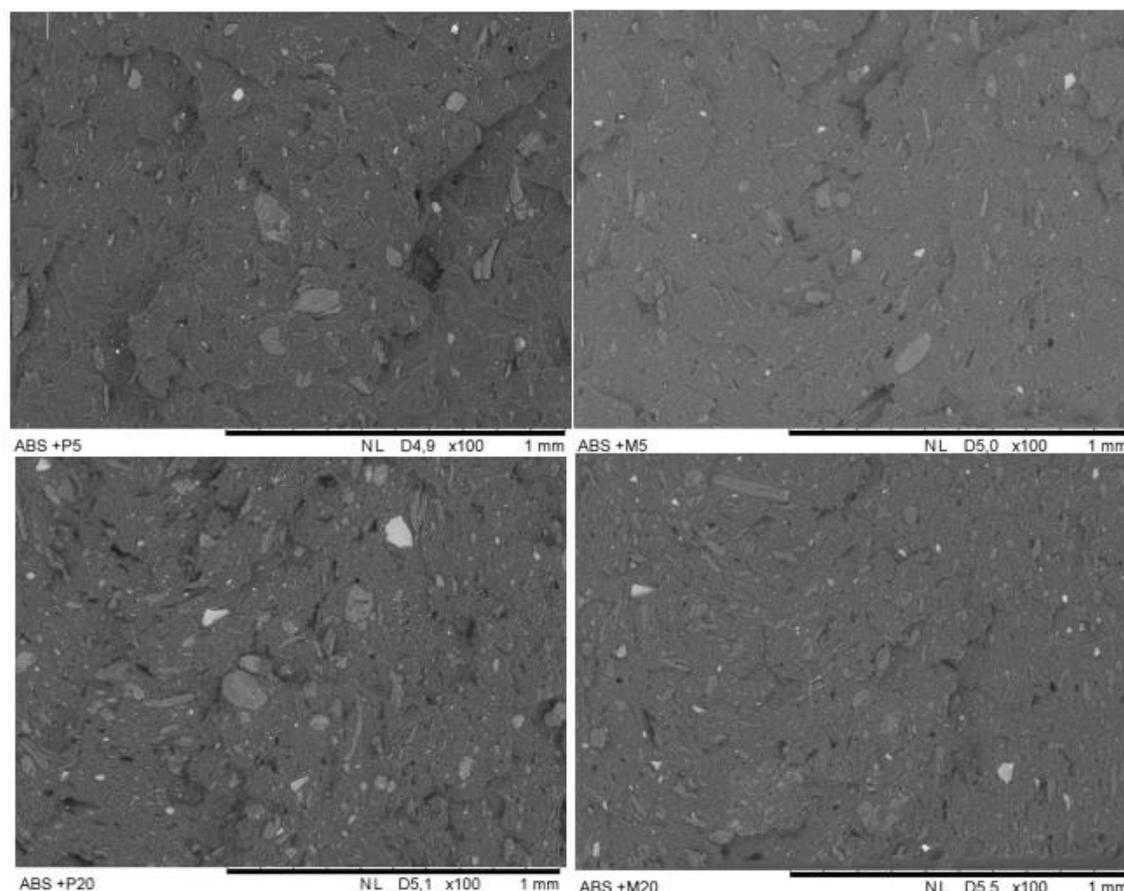
As microscopias eletrônicas do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM são ilustrados nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura do ABS



Fonte: O autor, 2019.

Figura 17 – Microscopias dos compósitos.



Legenda: Canto superior esquerdo: ABS/FP05. Canto superior direito: ABS/FPM05. Canto inferior esquerdo: ABS/FP20. Canto inferior direito: ABS/FPM20

Fonte: O autor, 2019

Comparando as micrografias dos compósitos que foram carregados com as fibras mercerizadas com os compósitos carregados com fibras que não passaram por nenhum tratamento químico, percebe-se claramente que nos compósitos constituídos por fibras mercerizadas, a quantidade de aglomerados diminuiu de forma considerável. Tanto para os compósitos com menor teor de fibras (5% de teor de fibras), quanto aos compósitos com maiores concentrações (20% de teor de fibras). Esse efeito era esperado, visto que a remoção de parte da lignina, a qual sofre hidrólise básica causada pela base alcalina, também contribuiu para a redução da probabilidade de formação de aglomerados, aprimorando a dispersão das partículas fibrosas na matriz polimérica.

Todas as microscopias realizadas, com todas os teores de fibras utilizados, podem ser visualizadas no anexo A.

3.5 Propriedades mecânicas em tração do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM

Os valores das propriedades mecânicas em tração: Módulo de elasticidade, resistência à tração e alongamento na ruptura (%) são apresentados na Tabela 12 e nas Figuras 18, 19 e 20.

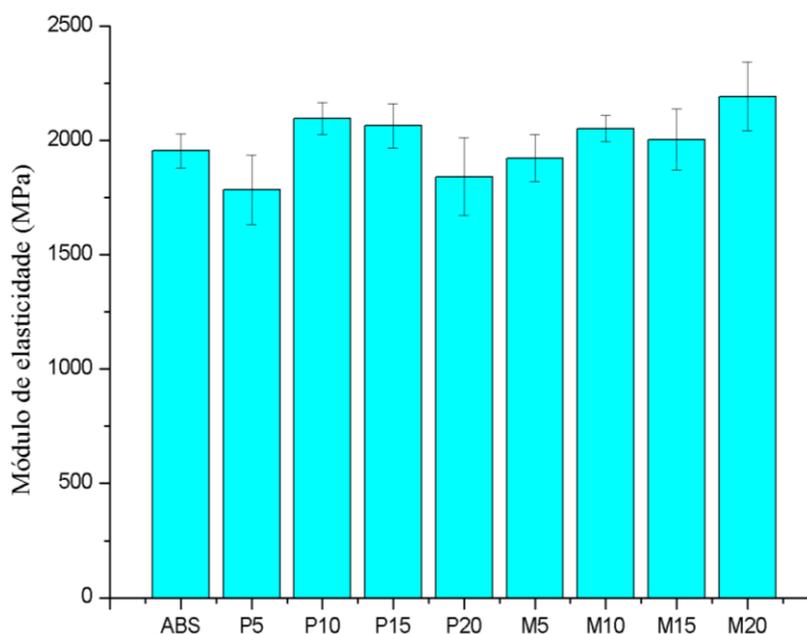
Tabela 12 - Propriedades mecânicas em tração dos compósitos ABS/FP e ABS/FM

Amostras	Módulo de elasticidade (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)
ABS	1953,91 ± 74,45	38,32 ± 0,75	5,36 ± 0,64
P5	1783,76 ± 152,7	34,85 ± 0,22	4,20 ± 0,29
P10	2095,86 ± 70,61	32,65 ± 0,38	2,77 ± 0,13
P15	2063,55 ± 97,02	30,91 ± 0,45	2,63 ± 0,18
P20	1840,92 ± 170,3	28,40 ± 0,46	2,67 ± 0,19
M5	1922,07 ± 102,9	34,90 ± 0,27	4,24 ± 0,33
M10	2050,94 ± 57,25	32,89 ± 0,31	3,45 ± 0,31
M15	2003,57 ± 133,9	31,35 ± 0,44	3,02 ± 0,10
M20	2192,20 ± 149,9	30,38 ± 0,43	2,62 ± 0,20

Fonte: O autor, 2019.

A Figura 18, ilustra o comportamento do módulo de elasticidade do ABS e dos compósitos produzidos.

Figura 18 - Módulo de elasticidade do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FM



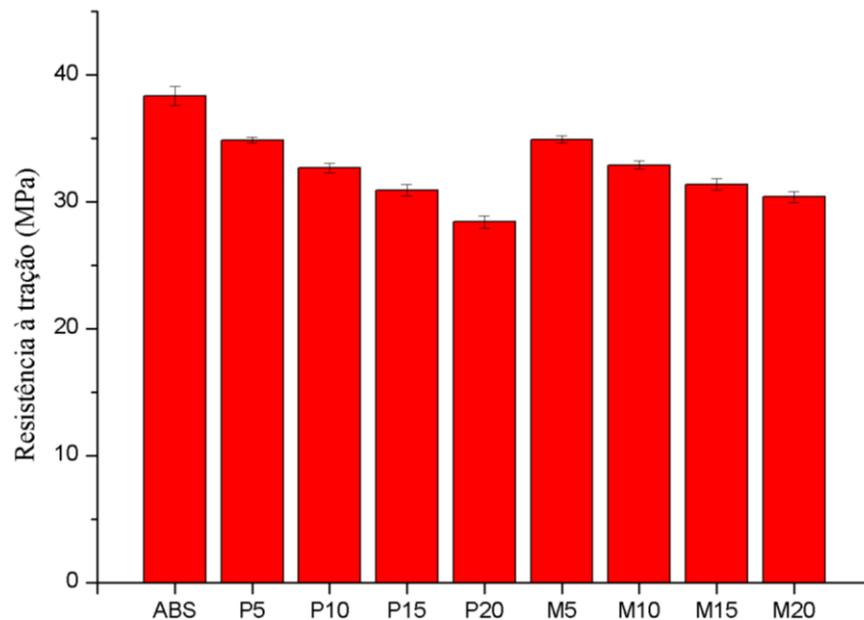
Fonte: O autor, 2019.

Os resultados obtidos demonstram que tanto a incorporação das fibras de palmeira *in natura* quanto a incorporação das fibras de palmeira mercerizadas não promoveram variação significativa nos valores dos módulos de elasticidade, quando comparados ao do ABS. Houve, entretanto, um pequeno aumento do módulo quando o teor de 20% de fibra foi incorporado a matriz polimérica. A literatura mostra que (PAUKSZTA *et al.*, 2013; ALBINANTE *et al.*, 2016; LIU; DAI, 2007; MOKALOBA; BATANE, 2014; KABIR *et al.*, 2011) o processo de mercerização promove um aumento da área de contato superficial da fibra com a matriz polimérica, devido ao aumento da razão de aspecto da fibra e da rugosidade da fibra. Como resultado, de uma forma geral, a incorporação de fibras mercerizadas promove o aumento do módulo elástico (PAUKSZTA *et al.*, 2013; ALBINANTE *et al.*, 2016; LIU; DAI, 2007; MOKALOBA; BATANE, 2014; KABIR *et al.*, 2011).

O módulo de compósitos é função da área de contato superficial da carga com a matriz polimérica (EIRAS, 2019). Sendo assim, seria esperado que os compósitos carregados com a fibras mercerizadas apresentasse maior valor de módulo, uma vez que as micrografias indicam que houve uma dispersão melhor das fibras submetidas ao tratamento alcalino. Esse efeito, entretanto, parece ter provocado alguma mudança em teor mais alto de fibras (20%).

A Figura 19 apresenta a resistência à tração do ABS e dos compósitos obtidos.

Figura 19 - Resistência à tração do ABS e dos compósitos ABS/FP e ABS/FM



Fonte: O autor, 2019.

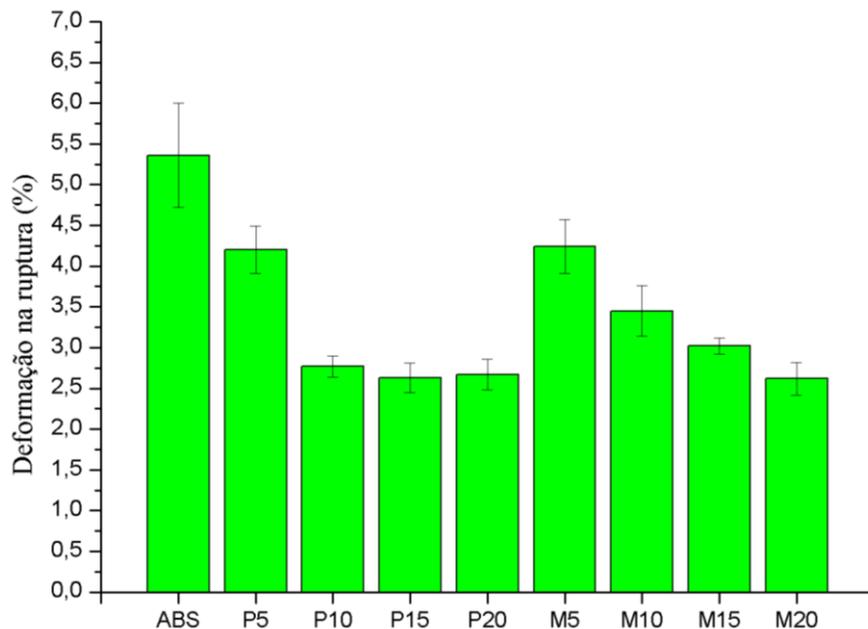
A figura 19 e os dados da Tabela 12 mostram que a resistência à tração do ABS diminuiu com a incorporação das fibras de palmeira e que a mercerização não produziu materiais com valores de resistência à tração superiores ao apresentado pelo ABS. A mercerização das fibras só promoveu um aumento da resistência à tração, quando um teor de 20% de fibras foi adicionado ao polímero. A resistência à tração é função da área de contato superficial da fibra com o polímero e da adesão interfacial entre o polímero e a matriz (EIRAS, 2009).

De uma forma geral, a natureza hidrofílica das fibras prejudica a sua interação efetiva com matrizes hidrofóbicas. O processo de mercerização reduz os teores de lignina, de hemiceluloses e de graxas da superfície das fibras melhorando a sua interação com as matrizes poliméricas (PAUKSZTA *et al.*, 2013). No tratamento das fibras com o NaOH, há reação entre os grupos hidroxila das fibras com a solução alcalina, reduzindo a absorção de água das fibras e promovendo a compatibilidade entre elas e a matriz (LIU; DAI, 2007). Como resultado, de uma forma geral há aumento da resistência à tração. No presente trabalho, a mercerização promoveu um aumento da resistência à tração em relação as fibras não tratadas, quando um teor maior de fibra foi incorporado. Esse resultado analisado em conjunto com os obtidos na determinação do modulo de elasticidade apontam que a incorporação de teores mais elevados promoveu a obtenção de melhores propriedades mecânicas. O aumento observado, entretanto,

não promoveu um aumento dessa propriedade em relação ao ABS. Há, entretanto, alguns trabalhos (PAUKSZTA *et al.*, 2013) que mostram que a mercerização não promove a obtenção de propriedades mecânicas superiores. Os resultados obtidos mostram que há necessidade da adição de um agente compatibilizante de forma a melhorar a adesão interfacial entre as fibras e a matriz polimérica.

A deformação na ruptura do ABS e dos compósitos produzidos são apresentados na Tabela 12 e na Figura 20.

Figura 20 - Deformação na ruptura do ABS e dos compósitos ABS/FP e ABS/FM



Fonte: O autor, 2019.

Os resultados obtidos demonstram que todos os compósitos produzidos apresentaram um decréscimo no alongamento na ruptura. Esse resultado não era esperado, uma vez que os materiais não apresentaram um aumento significativo de rigidez. É válido ressaltar que em virtude de os corpos de prova utilizados serem do tipo V não foi possível se utilizar um extensômetro durante o ensaio de tração, o que pode gerar dados não confiáveis.

3.6 Propriedades mecânicas em flexão do ABS, dos compósitos ABS/FP e dos compósitos ABS/FPM

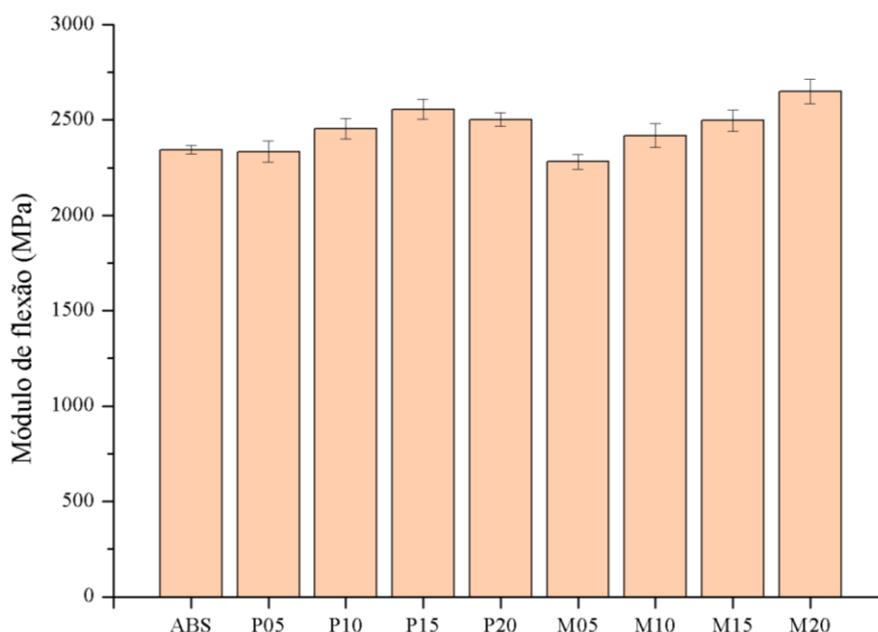
As propriedades em flexão são apresentadas na Tabela 13 e nas figuras 21 e 22.

Tabela 13 - Propriedades mecânicas em flexão do ABS e dos compósitos

Amostras	Módulo de flexão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
ABS	2343,58 ± 22,44	77,08 ± 0,51
P5	2334,21 ± 55,17	66,25 ± 1,32
P10	2453,33 ± 54,34	68,41 ± 0,94
P15	2555,80 ± 51,83	66,5 ± 0,88
P20	2502,50 ± 34,60	61,68 ± 0,44
M5	2281,22 ± 39,37	72,97 ± 0,67
M10	2418,18 ± 61,06	69,75 ± 0,63
M15	2496,57 ± 55,80	66,86 ± 1,07
M20	2650,02 ± 63,85	65,95 ± 1,25

Fonte: O autor, 2019.

Figura 21 - Módulo de Elasticidade do ABS e dos compósitos



Fonte: O autor, 2019.

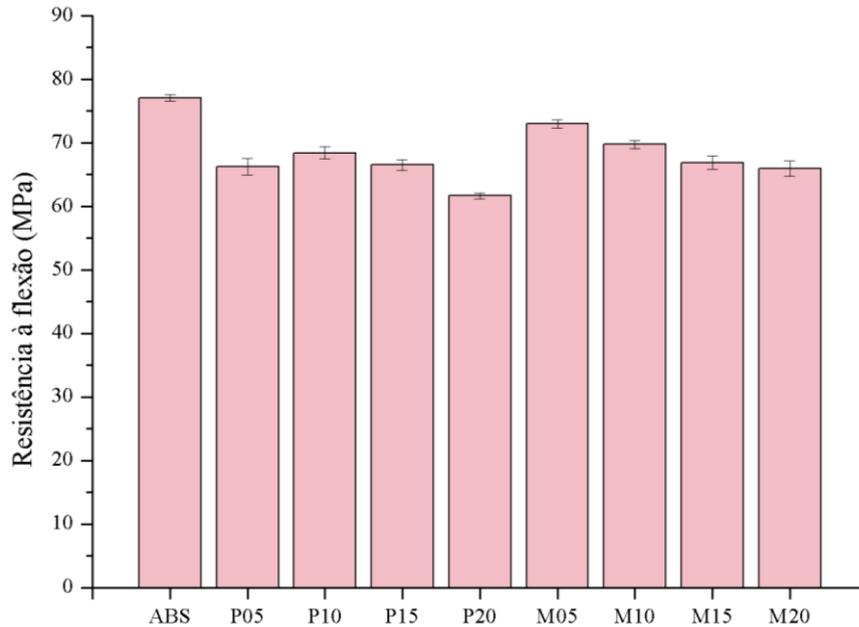
A figura 21 e os dados da Tabela 13 mostram que a módulo de flexão do ABS aumentou para os teores acima de 5% de fibras de palmeira, e de forma mais substancial nos teores maiores de fibra. Relacionando os valores obtidos do módulo de flexão dos compósitos em que as fibras passaram pelo processo de mercerização com os compósitos em que a fibra não passou por tratamento podemos verificar que a mercerização provoca um aumento do módulo de flexão. Na composição ABS/20%FPM, o aumento do módulo de flexão é de aproximadamente 13,1 % em relação ao ABS. Já na composição contendo ABS/20%FP, o aumento do módulo é de aproximadamente 6,8%.

Apesar de a adição da carga orgânica promover a redução da mobilidade das cargas poliméricas, o aumento do módulo de flexão era esperado. A carga em flexão promove o fechamento dos poros/vazios que se fazem mais presentes com o aumento do teor de fibra.

O aumento mais acentuado do módulo de flexão nos compósitos em que as fibras passaram pelo tratamento químico de mercerização também era esperado, visto que a mercerização promoveu a redução do tamanho dos aglomerados, o que pôde ser visualizado nas micrografias discutidas na seção 3.4.

Quando comparados as mesmas proporções de fibras, a mercerização só apresentou aumento no módulo de flexão quando o teor de 20% de fibras foi adicionado ao polímero.

Figura 22 – Resistência à flexão do ABS e dos compósitos



Fonte: O autor, 2019.

A resistência a flexão também foi avaliada em todas as composições. Foi observado que, de forma geral, a adição das fibras de palmeira promoveu uma redução da resistência à flexão do ABS e que, quanto maior o teor de fibras, maior é a redução dessa propriedade. Na composição ABS/20%FP essa perda da propriedade é a mais acentuada e corresponde a uma redução de 18,9%.

O processo de mercerização ajudou a suavizar a queda dessa propriedade nas composições em que se utilizou teores de 5 e 20% de fibras. Nesses teores, as composições contendo as fibras de palmeira mercerizadas apresentaram resultados superiores da resistência à flexão quando comparadas às composições em que as fibras não foram tratadas. Considerando os desvios, a composição ABS/05%FPM obteve melhoria de 7% da resistência à flexão em relação à composição em que a fibra não recebeu tratamento. Já na composição ABS/20%FPM, o aumento da resistência à flexão foi de 4,1%.

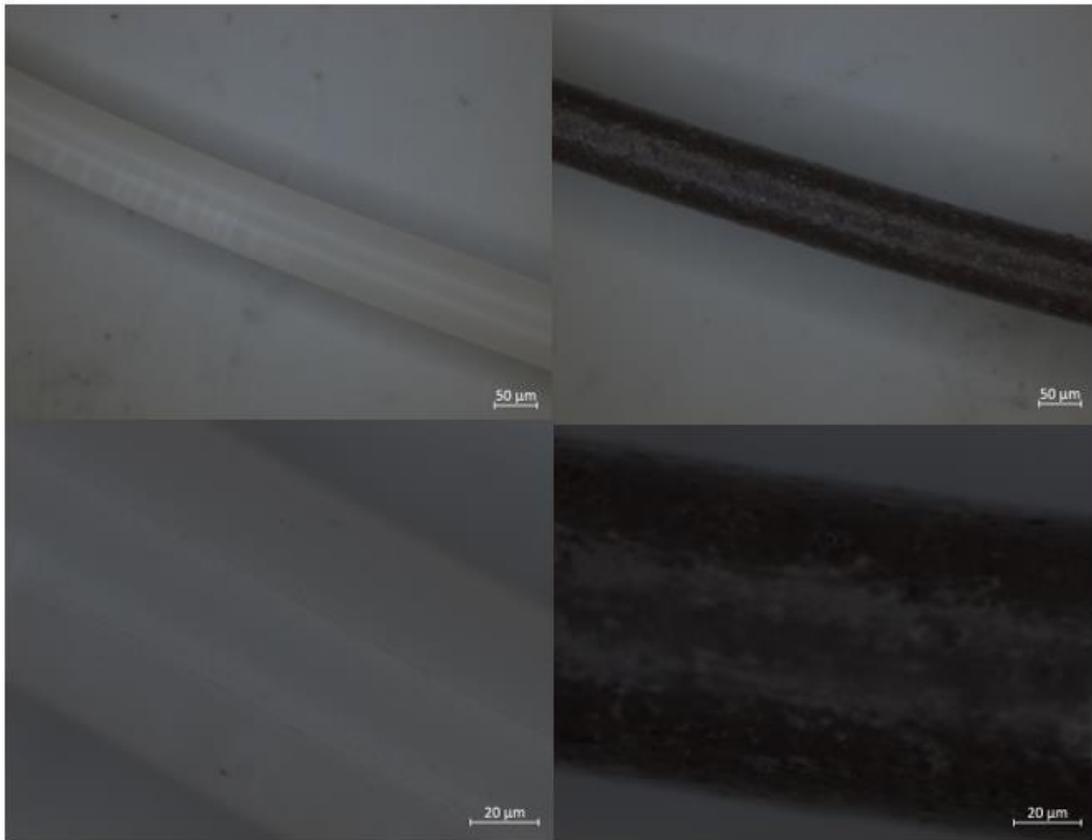
3.7 Microscopia óptica dos filamentos

Em laboratório, avaliou-se experimentalmente que a confecção dos filamentos só se tornou possível para o ABS virgem e para os compósitos em que o teor de fibra era de 5%. Para teores acima de 5%, mercerizados ou não, os fios produzidos pela “mini-extrusora” não

possuíam flexibilidade o suficiente para serem enrolados em um carretel de impressão 3D sem que se partissem ou sofressem deformação plástica. Esse resultado era esperado e evidenciado na seção anterior com a queda da resistência à flexão dos compósitos com maiores concentrações de fibras.

As microscopias ópticas dos filamentos para impressão 3D de ABS e do compósito de composição ABS/05%FP podem ser visualizadas na Figura 23.

Figura 23 - Microscopia óptica dos filamentos para impressão 3D.



Legenda: **À esquerda:** ABS processado. **À Direita:** Compósito ABS/FP com 5% de teor de fibras.

Fonte: O autor, 2019.

As microscopias ópticas indicam que o filamento produzido utilizando ABS virgem possui uma superfície lisa homogênea, em contraste com o filamento produzido utilizando ABS carregado com 5% de fibra de palmeira, no qual a superfície tem uma aparência rugosa e não homogênea. Esse resultado era esperado, visto a já discutida baixa dispersão da fibra na matriz polimérica, juntamente com o surgimento de poros/vazios presentes nos compósitos,

evidenciando novamente a necessidade de utilização de um agente compatibilizante no processamento da mistura.

CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho foi possível avaliar o efeito da quantidade de reforço inserido na matriz de ABS para obtenção dos compósitos e também as propriedades dos mesmos.

Quanto à caracterização das fibras foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A fibra de palmeira australiana, diferentemente da maioria das fibras lignocelulósicas, já possui celulose II;
- Com a difratometria de raios X, observou-se que o tratamento químico de mercerização foi efetivo na promoção do aumento do teor de celulose II da fibra, o que era esperado;
- A fibra de palmeira australiana possui características de um material semicristalino e possui baixa cristalinidade, quando comparada a outras fibras lignocelulósicas;
- Pela fibra de palmeira real australiana já ser um material com alto teor de fase amorfa, a mercerização pode ser um processo químico pouco efetivo no tratamento dessa fibra;

Quanto à caracterização e obtenção dos compósitos as principais conclusões foram:

- A mercerização promoveu maior dispersão das fibras na matriz polimérica. Essa condição foi observada com a redução da quantidade de aglomerados tanto para os compósitos com menor teor de fibras, quanto para os compósitos com maiores teores de fibras;
- Para solicitação mecânica em que se exija maior módulo de elasticidade, os compósitos de ABS com teor de fibras de 20% possuem desempenho superior. A mercerização apresentou tendência de melhora nessa propriedade, quando comparados compósitos que possuem o mesmo teor de fibras, porém, considerando-se os desvios, é estatisticamente correto afirmar que ambos possuem propriedades semelhantes;

- A resistência à tração do ABS diminuiu com a incorporação das fibras de palmeira, tanto para as fibras não tratadas, quanto para as fibras mercerizadas. A mercerização, quando comparados aos compósitos com o mesmo teor de fibras, apenas apresentou vantagem nos compósitos reforçados com teores de 20% de palmeira.
- Quando analisado o de alongamento na ruptura, os resultados obtidos demonstram que todos os compósitos produzidos apresentaram um decréscimo nessa propriedade. Porém, esse resultado não é tão confiável, visto que os corpos de prova utilizados (tipo V) não permitem o uso do extensômetro na máquina universal de ensaios.
- De forma geral, o módulo de flexão dos compósitos, apresentou tendência a aumento com a incorporação das fibras no ABS, porém observou-se aumento real apenas nas composições em que os teores de fibras utilizados foram superiores a 5%. A mercerização promoveu uma melhora nessa propriedade quando comparados aos compósitos que possuíam o mesmo teor de fibras.
- A adição das fibras de palmeira promoveu, de forma geral, uma redução da resistência à flexão do ABS e que, quanto maior o teor de fibras, maior é a redução dessa propriedade. A mercerização suavizou a degradação da resistência à flexão apenas nos compósitos com teores de fibras de 5 e 20%.
- Apenas para o ABS virgem e para os compósitos com teores de fibras iguais a 5% foi viável a confecção de filamentos para impressoras 3D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Heber dos Santos. Estimativa por infravermelho da concentração da unidade estrutural bO-4 em ligninas de angiospermas tropicais. *Química nova*, v. 20, n. 6, p. 592-598, 1997.

ABS Plastic Sheet, Rod, Tube and Accessories. *Interstate Plastics*.
<https://www.interstateplastics.com/ABS-sheets-rods/cp47>. Acessado em setembro de 2019.

AKIL, HMI et al. Kenaf fiber reinforced composites: A review. *Materials & Design*, v. 32, n. 8-9, p. 4107-4121, 2011.

ALAWAR, Ahmad; HAMED, Ahmad M.; AL-KAABI, Khalifa. Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering*, v. 40, n. 7, p. 601-606, 2009.

ALBINANTE, Sandra Regina; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, Leila Lea Yuan. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Química Nova*, v. 36, n. 1, p. 114-122, 2013.

ALLABY, Michael (Ed.). A dictionary of plant sciences. *Oxford University Press*, 2012.

AL-OQLA, Faris M.; SAPUAN, S. M. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 66, p. 347-354, 2014.

ARIB, R. M. N. et al. Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. *Materials & Design*, v. 27, n. 5, p. 391-396, 2006.

AZIMI, Parham et al. Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. *Environmental science & technology*, v. 50, n. 3, p. 1260-1268, 2016.

BASF, technical data sheet, Terluran® GP-35, ABS, 2016. Disponível em:
https://www.ineos-styrolution.com/Product/Terluran_Terluran-GP-35_SKU300600120829_lang_en_GB.html?Toggle=SDS. Acesso em 20 dez 2019.

Belini C.M., Bonafim I.F., Júnior R.F.G. Growth of australian royal palm tree in substrates formulated from compound tree pruning. *Revista Biologia*, 15, (2011).

BEN AMOR, Ines et al. Effect of palm tree fiber orientation on electrical properties of palm tree fiber-reinforced polyester composites. *Journal of composite materials*, v. 44, n. 13, p. 1553-1568, 2010.

BENDAHOU, Abdelkader et al. Short palm tree fibers polyolefin composites: effect of filler content and coupling agent on physical properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 293, n. 2, p. 140-148, 2008.

BHATTACHARYYA, Debes; BOWIS, Martyn; JAYARAMAN, Krishnan. Thermoforming woodfibre–polypropylene composite sheets. *Composites science and technology*, v. 63, n. 3-4, p. 353-365, 2003.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, Jochen. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999.

Bolton, J. (1995) The Potential of Plant Fibres as Crops for Industrial Use. *Outlook Agric*, 24, 85-89.

BOUGUEREAU, W. A Folha de Palmeira. Século XIX. 1 original de arte, óleo sobre tela. BRITANNICA. Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, 2009. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/acrylonitrile-butadiene-styrene-copolymer>. Acesso em 12 jun 2019.

CALLISTER, W.D. *Ciência e engenharia de materiais: uma Introdução*. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

CAMARGO. P.; SATYANARAYANA K.*; WYPYCH F. Nanocomposites: Synthesis, Structure, Properties and New Application Opportunities. *Materials Research*, Vol. 12, No. 1, 1-39, 2009.

CAO, Y.; SHIBATA, S.; FUKUMOTO, I. Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. *Composites part A: Applied science and Manufacturing*, v. 37, n. 3, p. 423-429, 2006.

CHANDRASEKAR, M. et al. A review on the characterisation of natural fibres and their composites after alkali treatment and water absorption. *Plastics, Rubber and Composites*, v. 46, n. 3, p. 119-136, 2017.

CHRISTENHUSZ, Maarten JM; BYNG, James W. The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, v. 261, n. 3, p. 201-217, 2016.

DAI, Dasong et al. Characteristic and performance of elementary hemp fibre. *Materials Sciences and Applications*, v. 1, n. 06, p. 336, 2010.

D'ALMEIDA, Ana LFS et al. Efeito do tratamento de mercerização em fibras de curauá (*Ananas erectfolius*). In: *8 Congresso Brasileiro de Polímeros*. 2005. p. 12-13.

DAS, Mahuya; CHAKRABORTY, Debabrata. Influence of alkali treatment on the fine structure and morphology of bamboo fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 102, n. 5, p. 5050-5056, 2006.

de SOUZA, V. F. "Palmito de Pupunha." *Embrapa Rondônia-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)* (2001).

DHAKAL, H. N.; ZHANG, Z. Y.; RICHARDSON, M. O. W. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *Composites science and technology*, v. 67, n. 7-8, p. 1674-1683, 2007.

DONALD, Athene M.; KRAMER, Edward J. *Plastic deformation mechanisms in poly (acrylonitrile-butadiene styrene)[ABS]. Journal of Materials Science*, v. 17, n. 6, p. 1765-1772, 1982.

DOS SANTOS, Hellen Cristine et al. Real-time MA-XRF imaging spectroscopy of the Virgin with the Child painted by Antonello de Saliba in 1497. *Microchemical Journal*, v. 140, p. 96-104, 2018.

DOWE, John Leslie. *Australian palms: biogeography, ecology and systematics. CSIRO Publishing*, 2010.

DUNNE, R.; DESAI, D.; SADIKU, R. Material characterization of blended sisal-kenaf composites with an ABS matrix. *Applied Acoustics*, v. 125, p. 184-193, 2017.

EIRAS, Daniel; PESSAN, Luiz Antonio. Mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Materials Research*, v. 12, n. 4, p. 517-522, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Produção Agrícola, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/pupunha/tema>. Acesso em 19 nov 2019.

FORREST, M. J. et al. Emissions from processing thermoplastics. *The Annals of Occupational Hygiene*, v. 39, n. 1, p. 35-53, 1995.

Gassan, J. and Gutowski, V. *Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites. Composites Science and Technology*. 60, 2857-2863

GASSAN, Jochen; GUTOWSKI, Voytek S. Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites. *Composites Science and Technology*, v. 60, n. 15, p. 2857-2863, 2000.

GEMCI, Remzi. Examining the effects of mercerization process applied under different conditions to dimensional stability. *Scientific Research and Essays*, v. 5, n. 6, p. 560-571, 2010.

GIOVINO, Mariana. *The Assyrian sacred tree: a history of interpretations*. Saint-Paul, 2007.

GODA, Koichi et al. Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites—Effect of load application during mercerization of ramie fibers. *Composites Part A: Applied science and manufacturing*, v. 37, n. 12, p. 2213-2220, 2006.

GONG, Jie et al. Research on cellulose nanocrystals produced from cellulose sources with various polymorphs. *Rsc Advances*, v. 7, n. 53, p. 33486-33493, 2017.

GUEDES, J. R., *Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com fibra da palmeira real australiana*. 2014. 74f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2014.

HAHLADAKIS, John N. et al. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of hazardous materials*, v. 344, p. 179-199, 2018.

- HASHIM, Mohd Yussni et al. Mercerization treatment parameter effect on natural fiber reinforced polymer matrix composite: A brief review. *World academy of science, engineering and technology*, v. 68, p. 1638-1644, 2012.
- HAYNES, Jody et al. Drought-tolerant, low-maintenance plants for south 'Florida Yards' and 'Florida Landscapes'. *Institute of Food and Agricultural Sciences*. University of Florida. 2001.
- Herrera-Franco, P.J. and Valadez-Gonzalez, A. (2005) A Study of the Mechanical Properties of Short Natural-Fiber Reinforced Composites. *Composites: Part B*, 36, 597-608.
- HOSOKAWA, M. N.; PAIVA, J. M. F. . Tensile strength of recycled ABS composite reinforced with jute fiber fabric. In: XV SBPMat - *Brazilian Materials Research Society*, 2016, Campina/SP.
- JARAMILLO-QUICENO, Natalia et al. Improvement of Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fibers by Mercerization Process. *Fibers and Polymers*, v. 19, n. 12, p. 2604-2611, 2018.
- JOHN, Maya Jacob; ANANDJIWALA, Rajesh D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polymer composites*, v. 29, n. 2, p. 187-207, 2008.
- JOHN, Maya Jacob; ANANDJIWALA, Rajesh D. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites. *Polymer composites*, v. 29, n. 2, p. 187-207, 2008.
- KABIR, M. M. et al. Effects of natural fiber surface on composite properties: A review. In: *Proceedings of the 1st international postgraduate conference on engineering, designing and developing the built environment for sustainable wellbeing*. Queensland University of Technology, 2011. p. 94-99.
- KADDAMI, Hamid et al. Short palm tree fibers–Thermoset matrices composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 37, n. 9, p. 1413-1422, 2006.
- KAFLE, Kabindra et al. Cellulose polymorphs and physical properties of cotton fabrics processed with commercial textile mills for mercerization and liquid ammonia treatments. *Textile Research Journal*, v. 84, n. 16, p. 1692-1699, 2014.
- KALIA, Susheel; KAITH, B. S.; KAUR, Inderjeet. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—A review. *Polymer Engineering & Science*, v. 49, n. 7, p. 1253-1272, 2009.
- KOLPAK, Francis J.; WEIH, Mark; BLACKWELL, John. Mercerization of cellulose: 1. Determination of the structure of mercerized cotton. *Polymer*, v. 19, n. 2, p. 123-131, 1978.
- KU, Harry et al. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, v. 42, n. 4, p. 856-873, 2011.
- LIU, X. Y.; DAI, G. C. Surface modification and micromechanical properties of jute fiber mat reinforced polypropylene composites. *Express Polymer Letters*, v. 1, n. 5, p. 299-307, 2007.

LORENZI, H. et al. Palmeira no Brasil: exóticas e nativas. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2005. 303 p.

MAEDA, J.A. et al. Germinação de sementes da palmeira *Archontophoenix alexandrae*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., 1987, Maringá. Anais... Maringá: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1987. p. 99-107.

MARISSSEN, R. et al. The effect of material defects on the fatigue behaviour and the fracture strain of ABS. *Journal of materials science*, v. 36, n. 17, p. 4167-4180, 2001.

Milenius, David L. "ABS extrusion compositions." U.S. Patent No. 4,150,009. 17 Apr. 1979.
MOHAMMAD, Nor Nisa Balqis; ARSAD, Agus. Mechanical, thermal and morphological study of kenaf fiber reinforced rPET/ABS composites. *Malaysian Polymer Journal*, v. 8, n. 1, p. 8-13, 2013.

Mohd Yussni Hashim, Mohd Nazrul Roslan, Azriszul Mohd Amim, Ahmad Mujahid Ahmad Zaidi and Saparudin Ariffin- "Mercerization treatment parameter effect on natural fiber reinforced polymer matrix composite: A brief review; *World Academy of Science, Engineering and Technology*"; vol6 (8), 2012, 1378-1384.

MOKALOBA, N.; BATANE, R. The effects of mercerization and acetylation treatments on the properties of sisal fiber and its interfacial adhesion characteristics on polypropylene. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, v. 6, n. 4, p. 83-97, 2014.

VON MUELLER, Ferdinand. *Fragmenta Phytographiae Australiae. auctoritate gubern. coloniae Victoriae, ex officina Joannis Ferres, 1874.*

MULINARI, Daniella Regina et al. Surface modification of sugarcane bagasse cellulose and its effect on mechanical and water absorption properties of sugarcane bagasse cellulose/HDPE composites. *BioResources*, v. 5, n. 2, p. 661-671, 2010.

MULINARI, Daniella Regina; DE OLIVEIRA, Helington Neves. Avaliação do uso de agente compatibilizante em compósitos poliméricos. *Cadernos UniFOA*, v. 1, n. 1, p. 29-35, 2014.

MURILLO, Ramon MALET et al. *Thermoplastic abs composition reinforced with natural fibres*. U.S. Patent Application n. 15/774,650, 6 dez. 2018.

NEHER, Budrun et al. Investigation of the surface morphology and structural characterization of palm fiber reinforced acrylonitrile butadiene styrene (PF-ABS) composites. *Materials Sciences and Applications*, v. 5, n. 6, p. 378, 2014.

NETO, Flamínio Levy; PARDINI, Luiz Claudio. *Compósitos estruturais: ciência e tecnologia*. Editora Blucher, 2016.

NORA, Angelo; KOENEN, Gunther. *Metallic soaps*. *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*, 2000.

OH, Sang Youn et al. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. *Carbohydrate research*, v. 340, n. 15, p. 2376-2391, 2005.

OLADELE, I. O.; AGBABIKA, O. G. Investigating the influence of mercerization treatment of sisal fiber on the mechanical properties of reinforced polypropylene composites and modeling of the properties. *Fibers and Polymers*, v. 16, n. 3, p. 650-656, 2015.

OLIVEIRA, Jean. *Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de palmeira real australiana*. 2015. Dissertação de Mestrado. Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, 2015.

MEI, Lúcia Helena; OLIVEIRA, Natália. Caracterização de um compósito polimérico biodegradável utilizando Poli (ϵ -caprolactona) e borra de café. *Polímeros*, v. 27, n. SPE, p. 99-109, 2017.

P.-Y.B. Jar, K. Konoshi, T. Shinmura, Characterization of toughness variation due to intrinsic defects in high-thermalresistant poly(acrylonitrile-butadiene- styrene) (ABS), *Journal of Polymer Science*. 37 (2002) 4521-4528.

PAUKSZTA, Dominik; BORYSIK, Slawomir. The influence of processing and the polymorphism of lignocellulosic fillers on the structure and properties of composite materials—A review. *Materials*, v. 6, n. 7, p. 2747-2767, 2013.

PAUL, Sherey Annie et al. Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 39, n. 9, p. 1582-1588, 2008.

PETERS, Stanley T. (Ed.). *Handbook of composites*. Springer Science & Business Media, 2013.

Platt, David K. Engineering and high performance plastics market report: a Rapra market report. *iSmithers Rapra Publishing*, 2003.

PRINCETON.EDU. Advanced Materials by Design, 2018. Disponível em: <http://www.princeton.edu/~ota/disk2/1988/8801/880106.PDF> Acesso em: 15 Jul. 2018.

REIS, L. S. et al. *Avaliação das propriedades mecânicas e morfológicas dos compósitos de PP reforçados com fibras da palmeira real australiana*. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. CBECIMAT, 21, 2014, Cuiabá, Mato Grosso. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/21cbecimat/CD/PDF/205-029.pdf> Acesso em 02/11/2019.

RENOUPREZ, A.; AVOM, J. Characterization of active carbons from palm-tree fibers using nitrogen adsorption and small angle x-ray scattering. In: *Studies in Surface Science and Catalysis*. Elsevier, 1988. p. 49-54.

Ribeiro J.H. SOS palmito. *Revista Globo Rural*, 3, pp 24-26 (1996).

SÁ, Bruno de Souza Ribeiro et al. *Obtenção e caracterização do compósito de polipropileno reciclado com fibra de palmeira-real (Archontophoenix cunninghamiana)*. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SAHEB, D. Nabi; JOG, Jyoti P. Natural fiber polymer composites: a review. *Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute*, v. 18, n. 4, p. 351-363, 1999.

SALARI, D., and HEYDAR R. Study on the recycling of ABS resins: simulation of reprocessing and thermo-oxidation. Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Tabriz Tabriz, Iran. 2008.

SAYAN, M. Selcuk. Landscaping with palms in the Mediterranean. *PALMS-LAWRENCE-*, v. 45, p. 171-176, 2001.

SBIAI, Adil et al. Effect of the fiber size on the physicochemical and mechanical properties of composites of epoxy and date palm tree fibers. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 293, n. 8, p. 684-691, 2008.

SBIAI, Adil et al. Short date palm tree fibers/polyepoxy composites prepared using RTM process: effect of tempo mediated oxidation of the fibers. *BioResources*, v. 5, n. 2, p. 672-689, 2010.

SINGH, Rupinder; KUMAR, Ranvijay; RANJAN, Nishant. Sustainability of recycled ABS and PA6 by banana fiber reinforcement: thermal, mechanical and morphological properties. *Journal of The Institution of Engineers: Series C*, v. 100, n. 2, p. 351-360. India, 2019.

STANSBURY, Jeffrey W.; IDACAVAGE, Mike J. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, v. 32, n. 1, p. 54-64, 2016.

STEPHENS, Brent et al. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmospheric Environment*, v. 79, p. 334-339, 2013.

STRINGHETA, A.C.O. et al. Secagem e armazenamento de sementes de palmeira real australiana (*Archontophoenix alexandrae*). *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 29, n. 1, p. 51-57, 2004.

KULSETTHANCHALEE, Chanin. Phosphate derivative flame retardants on properties of pineapple leaf fiber/ABS composites. *Polymers and Polymer Composites*, v. 22, n. 7, p. 591-598, 2014.

THWE, Moe Moe; LIAO, Kin. Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 33, n. 1, p. 43-52, 2002.

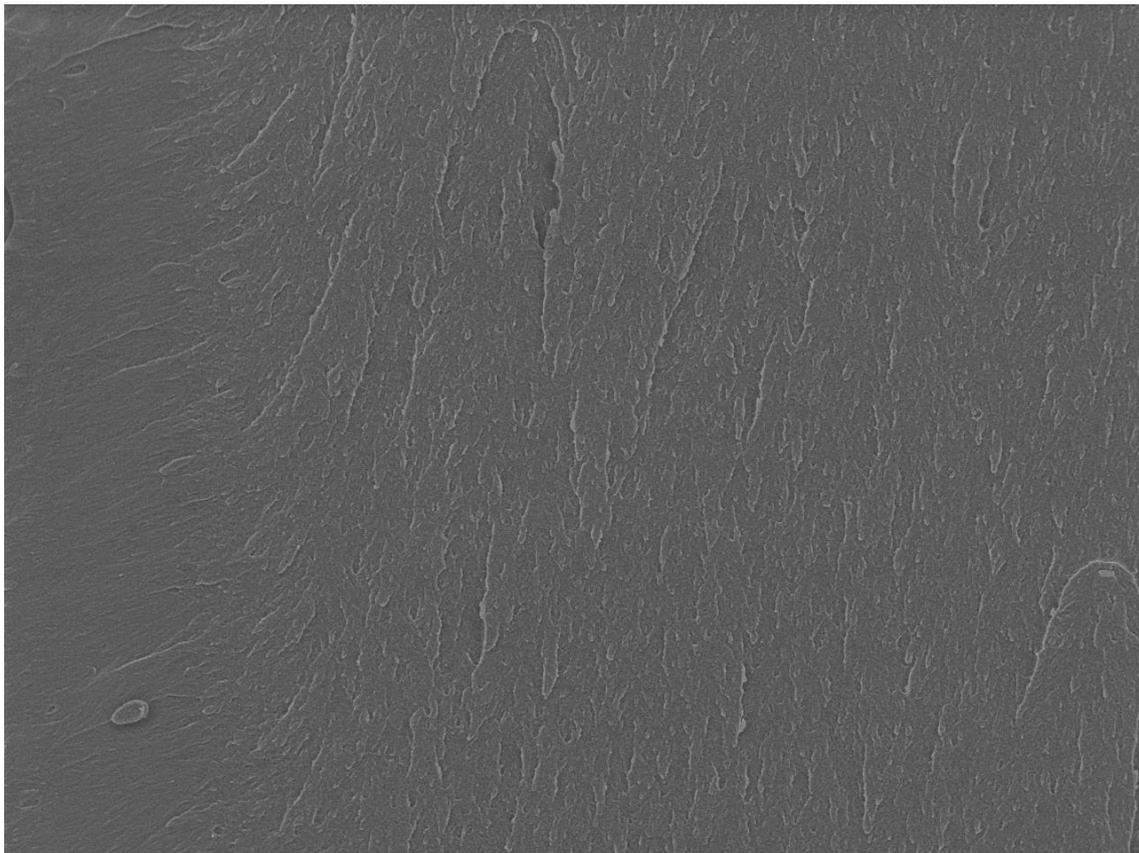
Torrado Perez, A. R., Roberson, D. A., & Wicker, R. B. (2014). Fracture Surface Analysis of 3D-Printed Tensile Specimens of Novel ABS-Based Materials. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 14(3), 343–353.

- UNWIN, John et al. Airborne emissions of carcinogens and respiratory sensitizers during thermal processing of plastics. *Annals of Occupational Hygiene*, v. 57, n. 3, p. 399-406, 2012.
- VIEIRA, N. Ldo et al. Microstructure, nutrient composition and antioxidant capacity of king palm flour: a new potential source of dietary fibre. *Bioresource technology*, v. 101, n. 14, p. 5701-5707, 2010.
- VIGNESH, K. Mercerization treatment parameter effect on coir fiber reinforced polymer matrix composite. *Materials Research Express*, v. 5, n. 7, p. 075303, 2018.
- WENG, Zixiang et al. Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, v. 102, p. 276-283, 2016.
- WIEBECK, H. HARADA, J; *Plásticos de Engenharia-Tecnologia e Aplicações*. São Paulo, SP: Ed. Artliber Ltda, 2005.
- WILLIAMS, George I.; WOOL, Richard P. Composites from natural fibers and soy oil resins. *Applied Composite Materials*, v. 7, n. 5-6, p. 421-432, 2000.
- WOHLERS, Terry; GORNET, Tim. History of additive manufacturing. *Wohlers report*, v. 24, n. 2014, p. 118, 2014.
- XIA, Yuanyuan; XIAN, Guijun; LI, Hui. Enhancement of tensile properties of flax filaments through mercerization under sustained tension. *Polymers and Polymer Composites*, v. 22, n. 2, p. 203-208, 2014.
- XIAO, Ya-hang; FU, Min-shi. Forming Technique of Wood Flour/ABS Plastic Composites by Hot Pressing. *China Plastics Industry*, v. 12, 2004.
- ZEIN, Iwan et al. Fused deposition modeling of novel scaffold architectures for tissue engineering applications. *Biomaterials*, v. 23, n. 4, p. 1169-1185, 2002.
- ŻENKIEWICZ, M. et al. Some effects of multiple injection moulding on selected properties of ABS. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, v. 37, n. 2, p. 361-368, 2009.

APÊNDICE

Microscopias eletrônicas de varredura do ABS *in natura* e dos compósitos ABS/Fibra de Palmeira.

Figura 24 – Microscopia eletrônica de varredura do ABS *in natura*

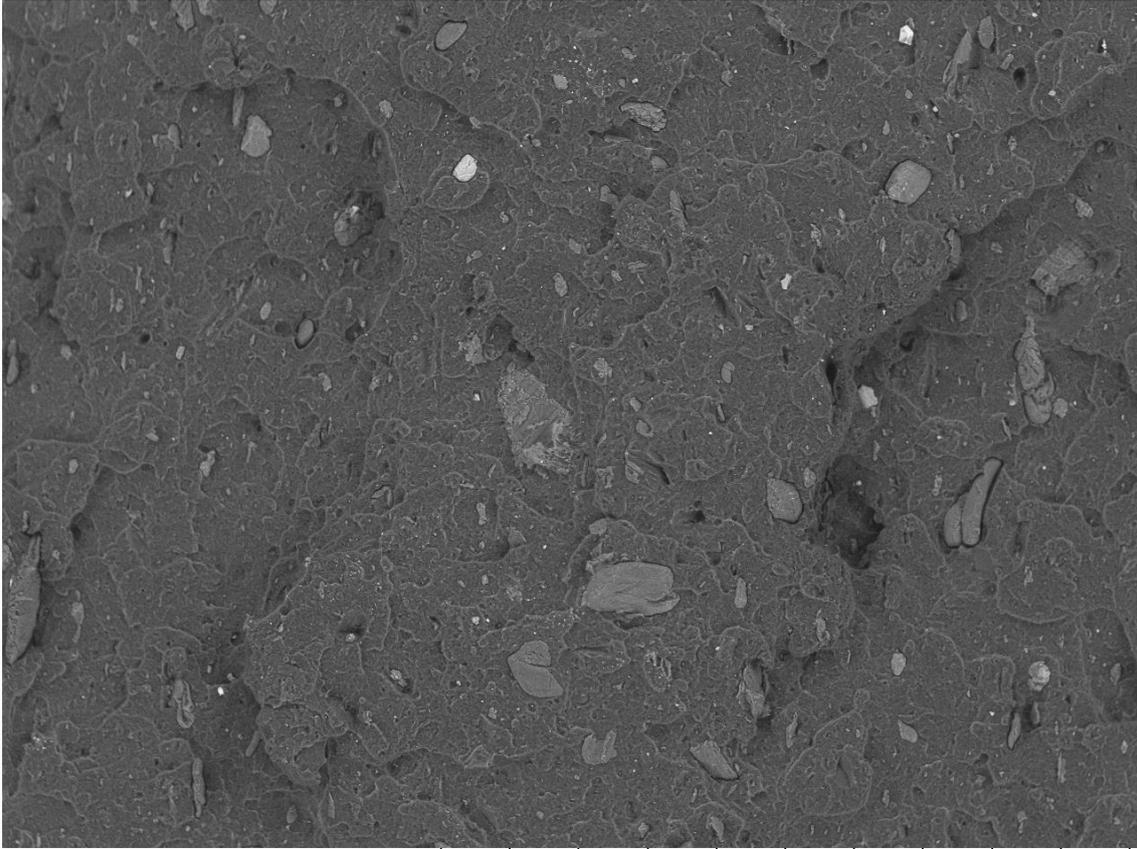


ABS

NL D5,3 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 25 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP05

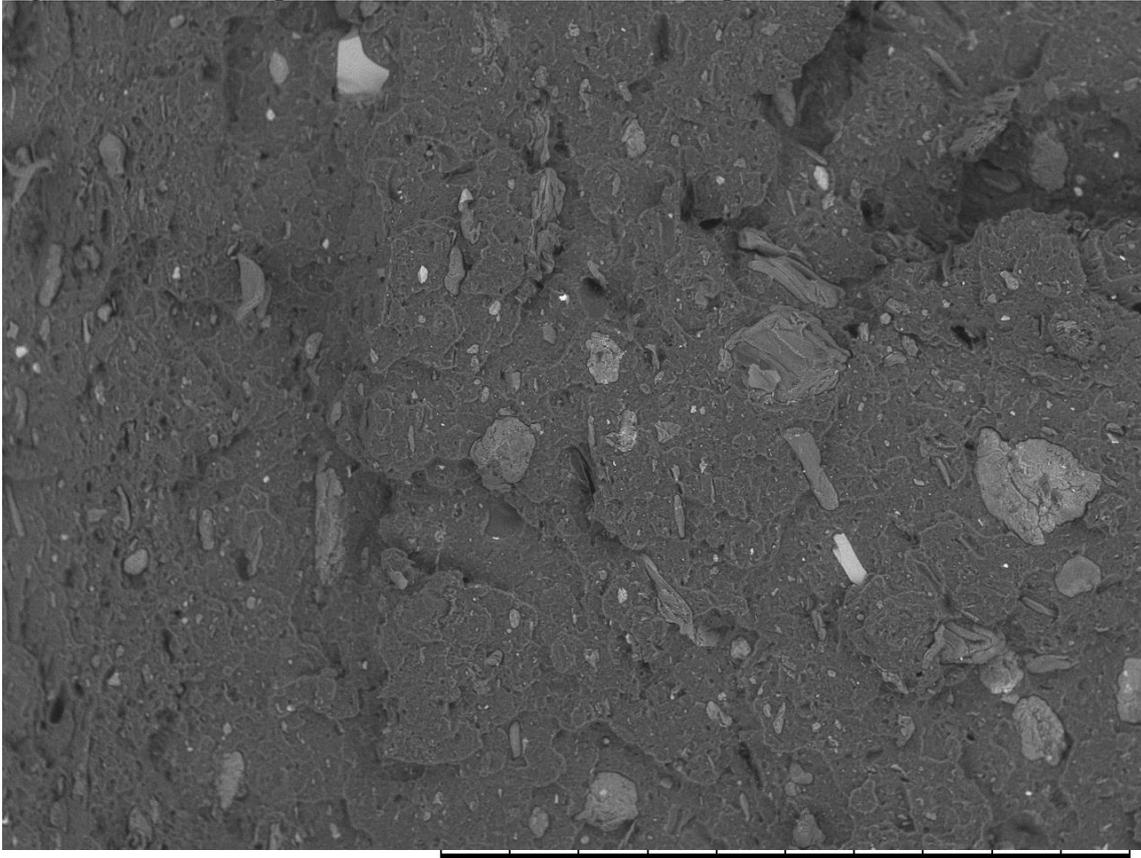


ABS +P5

NL D4,9 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 26 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP10

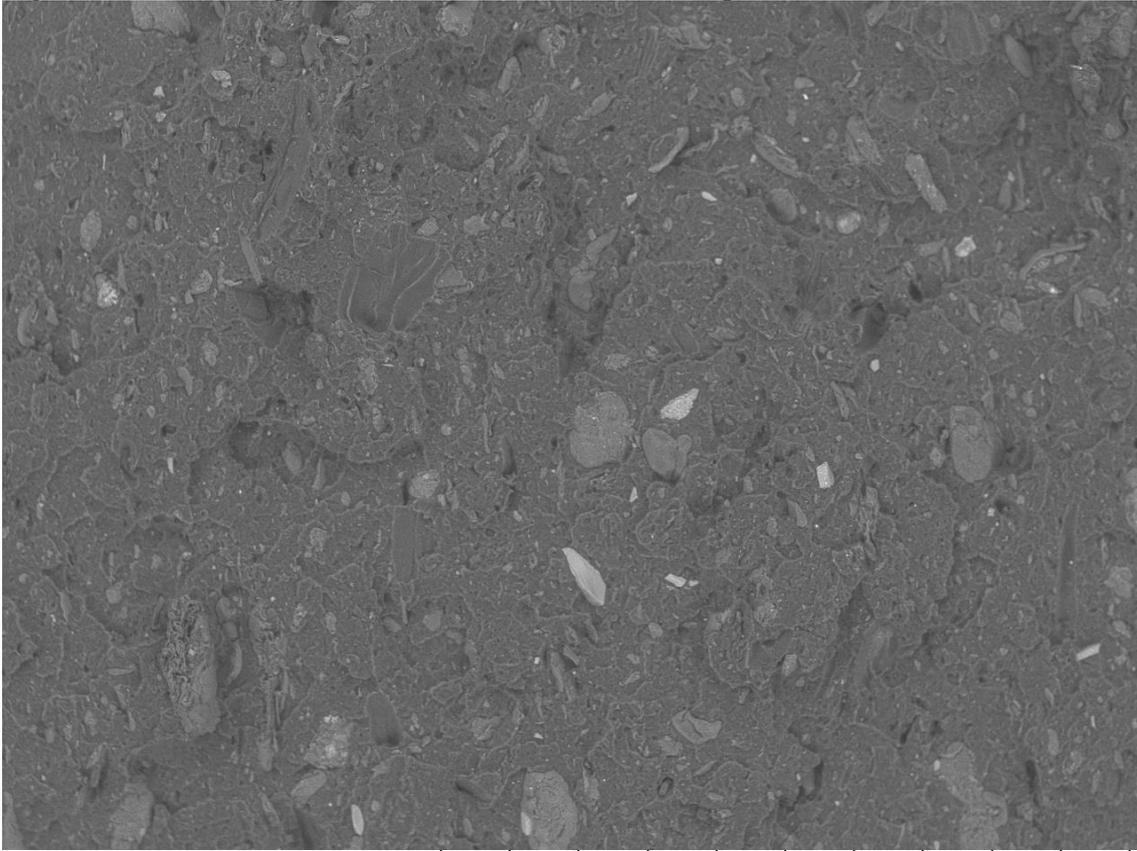


ABS +P10

NL D4,8 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 27 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP15

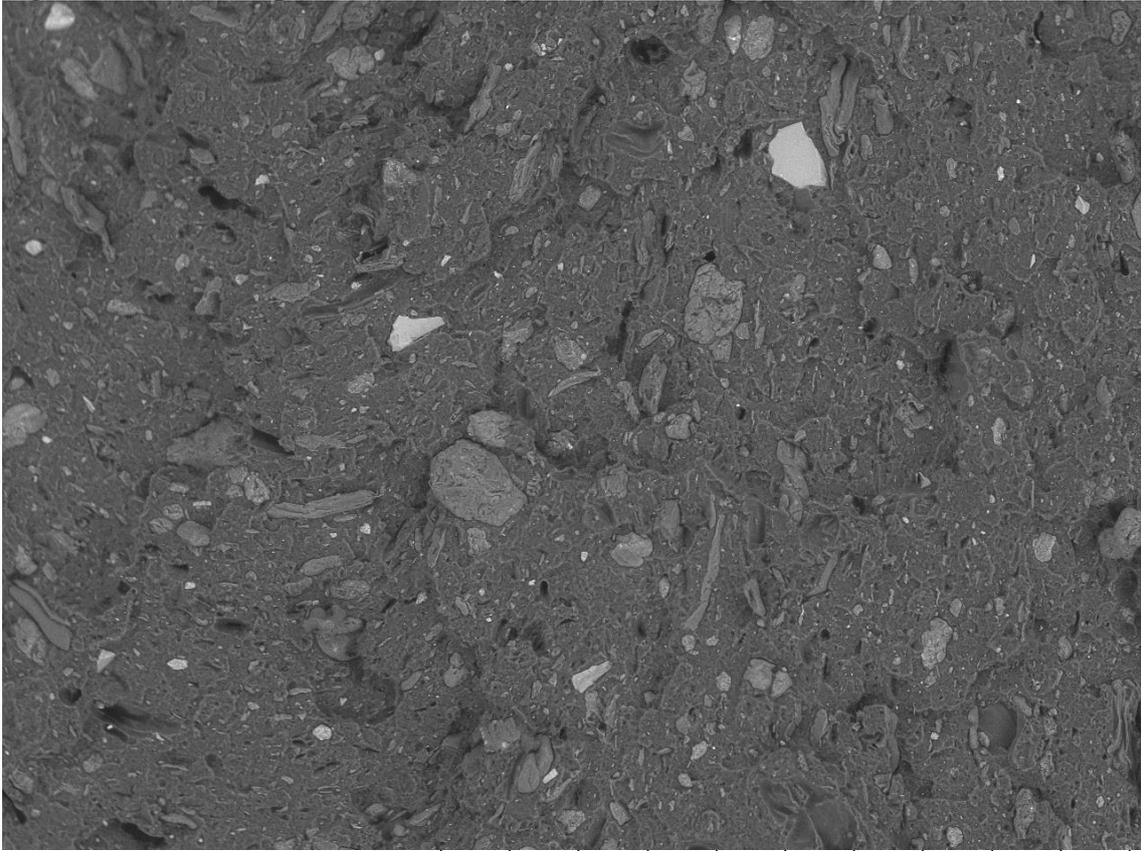


ABS +P15

NL D4,8 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 28 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FP20

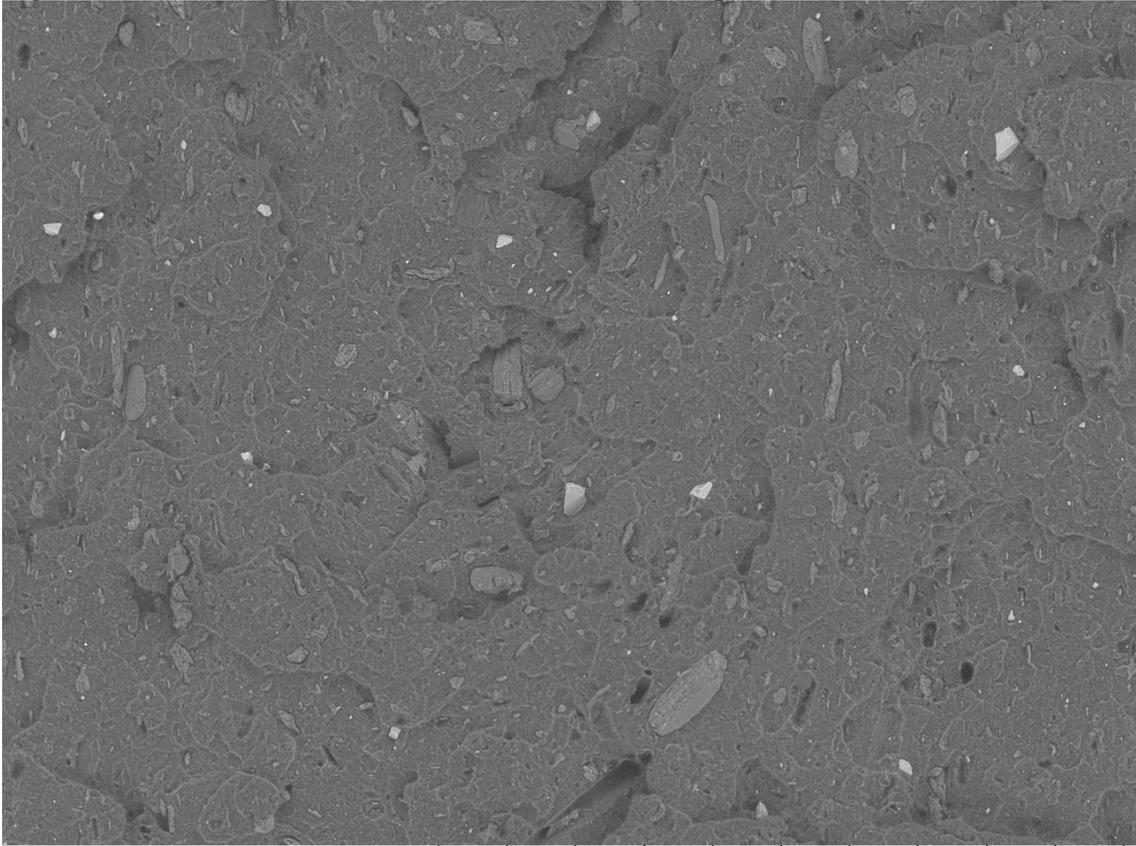


ABS +P20

NL D5,1 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 29- Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM05

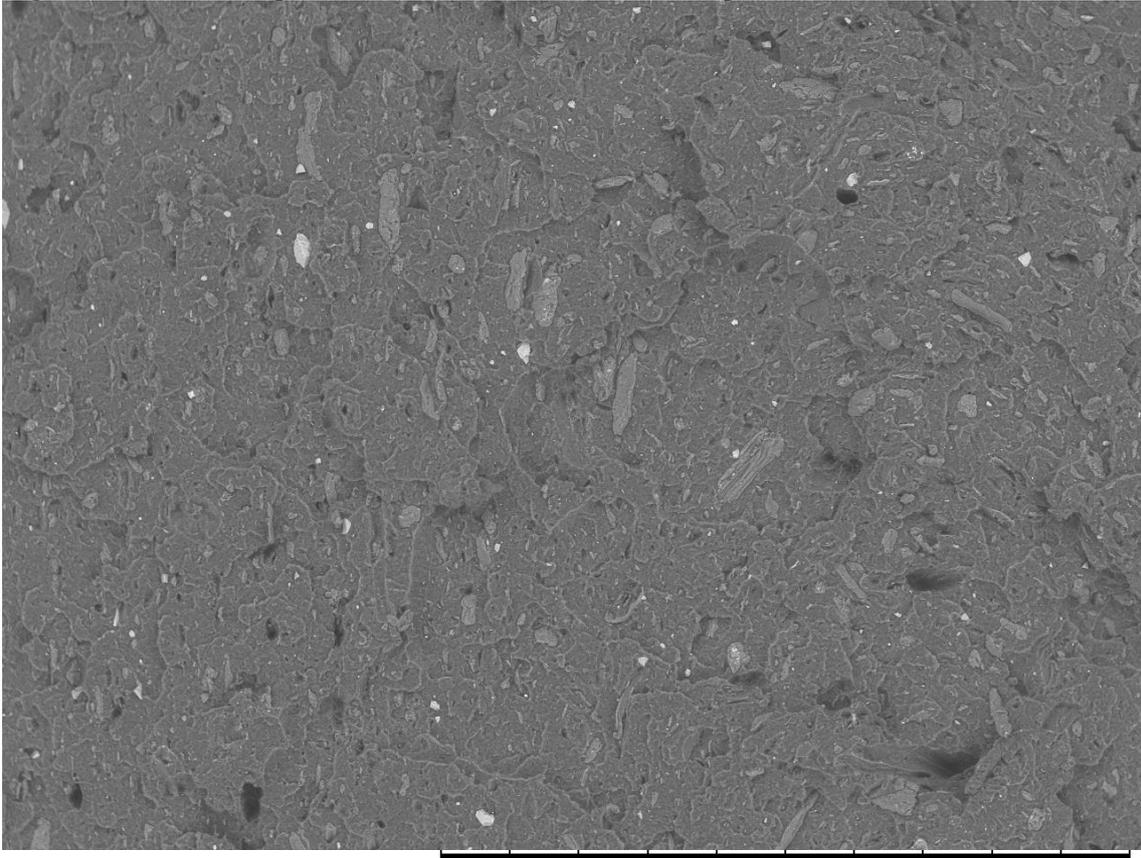


ABS +M5

NL D5,0 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 30 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM10

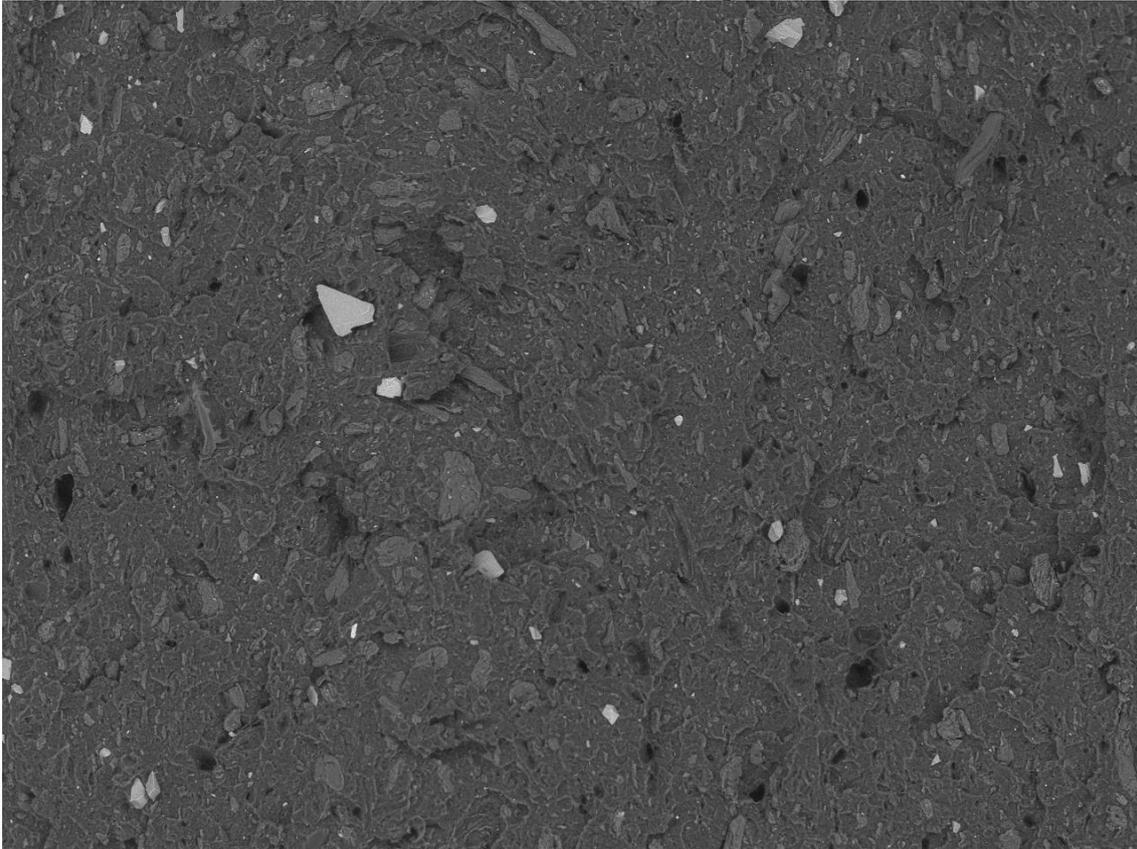


ABS +M10

NL D5,2 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 31 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM15

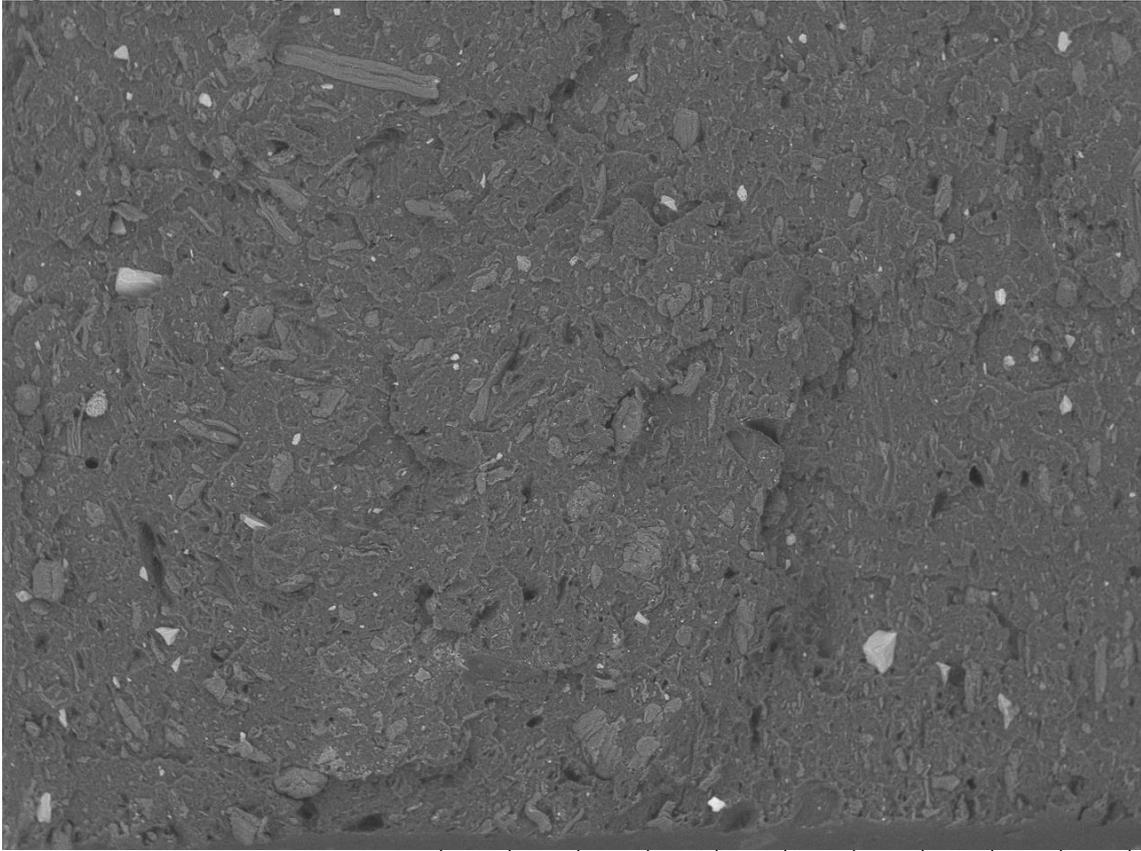


ABS +M15

NL D5,5 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.

Figura 32 - Microscopia eletrônica de varredura do compósito ABS/FPM20



ABS +M20

NL D5,5 x100 1 mm

Fonte: O autor, 2019.