

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGEM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM  
MATRIZ DE POLIPROPILENO E CARGA PARTICULADA DO ENDOCARPO  
SECO DO *COCOS NUCÍFERA LINN***

**Gustavo Santos de Lucena Lira**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva

NATAL/RN  
SETEMBRO/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGEM

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM  
MATRIZ DE POLIPROPILENO E CARGA PARTICULADA DO ENDOCARPO  
SECO DO *COCOS NUCÍFERA LINN***

**Gustavo Santos de Lucena Lira**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva.

NATAL/RN  
SETEMBRO/2016

Catálogo da Publicação na Fonte  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Sistema de Bibliotecas  
Biblioteca Central Zila Mamede / Setor de Informação e Referência

Lira, Gustavo Santos de Lucena.

Estudo da caracterização de um compósito polimérico com matriz de polipropileno e carga particulada do endocarpo seco do *cocos nucifera linn* / Gustavo Santos de Lucena Lira. - 2016.

100 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva.

1. Compósitos - Dissertação. 2. Particulado - Dissertação. 3. Coko (Endocarpo) - Dissertação. 4. Polipropileno - Dissertação. I. Silva. Luiz Cláudio Ferreira da. II. Título.

RN/UF/BCZM  
677.18

CDU

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA - PPGEM

**ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO POLIMÉRICO COM  
MATRIZ DE POLIPROPILENO E CARGA PARTICULADA DO ENDOCARPO  
SECO DO *COCOS NUCÍFERA LINN***

GUSTAVO SANTOS DE LUCENA LIRA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA  
sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva  
Orientador

BANCA EXAMINADORA

---

**Prof. Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva – PPGEM/UFRN**

---

**Prof. Dr. Avelino Manuel da Silva Dias – UFRN**

---

**Prof. Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire Junior – PPGEM/UFRN**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo maravilhoso dom da vida, por estar sempre ao meu lado me dando força, inspiração e determinação nessa caminhada e por ter colocado pessoas maravilhosas no meu caminho.

Aos meus pais, Gilmar e Dione, e ao meu irmão Glauber, os quais provam a cada dia que são meu alicerce e é neles que eu deposito toda minha confiança, encontro conforto, paz, equilíbrio e a verdadeira felicidade.

A minha esposa, Sêmely, que admiro e amo. Que demonstra a cada dia a quão companheira é, incentivando-me, amparando e apoiando a concluir meus estudos com muita paciência e amor.

Ao meu orientador, Dr. Luiz Cláudio Ferreira da Silva, por todo o apoio e incentivo durante os experimentos, pelos conselhos, ensinamentos e amizade. Como também, pela confiança no período do mestrado, quando me senti impulsionado à dedicação e ao entusiasmo em minhas atividades.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGEM/UFRN), pelo incentivo aos meus estudos.

Ao professor Dr. Edson Noriyuki Ito e a sua equipe do Laboratório de Polímeros da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pelo apoio nas etapas de processamento dos materiais, realização de ensaio de densidade e visualização por microscopia eletrônica de varredura.

Ao Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, por ter contribuído com os ensaios de tração e flexão.

Ao Laboratório de Geologia e Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, pelo apoio no condicionamento dos endocarpos do coco.

A empresa Coko e Cia pelo fornecimento dos cocos para fabricação dos compósitos.

Aos meus amigos por estarem sempre na torcida pelo meu sucesso, apoiando-me e incentivando-me com palavras de otimismo.

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Geral .....	18
1.1.2 Específicos .....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 O COQUEIRO .....	19
2.1.1 O fruto .....	21
2.1.2 Endocarpo.....	23
2.1.3 O cultivo do coqueiro.....	24
2.2 COMPÓSITOS .....	28
2.2.1 Matrizes poliméricas.....	30
2.2.1.1 Polipropileno .....	33
2.2.2 Agentes de reforço .....	36
2.2.2.1 Cargas particuladas.....	37
2.3 PROCESSAMENTO POR EXTRUSÃO.....	39
2.4 PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO.....	45
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1 A MATÉRIA-PRIMA.....	51
3.1.1 O endocarpo seco .....	51
3.1.2 Condicionamento do endocarpo seco .....	51
3.1.3 Moagem do endocarpo e definição da faixa granulométrica .....	53
3.1.4 Secagem dos particulados do endocarpo do coco.....	55
3.2 FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	55
3.2.1 Processo de extrusão.....	56
3.2.2 Processo de injeção .....	59
3.3 ENSAIOS REALIZADOS COM OS COMPÓSITOS FABRICADOS .....	61
3.3.1 Análise termogravimétrica .....	61
3.3.2 Ensaio de densidade volumétrica .....	61
3.3.3 Ensaio de tração uniaxial .....	62
3.3.4 Ensaio de flexão.....	64
3.3.5 Microscopia eletrônica de varredura .....	66

4 ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	67
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ENDOCARPO .....	67
4.1.1 Análise termogravimétrica .....	67
4.1.2 Classificação granulométrica .....	69
4.1.3 Análise micrográfica .....	72
4.2 INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	73
4.3 ENSAIO DE DENSIDADE VOLUMÉTRICA.....	74
4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL .....	75
4.5 ENSAIO DE FLEXÃO .....	85
5 CONCLUSÕES .....	91
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

b	Largura da amostra ensaiada
d	Espessura da amostra ensaiada
D	Diâmetro
E	Módulo de elasticidade na flexão
h	Profundidade do canal
l	Comprimento
L	Distância entre os apoios
m	Inclinação da tangente na porção inicial da curva carga-deflexão
N	Rotação
P	Força aplicada e referente à ruptura do material
PEEL	Poliéter Éster elastômero
PP	Polipropileno
PPEI	Polipropileno Extrudado e Injetado
PPI	Polipropileno Injetado
SBS	Estireno Butadieno Estireno
T	Temperatura
T <sub>g</sub>	Temperatura de Transição Vítrea
T <sub>m</sub>	Temperatura de fusão
$\sigma_F$	Tensão última à flexão
wt	<i>Weight</i> (Peso)



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Classificação botânica, origem e distribuição do coqueiro.	19
Figura 2.2	Representação da estrutura do fruto do coqueiro (coco).	21
Figura 2.3	Principais aplicações do polipropileno.	33
Figura 2.4	Reação geral de polimerização do gás propeno ou propileno.	34
Figura 2.5	Classificação dos compósitos.	36
Figura 2.6	Classificação das cargas quanto ao formato: (a) esférica, (b) flake e (c) filler.	37
Figura 2.7	Esquema de uma extrusora com suas diversas partes funcional.	41
Figura 2.8	Zona de alimentação, zona de compressão e zona de controle da rosca em extrusora monorosca.	42
Figura 2.9	Extrusoras de dupla rosca: a) co-rotacional, b) Contra-rotacional.	43
Figura 2.10	Cristalização induzida por cisalhamento. As flechas apontam para cristais ou núcleos de cristais gerados durante a passagem do PP fundido pelo interior da matriz plana.	45
Figura 2.11	Esquema de uma injetora convencional.	46
Figura 3.1	Fluxograma de atividades desenvolvidas.	50
Figura 3.2	Endocarpos fornecidos pela Empresa Coko e Cia.	51
Figura 3.3	Endocarpos após o processo de limpeza.	52
Figura 3.4	Presenças de fibras do interior do endocarpo.	52
Figura 3.5	Moinho de martelo utilizado na trituração dos endocarpos.	53
Figura 3.6	Particulado do endocarpo seco do coco com faixa granulométrica entre 35 e 65 mesh.	54
Figura 3.7	a) Estufa circulação forçada, b) Estufa a vácuo.	55
Figura 3.8	Imagens da extrusora rosca dupla utilizada para processar o polipropileno.	57
Figura 3.9	Equipamento utilizado para o resfriamento após a extrusão.	58
Figura 3.10	Etapas de fabricação dos grãos.	58
Figura 3.11	Grãos fabricados pelo processo de extrusão.	59

Figura 3.12	Injetora ArburgAllrounder, modelo: 270 S.	60
Figura 3.13	Balança analítica Shimadzu, modelo: AUY220.	62
Figura 3.14	Corpo-de-prova do tipo I, II, III e IV da norma ASTM D-638-14.	62
Figura 3.15	Máquina SHIMADZU, modelo: AG-X, 300KN.	63
Figura 3.16	Corpo-de-prova no ensaio de flexão.	64
Figura 3.17	Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).	66
Figura 4.1	Curva Termogravimétrica do endocarpo do coco.	67
Figura 4.2	Faixa granulométrica do endocarpo do coco seco obtida pelo moinho de martelo.	71
Figura 4.3	Visualização dos formatos dos particulados do endocarpo do <i>Cocos Nucífera Linn</i> através de MEV em 40X.	72
Figura 4.4	Corpos de prova fabricados pelo processo de injeção.	73
Figura 4.5	Diagrama tensão-deformação obtido através de ensaio de tração uniaxial para os materiais.	75
Figura 4.6	Diagrama tensão deformação do polipropileno puro extrudado e injetado.	76
Figura 4.7	Diagrama tensão deformação do polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 80/20).	76
Figura 4.8	Efeito nas propriedades mecânicas através da adição do particulado do endocarpo do coco na matriz de polipropileno.	77
Figura 4.9	Corpos de prova fraturados de polipropileno puro e de seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco a partir dos ensaios de tração.	80
Figura 4.10	Linhas presentes no corpo de prova fraturado de polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 90/10).	81
Figura 4.11	Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 40X.	82
Figura 4.12	Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 100X e 200X.	83

Figura 4.13	Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 400X.	83
Figura 4.14	Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 80/20 com 200X e 1000X.	84
Figura 4.15	Diagrama tensão-deformação obtido através de ensaio de flexão para os materiais	85
Figura 4.16	Efeito nas propriedades de flexão através da participação do particulado do endocarpo do coco.	86
Figura 4.17	Diagrama tensão x deformação do polipropileno injetado para o ensaio de flexão.	87
Figura 4.18	Diagrama tensão x deformação do polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 80/20) para o ensaio de flexão.	87
Figura 4.19	Representação das fissuras transversais na camada trativa do compósito para o ensaio de flexão.	88
Figura 4.20	Imagem obtida por MEV para superfície trativa no ensaio de flexão em 200X.	89
Figura 4.21	Imagem obtida por MEV para superfície trativa no ensaio de flexão em 1000X.	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características de cultivares do coqueiro.	20
Tabela 2.2	Produção e área colhida dos principais países produtores de coco, em 2012.	25
Tabela 2.3	Área plantada com coqueiro e produção de coco nas regiões do Brasil, em 2012.	26
Tabela 2.4	Produção de coco, área plantada e produtividade do coqueiro dos principais estados produtores, em 2012.	27
Tabela 2.5	Comparação das propriedades entre termorrígidos e termoplásticos	30
Tabela 2.6	Faixa de valores das propriedades mecânicas do Polipropileno	34
Tabela 2.7	Aplicações e comparação das propriedades básicas de diversos tipos de polipropileno.	35
Tabela 3.1	Propriedades do Polipropileno CP 141 ensaiados em corpos de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101.	56
Tabela 3.2	Formulações dos materiais extrudados.	56
Tabela 3.3	Zonas de aquecimento do processo de extrusão.	57
Tabela 3.4	Zonas de aquecimento do processo de injeção.	60
Tabela 4.1	Característica granulométrica do endocarpo seco.	69
Tabela 4.2	Dados obtidos através dos ensaios de densidade.	74
Tabela 4.3	Dados obtidos através dos ensaios de tração.	78
Tabela 4.4	Valores de módulo de elasticidade para o polipropileno e seus compósitos obtidos no ensaio de flexão.	85

## RESUMO

A participação das cargas naturais nos compósitos tem possibilitado a melhoria de sua estrutura mecânica, bem como, a economia de aplicação de cargas sintéticas, as quais além de possuírem alto valor de mercado, envolvem processos de fabricação e reciclagem nocivos a saúde do homem. Nesse sentido, foram fabricados compósitos poliméricos à base de polipropileno, como matriz, e o particulado do endocarpo do *Cocos Nucífera Linn* (10 e 20 %wt), na função de carga. Com o objetivo de obter uma eficiente interação na interface do particulado com a matriz e uma distribuição uniforme do particulado no polímero, foi utilizada uma faixa granulométrica do particulado de 0,5 a 0,263 mm. Já para fabricação dos corpos-de-prova, o material foi processado por extrusão, com extrusora dupla rosca, e, em seguida, a injeção, variando a temperatura de processamento em até 200 °C, no intuito de atingir um valor acima da temperatura de transição vítrea do resíduo lignocelulósico, a fim de que a resina natural (lignina) auxilie a adesão com a matriz. Para a caracterização do particulado do endocarpo do coco utilizou-se a análise termogravimétrica e a microscopia eletrônica de varredura, enquanto para os compósitos foram utilizados os ensaios de densidade volumétrica, de tração, de flexão e a microscopia eletrônica de varredura. Dessa forma, apesar da presença da carga ter gerado diminuição da ductilidade e resistência mecânica, concluiu-se que a adição do particulado na matriz de Polipropileno possibilitou aumento no módulo de elasticidade à tração de 4,0% para o compósito com 10,0 %wt e de 11% para o de 20%wt. No ensaio de flexão, a carga possibilitou aumento do módulo de elasticidade em 6,4% para compósito com 10%wt e em 8,8% para o de 20%wt em relação ao polipropileno puro. Para a análise termogravimétrica, foram obtidos os patamares de temperaturas de degradação dos resíduos lignocelulósicos, sendo: a degradação da hemicelulose entre 210,80 e 255,32 °C, a da celulose entre 255,32 e 328,31 e, por fim, a da lignina entre 328,31 e 495,82 °C. Para os ensaios de densidade, observou-se que os compósitos possuem valores de densidades próximos ao polipropileno puro, permitindo a aplicação destes em estruturas leves.

Palavras-chave: Compósitos, polipropileno, endocarpo do coco, particulado.

## ABSTRACT

The use of natural residues as a reinforcement in the production of plastic composites has enabled the improvement of its mechanical structure and saved the utilization of synthetic reinforcement that has manufacturing processes and recycling harmful to human health. In this study were fabricated polypropylene composites with 10 and 20 %wt of coconut (*Cocos Nucífera* Linn) shell load. To the optimization of the interfacial bond between particulate and polymer matrix were utilized a granulometric range of 0,5 a 0,263 mm and fabricated using temperature maximum of 200 °C, above the glass transition temperature of lignocellulosic residue, by extrusion and injection moulding. The properties of particulate, composites and polymers were investigated by density, tensile and flexural testing, thermogravimetry and Scanning electron microscope. The polymer had its ductility and mechanical resistance decreased with particulate addition, thus, its modulus of elasticity increased 4,0% to 10%wt and 11,0% to 20%wt in relation to polypropylene. The flexural modulus of elasticity increased 6,4% to 10%wt and 8,8 to 20%wt in relation to polypropylene. The thermogravimetry demonstrated the degradation temperatures of lignocellulosic residues (hemicellulose between 210,80 and 255,32 °C, cellulose between 255,32 and 328,31, lignin between 328,31 e 495,82 °C. For density testing, it was observed that the composites have a density values close to polypropylene, allowing the application in lightweight structures.

Keywords: Composites, polypropylene, coconut shell, particulate.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, os polímeros substituíram uma significativa quantidade de materiais metálicos utilizados em aplicações mecânicas. Assim, os polímeros tiveram grande aceitação no mercado devido as suas diversas vantagens, dentre elas: a redução de custos na produção e a facilidade de processamento para obter itens com geometrias complexas (ANTUNES, 2012).

Em muitas aplicações, a adição de agentes de reforço naturais possibilitou a melhoria das propriedades mecânicas dos polímeros, por exemplo, o módulo de elasticidade e a resistência ao impacto e à flexão (FARUK, 2012).

Os agentes de reforços utilizados nos compósitos podem ser classificados como naturais ou sintéticos, sendo esses últimos, os agentes artificiais, como o de vidro e o de carbono, utilizados no fortalecimento dos plásticos e responsáveis por garantirem excelentes propriedades térmicas e mecânicas. Porém, eles impõem sérios problemas ao meio ambiente, sobretudo, por não serem biodegradáveis e não existirem métodos adequados para a sua eliminação.

Com a visão ecológica do século XXI, a utilização de cargas naturais em polímeros na formação de compósitos, tem chamado a atenção de vários cientistas, pelo fato de serem biodegradáveis, não abrasivas, possuírem baixo custo e baixa densidade (SOUSA, 2005).

No entanto, alguns inconvenientes reduzem o potencial da utilização das cargas naturais nos polímeros, tais como: a incompatibilidade com a matriz polimérica; a baixa resistência à absorção de água; e a degradação durante a fabricação do compósito (VERMA, 2012).

Através desses problemas citados e da necessidade da criação de novos compósitos naturais, diversos trabalhos científicos têm sido elaborados, com o intuito de avaliar o comportamento dos diferentes tipos de cargas naturais em matriz polimérica.

O coqueiro (*Cocos nucifera Linn*) é uma das frutíferas mais difundidas, ocorrendo em praticamente todos os continentes (MARTINS, 2011). Em virtude desta dispersão e adaptabilidade, seu cultivo e sua utilização se dão de forma

expressiva em todo o mundo, com os mais variados produtos, tanto de forma in natura quanto industrializada.

O endocarpo do coco contribuí com a menor proporção de massa do fruto descascado, constituído cerca de 19% deste, ou seja, cerca de 150g de endocarpo para massa de 890g do coco sem a casca externa ou mesocarpo (SILVA, 2008). De acordo com Cambuim (2009), o endocarpo do coco é composto por um material lignocelulósico (hemicelulose, celulose e lignina) e o teor de lignina é responsável pela elevada dureza e durabilidade do material. O endocarpo do coco da baía possui cerca de 50% de lignina, apresentando elevada resistência e dureza (CAMBUIM, 2009).

Com isso, a aplicação dos resíduos lignocelulósicos, como o endocarpo do coco nos materiais poliméricos, tem melhorado o comportamento mecânico desses materiais. O aumento do módulo de elasticidade do compósito é dado com o aumento da quantidade de particulado lignocelulósico na matriz (SARKI ET AL., 2010). Outro fator para otimização do comportamento do compósito é a adesão da matriz com o particulado natural. Assim, a lignina presente no endocarpo do coco tem sido a principal responsável pela adesão entre a matriz e a carga.

Nessa problemática, devido aos altos valores e a escassez das matérias-primas das cargas sintéticas, estudos com o Endocarpo do Coco provenientes dos resíduos industriais vêm sendo realizados, principalmente, pelos países orientais. Assim, os resultados obtidos comprovam que o endocarpo desse sólido lignocelulósico tem grande versatilidade na manufatura de produtos industriais.

Importa destacar também que, consoante uma pesquisa realizada, o Brasil é o quarto maior produtor de coco do mundo, logo atrás da Indonésia, Filipinas e Índia (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA, 2014). E nesse cenário, a região do Nordeste abrange o maior percentual da produção de coco do Brasil. Nesse aspecto, após a comercialização da água do coco, uma pequena parcela do coco seco é utilizada no artesanato e em forma de carvão, estando muitos cocos abandonados em fazendas pela falta de incentivo do governo. Então, esse trabalho além de avaliar a melhoria das propriedades do Polipropileno,



objetiva também uma contribuição para a utilização dessa matéria prima, a qual, muitas vezes, é desperdiçada como se fosse lixo.

Com isso, neste trabalho foram desenvolvidas as etapas de coleta, lavagem e secagem do *Cocos Nucífera Linn* e, em seguida, a sua trituração para obter a carga particulada. Posteriormente, foi descrito como essas partículas foram peneiradas, em um processo responsável por selecionar diferentes faixas granulométricas.

Logo após, foi realizada a fabricação da estrutura de polipropileno puro e do compósito formado por polipropileno e particulado do endocarpo do coco. Na sequência, esses materiais foram processados por extrusão, que consiste em moldagem de um termoplástico viscoso através de uma matriz com extremidade aberta. E, após a extrusão, os corpos de prova foram confeccionados pelo processo de injeção.

Após todos esses procedimentos acima, o compósito e o polipropileno puro foram submetidos aos ensaios de tração, densidade e flexão, e microscopia eletrônica de varredura no intuito de avaliar e comparar as propriedades físicas e mecânicas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

- Fabricar um compósito polimérico à base de resina de polipropileno e o particulado do endocarpo do coco, como carga, e avaliar o seu comportamento físico e mecânico.

### 1.1.2 Específicos

- Fabricação de um compósito polimérico por meio da técnica de injeção e extrusão;
- Analisar o comportamento físico, quanto à densidade do compósito fabricado;
- Caracterizar o comportamento mecânico do compósito particulado por meio do ensaio de tração;
- Caracterizar o comportamento mecânico do compósito particulado por meio do ensaio de flexão;
- Analisar a estrutura do particulado do endocarpo do coco e as regiões fraturadas dos corpos de prova por meio da microscopia eletrônica de varredura;
- Analisar a faixa granulométrica e a proporção do particulado do endocarpo do coco definidas no projeto.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada a revisão bibliográfica referente ao estudo do *Cocos Nucífera Linn*, enfatizando as suas características e o seu cultivo, dos compósitos poliméricos reforçados com cargas particuladas e, por fim, os processos de fabricação por extrusão e injeção.

### 2.1 O COQUEIRO

O coqueiro (*Cocos Nucifera Linn*) é uma das frutíferas mais difundidas no globo terrestre, ocorrendo em praticamente todos os continentes (MARTINS; JÚNIOR, 2011). Em virtude desta dispersão e adaptabilidade, seu cultivo e sua utilização se dão de forma expressiva em todo o mundo, com os mais variados produtos, tanto de forma in natura quanto industrializada.

É praticamente certo que o coco (*Cocos nucifera L.*), membro da família Arecaceae (família das palmeiras) e única espécie classificada no gênero *Cocos* conforme Figura 2.1, seja natural da Malásia tropical e subespontânea no sudeste da Ásia.

Figura 2.1. Classificação botânica, origem e distribuição do coqueiro

<b>Classificação botânica, Origem e Distribuição</b>	
<b>Divisão</b>	<b>Espermatófita</b>
<b>Classe</b>	<b>Angiosperma</b>
<b>Sub-classe</b>	<b>Monocotiledônia</b>
Ordem	Principes ( = Arecales )
Família	Palmae ( = Arecaceae )
Tribo	Cocoidae
Gênero	Cocos
Espécie	Cocos Nucifera
Nome Vulgar	Coqueiro, Coco-da-baía

Fonte: Siqueira, Aragão e Tupinambá (2002).

Apesar de alguns acreditarem que é originário simultaneamente de dois continentes (Ásia e América), não existe provas suficientes para embasar a hipótese (SILVA, 2005). O autor informa ainda que, a chegada do coco ao

Brasil deu-se a partir do primeiro contato dos portugueses com o coco da Índia, durante a primeira viagem de Vasco da Gama.

Existem referências, por volta de 1945, que o coco, conhecido como noz da Índia, já havia aportado na ilha de Santiago em Cabo Verde. Nessa época, os portugueses teriam aprendido com os orientais a usar o coco para transportar alimento fresco e água nas embarcações, conservando-os por longo período de tempo. Descoberto o recurso, passaram a fazer pequenas plantações em lugares estratégicos, de tal forma a facilitar provisões futuras. Assim, o coco veio parar na África ocidental e no Brasil. O coco foi introduzido no Brasil através do estado da Bahia, denominando-se assim coco-da-baía, sendo disseminado pelo litoral nordestino.

A espécie *Cocos Nucifera Linn* é constituída de três grupos: Gigantes, Anões e Híbridos (Tabela 2.1), com cada grupo contendo um grande número de variedades (SILVA, 2002). As variedades são geralmente nomeadas de acordo com a sua suposta localidade.

Tabela 2.1. Características de cultivares do coqueiro.

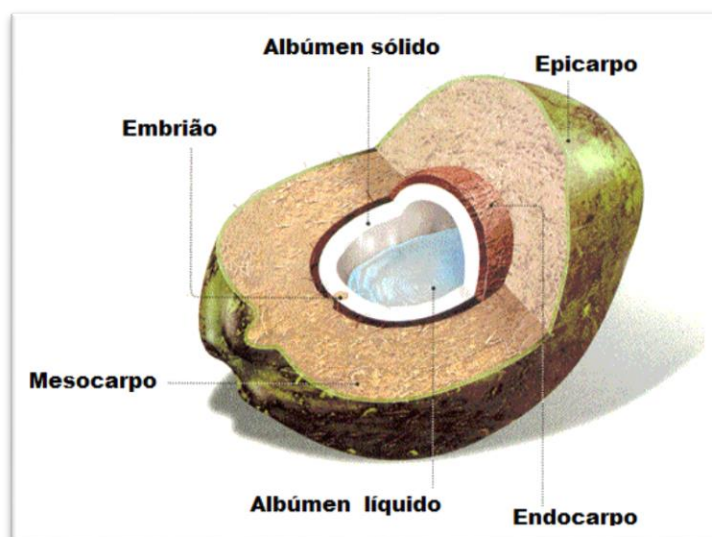
CARACTERÍSTICA	ANÃO	HÍBRIDO	GIGANTE
<b>Início da Floração (anos)</b>	2 a 3 (Precoce)	3 a 4 (Intermediário)	5 a 7 (Tardio)
<b>Vida Útil (anos)</b>	30 a 40	50 a 60	60 a 80
<b>Tamanho do Fruto</b>	Pequeno	Intermediário/Grande	Grande
<b>Crescimento</b>	Lento	Intermediário	Rápido
<b>Porte (Altura)</b>	8 a 10 m	20 m	35 m
<b>Produção (Frutos/ano)</b>	130 a 150	120 a 150	60 a 80
<b>Peso do Fruto</b>	900g	1200g	1400g
<b>Peso de Noz</b>	550g	800g	700g
<b>Peso do Albúmen</b>	250g	400g	350g
<b>Exigência Edafoclimática</b>	Muito Exigente	Exigente	Rústico
<b>Destino da Produção</b>	Água	Agroindústria/Culinária/ Água	Agroindústria/ Culinária

Fonte: Silva (2002).

### 2.1.1 O fruto

O fruto é uma drupa de forma ovóide (Figura 2.2), arredondado, de coloração esverdeada a amarela ou vermelha enquanto imaturo, e de coloração acinzentada ou castanho quando maduro, de casca lisa, com cerca de 25 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro formado por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso, ficando mais para o interior um camada muito dura, o endocarpo (SODRÉ, 2005). A semente é constituída de uma camada fina de cor marrom, o tegumento, que fica entre o endocarpo e o albúmen sólido (carne) onde fica o embrião; a cavidade interna é preenchida pelo albúmen líquido (água de coco) (PASSOS, 1998).

Figura 2.2. Representação da estrutura do fruto do coqueiro (coco).



Fonte: Costa (2012).

O desenvolvimento do fruto necessita de 12 meses, desde a diferenciação floral até a maturação completa (SILVA, 2008). Os componentes de formação do coco são: 35% de casca, 28% de amêndoa, 25% de água e 12% do endocarpo.

Segundo estudo realizado por Fontenele (2005), o coco pode ser utilizado em diversas atividades econômicas que vão desde a produção agrícola, até sua distribuição nos mercados interno e externo, passando pelas etapas de processamento, embalagem/envasamento, transporte e

armazenamento. “Pela magnitude dos produtos obtidos das diversas partes do coco, pode-se afirmar que do fruto tudo se aproveita” (FONTENELE, 2005).

#### a) Aproveitamento do coco seco

- Endosperma ou albumén sólido: coco ralado e leite de coco (uso na culinária de doces e salgados); bebidas (piña colada); margarinas; ração animal; óleos; álcool graxo; ácido graxo; glicerina; solventes.
- Endocarpo (parte rígida da noz): combustível lenhoso (apresenta índice calorífico 1,5 vezes superior ao da lenha); transformado em carvão ativado (filtro de usinas nucleares); triturado em forma de pó para utilização na fabricação de pastilhas de freios; material impermeabilizante de chapas de madeira compensada; artesanato.
- Mesocarpo fibroso (casca fibrosa): fibras longas utilizadas na fabricação de mantas, tapetes, fibra para colchões, cordoaria, peças de carros, barreira sonora, contenção de encostas, vasos, enchimento para bancos automotivos, entre outros; o pó da casca de coco, material residual, obtido através do processamento da casca de coco maduro para a obtenção da fibra longa, é utilizado como substrato na agricultura intensivo-orgânica, face às seguintes vantagens: economia de água, pela sua elevada capacidade de retenção de umidade (94%); aumento nos índices de produtividade da horticultura e floricultura face seu efeito fertilizante (rico em potássio e nitrogênio); expansão de cinco vezes o seu volume, a menos de 20% de umidade; alternativa para substituição da turfa.

#### b) Aproveitamento do coco verde

- Endosperma ou albumén líquido ou água-de-coco: bebida isotônica natural; reidratante; diurética; anti-helmítica e tenicida; empregada em tratamentos de emergência como plasma

sanguíneo; meio de cultura natural; conservante de sêmen animal.

- Mesocarpo fibroso: o pó da casca de coco verde, obtido através do processamento que envolve etapas de dilaceração, moagem, lavagem e secagem, pode ser utilizado como substrato agrícola, a exemplo do que ocorre com a casca de coco maduro; confecção de vasos e placas utilizadas em jardinagem, em substituição aos mesmos produtos obtidos a partir do xaxim, planta em risco de extinção.

### 2.1.2 Endocarpo

O endocarpo, conhecido como “quenga de coco”, corresponde à epiderme interna do pericarpo, na qual foi criada durante a transformação da parede do ovário no fruto, com espessura variável de três a seis milímetros (AGUIAR, 2013).

Em sua estrutura, o endocarpo apresenta-se de forma lenhosa, dura, resistente e com coloração escura quando está maduro, porém antes de amadurecer ele é quebradiço e mole, ou seja, com baixa resistência (BENASSI et al., 2007).

O endocarpo se forma já na primeira fase de germinação do fruto, porém para que este germine é necessária pequena quantidade de água de coco tendo em vista que o coco seco não germina (FERREIRA NETO, 2005).

A primeira fase consiste de 4 a 5 meses, período no qual ocorre o desenvolvimento da amêndoa, da casca, casquilho e a água de coco que preenche totalmente o seu interior. Na segunda fase, que leva de 6 a 8 meses, a casca e o endocarpo endurecem e engrossam. Na terceira fase há o desenvolvimento e amadurecimento do endosperma (SILVA, 2008).

Quando o fruto alcança cinco meses, aproximadamente, seu tamanho atinge o máximo e a amêndoa (endosperma sólido) começa a se formar. Com sete meses, o endocarpo amadurece e, quando atinge 10 meses, a amêndoa está completamente formada. Finalmente, em 12 meses, o endocarpo está completamente maduro (SILVA, 2008).

O endocarpo contribuí com a menor proporção de massa do fruto descascado, constituído cerca de 19% deste, ou seja, cerca de 150g de endocarpo para massa de 890g do coco sem a casca externa ou mesocarpo. (SILVA, 2008).

De acordo com Cambuim (2009), o endocarpo do coco é composto por um material lignocelulósico (hemicelulose, celulose e lignina) e o teor de lignina é responsável pela elevada dureza e durabilidade do material.

O endocarpo do coco da baía possui cerca de 50% de lignina, superior a madeira que possui cerca de 30%, apresentando elevada resistência e dureza (CAMBUIM, 2009).

### 2.1.3 O cultivo do coqueiro

O cultivo mundial do coqueiro registrou um alto acréscimo na produção no período de 1998 a 2008. De acordo com a FAO (2014), em 1998, a produção mundial foi ao redor de 49 milhões de toneladas, já em 2008 foi registrada uma produção de aproximadamente 60,7 milhões de toneladas, representando um incremento de produtividade em termos globais.

Cerca de 80% da área plantada com coqueiro situa-se na Ásia (Índia, Filipinas, Indonésia, Sri Lanka e Tailândia) e o restante distribuída entre África, América Latina, Oceania e Caribe (FONTES; WANDERLEY, 2006). A Indonésia é destacada como o maior produtor mundial de coco, seguido por Filipinas e Índia, entretanto, em área colhida, a Filipinas destaca-se com uma maior área cultivada (Tabela 2.2).



Tabela 2.2. Produção e área colhida dos principais países produtores de coco, em 2012.

País	Área colhida (ha)	Produção (1.000 t)	Produtividade (1.000 t/ha)
Indonésia	3.000.000	18.000.000	6,00
Filipinas	3.573.806	15.862.386	4,44
Índia	2.132.240	10.560.000	4,95
Brasil	257.742	2.888.532	11,21
Sri Lanka	394.840	2.000.000	5,07
Vietnã	145.000	1.250.000	8,62
Tailândia	217.000	1.100.000	5,07
México	166.000	1.050.000	6,33
Papua Nova Guiné	223.000	900.000	4,04
Malásia	112.093	606.530	5,41
Outros	1.892.920	5.831.389	3,08
Mundo	12.114.141.37	60.048.837.15	4,96

Fonte: FAO (2014).

Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor mundial com uma produção aproximada de 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 257 mil ha de coqueiros. Esta condição de destaque do Brasil no cenário mundial de produção de coco se sobressai ainda mais quando se compara aos países da América do Sul, região na qual a produção brasileira é responsável por mais de 80%.

No Brasil, as maiores plantações de coco estão concentradas na faixa litorânea do Nordeste e da região Norte do Brasil. Essas regiões citadas detêm cerca de 70% da produção dos cocos brasileiros (Tabela 2.3), devido às favoráveis condições climáticas para o plantio.

Tabela 2.3. Área plantada com coqueiro coco nas regiões do Brasil, em 2012.

Regiões do Brasil	Área Plantada (ha)
Nordeste	208.977
Norte	27.314
Sudeste	20.471
Centro-Oeste	2.752
Sul	223

Fonte: FAO (2014).

Com o maior consumo da água de coco, o cenário de sua cultura no Brasil sofreu uma grande mudança, com a implantação de grandes projetos em perímetros irrigados, utilizando a variedade de coqueiro anão verde, cujos frutos são colhidos entre cinco a sete meses de idade (FONTES; WANDERLEY, 2006). Esses projetos foram implantados nos Estados da região Sudeste (destaque para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo) e do Centro-Oeste, dando a essas regiões a vantagem de ser abastecida por essas plantações e obter um menor valor do frete.

Esse fato acabou desacelerando o rendimento da produtividade das regiões nordeste, pois as mesmas possuem em sua maioria o coco gigante, que quando comparado com o coco anão possui menor quantidade de água de coco. Além disso, constata-se que os coqueirais encontram-se em sua maioria abandonados, com produtores desestimulados, em função não somente dos baixos preços do coco seco, como também, da falta de políticas governamentais de incentivo ao cultivo.

Embora a expansão da cultura do coco no Brasil venha surpreendendo com os plantios em regiões não tradicionais, como semi-árido nordestino, Centro-Oeste e até o norte do Paraná, observa-se o seu predomínio na região litorânea nordestina. Dentre os dez maiores estados produtores de coco do

Brasil, sete são da região Nordeste. A liderança da produção é da Bahia, seguida de Ceará e Sergipe (Tabela 2.4), que juntos respondem por mais de 50% da produção nacional de coco (MARTINS; JÚNIOR, 2011).

Tabela 2.4. Produção de coco, área plantada e produtividade do coqueiro dos principais estados produtores, em 2012.

Estado	Produção (mil frutos)	Área plantada (ha)	Produtividade (mil frutos/ha)
Bahia	553.759	75.827	7,30
Ceará	272.060	45.202	6,01
Sergipe	242.852	39.486	6,15
Pará	231.400	23.584	9,81
Espírito Santo	173.716	10.941	15,87
Pernambuco	106.625	8.264	12,90
Rio de Janeiro	70.013	4.546	15,40
Rio Grande do Norte	62.293	20.384	3,05
Paraíba	57.456	9.817	5,85
Alagoas	29.287	6.218	4,71

Fonte: FAO (2014).

Embora ocupe tão somente a oitava posição no mercado nacional de coco, com uma produção estimada em 62.293 mil frutos numa área de 20.384 hectares em 2012, o Rio Grande do Norte ainda visualiza oportunidades consideráveis nesse mercado, dado às grandes oportunidades de geração de emprego e renda advindos da produção dos mais variados subprodutos desse fruto.

## 2.2 COMPÓSITOS

Felipe (2008) afirma que são várias as definições atribuídas aos materiais compostos, também conhecidos como compósito. De uma forma geral pode-se definir materiais compósitos como um termo genérico e amplo, que traduz a combinação de elementos com características isoladamente diferentes, a fim de obter um produto final com propriedades mecânicas não encontradas nos materiais metálicos, cerâmicos e plásticos.

No entanto, ao profissional da área compete a criação um novo material, enfatizando determinadas características desejáveis, enquanto minimiza outras indesejáveis, por meio de combinação de componentes. Desta forma, uma gama de aspectos de comportamento do material pode ser manipulada no projeto em questão, como (FELIPE, 2008):

- Resistência estática e à fadiga;
- Rigidez;
- Resistência a corrosão;
- Resistência a abrasão;
- Redução do peso;
- Capacidade de trabalhar a alta e baixa temperatura;
- Isolamento ou condutividade térmica, elétrica ou acústica;
- Dureza, ductilidade;
- Aparência estética.

Estes materiais são produzidos da mistura física de uma fase dispersa conhecida como carga, que pode ser na forma partículas, fibras ou mantas em uma fase continua denominada matriz (SANTOS, 2006).

Conforme Santos (2006), durante os últimos 20 anos, um substancial desenvolvimento de compósitos para aplicações estruturais foi observado. A principal motivação dessa grande evolução foi a possibilidade de se produzir compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades que, potencialmente, poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira.

A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de alto módulo elástico e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas (por unidade de peso) superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam, em geral, altas razões módulo/peso e resistência/peso superiores à de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos (REZENDE e BOTELHO, 2000).

A partir da década de 60, os materiais compósitos de alto desempenho foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeroespacial. O desenvolvimento de fibras de carbono, boro, quartzo ofereceram ao projetista a oportunidade de flexibilizar os projetos estruturais, atendendo as necessidades de desempenho em vôo de aeronaves e veículos de reentrada na atmosfera. O crescente uso de polímeros reforçados com fibras de carbono no setor aeronáutico deve-se, principalmente, ao constante desafio que esta indústria possui na obtenção de componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específica entre os materiais disponíveis.

A máxima eficiência do reforço mecânico, atingida por um compósito é a combinação apropriada da matriz, do reforço e da interface. As propriedades finais do material dependerão das propriedades e características individuais dos componentes, da concentração relativa dos componentes, da eficiência do processo de conformação e da região interfacial (LOPES, 2003).

As propriedades mecânicas dos compósitos são afetadas por duas fases, geralmente a fase de carga é mais rígida e mais dura que a da matriz. Em relação ao peso, os compósitos revelam propriedades mecânicas que podem exceder consideravelmente às dos metais. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural tornam os compósitos interessantes materiais de aplicação em engenharia (MANO, 1991).

## 2.2.1 Matrizes poliméricas

De acordo com Leão (2012), o material compósito de matriz polimérica é composto, basicamente, por uma resina e uma carga. Existem dois tipos de resinas poliméricas que são classificadas como termorrígidos (conhecidos também como termofixos ou termoestáveis) e termoplásticos.

A principal diferença entre ambos está no comportamento quando são aquecidos, ou seja, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados diversas vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação de temperatura e depois se solidificarem quando há uma diminuição de temperatura. Quando se trata dos termorrígidos, estes não são capazes de se tornarem fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias (SANTOS, 2006). A Tabela 2.5 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Tabela 2.5. Comparação das propriedades entre termorrígidos e termoplásticos.

<b>Termoplásticos</b>	<b>Termorrígidos</b>
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: Santos (2006).

As resinas termoplásticas são longas moléculas com comprimento da ordem de 20 a 30 nm (SANTOS, 2006) e fluem facilmente sob carregamento, permitindo assim que sejam fabricadas na forma solicitada e mantendo a forma quando resfriada à temperatura ambiente. Esses polímeros podem ser repetidamente aquecidos, fabricados e resfriados e, conseqüentemente, serem reciclados.

Segundo Santos (2006), a combinação de baixa densidade, resistência química, baixo custo e um balanço entre rigidez e tenacidade permitem que os termoplásticos ocupem espaço de outros materiais em muitas aplicações importantes.

As mais atrativas características oferecidas pelos compósitos termoplásticos são o potencial de produção a baixo custo, alta tenacidade à

fratura, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de microtrincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria-prima (FERREIRA, 1999).

A aplicação de compósitos de matrizes termoplásticas no setor aeroespacial apresenta uma grande vantagem em relação aos termorrígidos, no quesito de segurança estrutural ao longo da vida útil da aeronave, por apresentarem maior resistência à fratura, propiciando também à preservação da integridade estrutural após uma ocorrência de impacto, diminuindo a probabilidade de uma falha catastrófica (Santana, 2010).

De acordo com Santana (2010), para as indústrias é uma grande vantagem, a maior facilidade de reprocessamento dos compósitos termoplásticos, diminuindo assim os custos despendidos com peças refugadas. Os polímeros termorrígidos não permitem a reversão do processo de cura durante ou após a cura, devido à irreversibilidade de suas ligações intramoleculares cruzadas. Para diminuir a velocidade de formação das ligações cruzadas, as matrizes e pré-impregnados termorrígidos devem ser acondicionados em câmaras refrigeradas.

As resinas termoplásticas também podem ser classificadas da seguinte forma segundo Santos (2006):

- Termoplásticos de uso geral: Este grupo cobre a maioria dos plásticos utilizados atualmente, entre eles estão o Polietileno, Polipropileno e Poliestireno. São materiais de baixo custo. As propriedades modestas deste grupo podem ser melhoradas (por exemplo, pela adição de cargas), tornando-os mais competitivos com outras classes de termoplásticos;
- Termoplásticos de engenharia: Oferecem uma combinação de propriedades de interesse, como alta resistência e módulo, tenacidade e/ou resistência ao desgaste, ao ataque químico e ao calor. São bastante empregados em substituição a peças metálicas, sendo os mais importantes desta categoria as poliamidas, poliacetais, policarbonatos, poliésteres termoplásticos e poli(óxido de fenileno) modificado;

- Termoplásticos elastômeros: Grupo relativamente novo de materiais que exibe propriedades combinadas entre as normalmente associadas com elastômeros tradicionais e a facilidade e rapidez de processamento de termoplásticos, podendo, inclusive, ser reprocessado. São baseados em polímeros especificamente fabricados (por exemplo, estireno-butadieno-estireno – SBS ou poliéter-éster-elastômero – PEEL) ou baseados em blendas de elastômeros e plásticos;
- Blendas ou misturas: Normalmente utilizadas para gerar materiais incomuns, estendendo ao comportamento de plásticos existentes, com mais agilidade, versatilidade e por um custo menor que o associado ao desenvolvimento de novos materiais.

Embora a classificação acima seja utilizada, não é muito fácil distinguir os plásticos e, devido às mudanças químicas em sua estrutura ou à adição de cargas e reforços, um mesmo polímero pode ocupar mais de uma categoria ou competir com polímeros de outras categorias. O PP, por exemplo, pode ser enquadrado como termoplástico de uso geral ou de engenharia dependendo da aplicação final e utilização ou não de reforço.

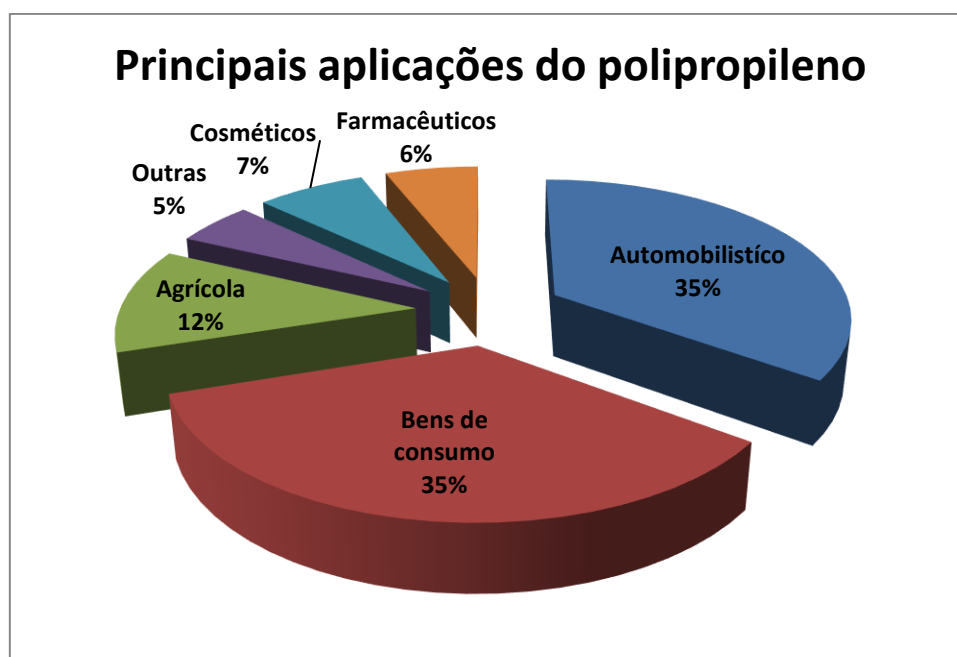


### 2.2.1.1 Polipropileno

O polipropileno (PP) foi desenvolvido por Guilio Natta em 1954 e é amplamente utilizado nas indústrias automobilísticas, de eletrodomésticos e em produtos de consumo, tais como embalagens, produtos médicos, entre outros (ALFREDO; SILVA, 2010).

Conforme Montenegro et al. (2000), a resina de PP é convertida para os produtos finais, basicamente, por moldagem, injeção, sopro e também pelo processo de extrusão. A Figura 2.3 ilustra a variedade de aplicações do polipropileno.

Figura 2.3. Principais aplicações do polipropileno.



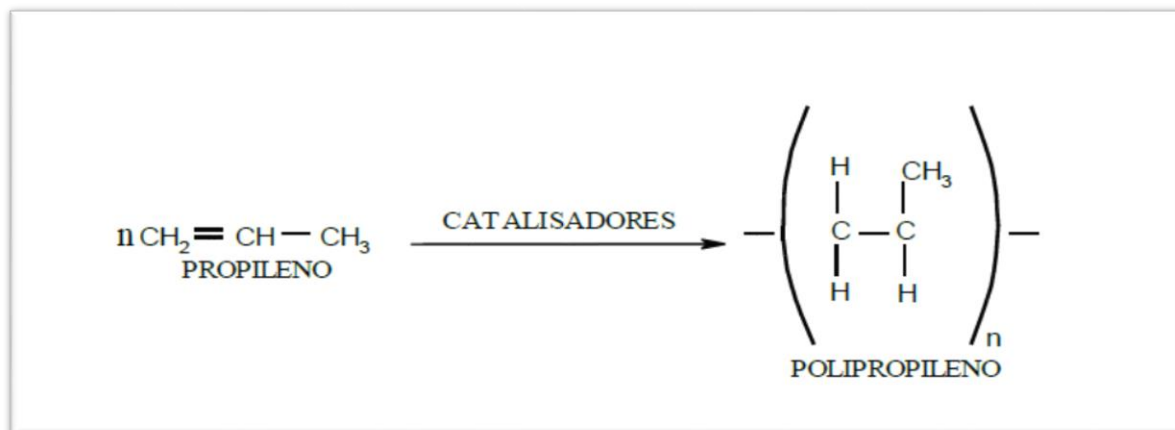
Fonte: Moraes (2013).

De acordo com Antunes (2012), características como adequadas combinações de propriedades físicas, mecânicas, térmicas, químicas e elétricas associadas à facilidade no processamento, conferem ao polipropileno a posição no mercado de uma das resinas mais importantes encontradas no mercado atual, que vem substituindo diversos materiais.

O polipropileno é um termoplástico que é originado pela polimerização do gás propeno ou propileno ( $C_3H_6$ ), Fig. 2.4, semicristalino, obtido por um

processo de reação de poliadição e a sua massa molar geralmente está entre 80.000 e 500.000 g/mol (LUZ, 2008).

Figura 2.4. Reação geral de polimerização do gás propeno ou propileno.



Fonte: Leão (2012).

Segundo Santos (2006), a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão do polipropileno estão em torno de  $-18^{\circ}\text{C}$  e  $165^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Como é um polímero com alta cristalinidade, em torno de 60 a 70%, a sua resistência mecânica e a sua dureza são relativamente boas. A tabela 2.6 ilustra a faixa de valores das propriedades mecânicas do polipropileno.

Tabela 2.6. Faixa de valores das propriedades mecânicas do polipropileno.

<b>Propriedades mecânicas do Polipropileno</b>	
<b>Módulo de elasticidade</b>	1.14 – 1.55 GPa
<b>Resistência à tração</b>	31.0 – 41.4 MPa
<b>Tensão de escoamento</b>	31.0 – 37.2 MPa

Fonte: Santos (2006).

Harada (2004) afirma que o PP apresenta resistência excepcional às rupturas por flexão e fadiga, resistência química e ótimas propriedades elétricas. Isso o torna indicado para tanques de produtos químicos; conexões e válvulas; aparelhos ortopédicos e brinquedos.

Dependendo da posição do grupo metila na cadeia polimérica do polipropileno, determina-se uma taticidade como isotático, sindiotático ou atático. A forma mais regular é a do polipropileno isotático, onde os grupos metila estão dispostos em apenas um lado em relação ao plano que contém a cadeia principal do polímero. No sindiotático os grupos metila estão posicionados alternadamente de um lado e do outro em relação ao plano que contém a cadeia principal. Já no polipropileno atático os grupos metilas estão dispostos aleatoriamente em relação ao plano de cadeia principal (BRYDSON, 1982).

Por meio da extrapolação do comportamento do polímero cristalizado isotermicamente, o ponto de fusão termodinâmico do polipropileno cristalino puro é de 187,7°C, sendo que esta temperatura é cerca de 23°C a 28°C maior que as temperaturas de amostras comerciais, sob condições normais de análise (MORAES, 2013).

Devido a diferentes técnicas de medidas, a influência da taticidade e da massa molar, os valores de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) variam. Os valores de  $T_g$  do polipropileno isotático variam entre -13°C e 0°C, já que o polipropileno atático entre -18°C e -5°C (MORAES, 2013).

O polipropileno é visto hoje como um conjunto de três tipos: homopolímero, copolímero alternado e o copolímero estatístico (ou randômico) (MARTINS, 1994). Na Tabela 2.7 estão as aplicações específicas de cada um e a comparação das propriedades básicas. Os três polímeros podem ser modificados e adaptados às utilizações específicas através das técnicas de formulação.

Tabela 2.7. Aplicações e comparação das propriedades básicas de diversos tipos de polipropileno.

Família de produtos	Propriedades básicas			Aplicações
	Rigidez	Resistência a choques / baixa temperatura	Transparência	
<b>Homopolímero</b>	+++	+	++	Fibras
<b>Copolímero Estatístico</b>	+	++	+++	Embalagens
<b>Copolímero Alternado</b>	++	+++	+	Automóveis

Fonte: Martins (1994).

O copolímero estatístico de polipropileno se obtém através da adição de eteno ao propeno. O produto é um pouco mais resistente ao impacto do que o homopolímero, mas há uma melhoria acentuada de transparência (MONTENEGRO et al., 2000).

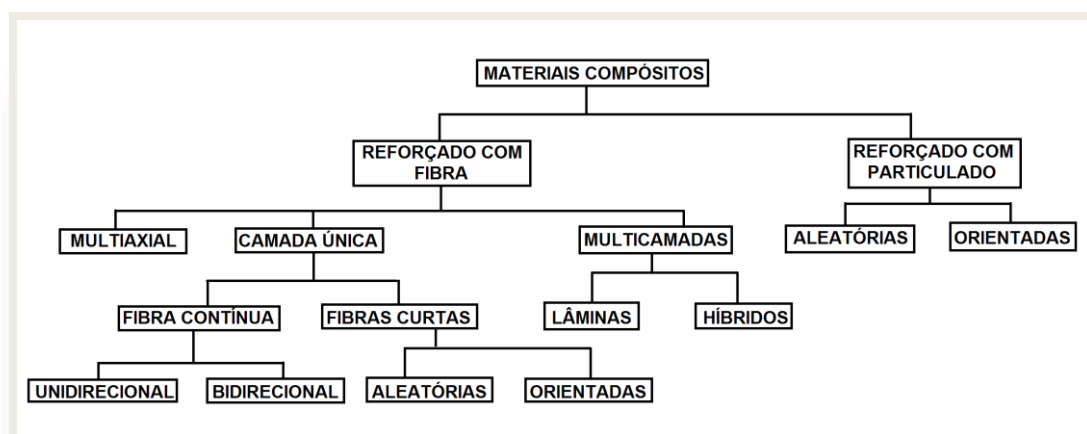
O copolímero alternado é fabricado em duas etapas na polimerização. O homopolímero, produzido na primeira etapa, é em seguida copolimerizado com o eteno. A proporção do eteno é bem mais elevada do que na produção do copolímero estatístico. A parte copolimerizada se torna emborrachada, o que permite melhorar a absorção da energia no impacto (MONTENEGRO et al., 2000).

## 2.2.2 Agentes de reforço

Os agentes de reforço são adicionados aos materiais, a fim de conferir um maior desempenho das propriedades mecânicas tais como: resistência a tração, resistência à flexão e módulos de elasticidade (ANTUNES, 2012).

Verma (2012) classifica os materiais compósitos de acordo com os agentes de reforço, conforme a Figura 2.5.

Figura 2.5. Classificação dos compósitos.



Fonte: Verma (2012).

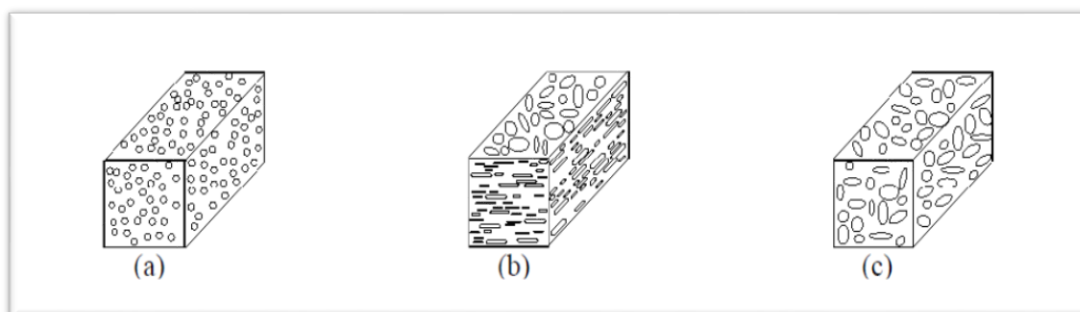
Segundo Verma (2012) existem dois tipos de agentes de reforço, as fibras e as cargas particuladas; além disso, para os materiais reforçados com

fibras existem as seguintes subdivisões: multiaxial com as fibras aplicadas em diversas direções na matriz ou então em camadas, podendo ser única ou em multicamadas. Para compósitos reforçados com particulado, a classificação está de acordo com a sua orientação na matriz, sendo aleatórias e orientadas.

Dentre as possíveis geometrias dos agentes de reforço, as fibras tem se destacado, possuindo variação no seu diâmetro entre 7 a 100  $\mu\text{m}$ . Elas podem ser contínuas ou picotadas apresentando-se com comprimentos variando entre 3 e 50 mm. Portanto, as propriedades de um compósito reforçado com fibras curtas dependem da relação entre comprimento e largura das fibras (CRAWFORD, 1998).

Candian (2007) classifica os agentes de reforços em cargas particuladas e fibras, sendo as cargas particuladas adicionadas à matriz polimérica, com a finalidade de alterar as propriedades físicas e mecânicas da matriz. Elas se diferem das fibras devido à condição geométrica, ou seja, pequena relação entre comprimento e diâmetro. Na Figura 2.6 ilustra-se a classificação em relação às formas das cargas, sendo: esféricas, laminares (*Flakes*) e *Fillers*.

Figura 2.6. Classificação das cargas quanto ao formato: (a) esférica, (b) *flake* e (c) *filler*.



Fonte: Candian (2007).

### 2.2.2.1 Cargas particuladas

Callister e Rethwisch (2012) classificam os compósitos com partículas em duas subclassificações chamadas de compósitos com partículas grandes e os compósitos com partículas por dispersão. A distinção entre eles está baseada no mecanismo de reforço ou de aumento de resistência. O termo

grande é usado para indicar que as interações partícula-matriz não podem ser tratadas ao nível atômico ou molecular. Para a maioria desses compósitos, a fase particulada é mais dura e mais rígida que a matriz. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração de carga. O grau de reforço ou de melhoria de comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula.

Para os compósitos reforçados por dispersão, as partículas são, em geral, muito menores, com diâmetros entre 10 nm e 100 nm. As interações partícula-matriz que levam ao aumento da resistência ocorrem no nível atômico ou molecular. Enquanto a matriz suporta a maior parte de uma carga aplicada, as pequenas partículas dispersas impedem ou dificultam o movimento das discordâncias. Dessa forma, a deformação plástica fica restrita de modo tal que os limites de escoamento e resistência à tração, assim como a dureza, são melhorados (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

Segundo Sousa (2005), o particulado era empregado com a principal função de redução de custo do produto final, já que diminuía a quantidade de polímero empregada. Porém, com o passar do tempo, outras funções foram atribuídas a esses materiais, como aumento de rigidez, de resistência à flexão, temperatura de distorção térmica, condutividade térmica e dureza, passando a ser denominadas de cargas reforçativas.

Outras propriedades podem ser alcançadas, dependendo do tipo de reforço particulado a ser empregado. As principais são: aumento da resistência à tração, à flexão, à abrasão, química e ao impacto, além de diminuir o encolhimento e o empenamento de peças moldadas.

Os compósitos particulados, formados por partículas dentro da matriz, podem ter as seguintes geometrias: esferoidal, cúbica, plaquetas, ou outros formatos similares (VERMA, 2012).

## 2.3 PROCESSAMENTO POR EXTRUSÃO

O processamento fundamental de extrusão foi desenvolvido para converter, continuamente, em objetos de forma definida, qualquer material termoplástico. A extrusão é um processo extremamente versátil e as formas que podemos produzir por intermédio dela incluem tubos, mangueiras, filmes, folhas, chapas, perfilados, cobertura de condutores e cabos elétricos, dentre outros (CORDEIRO, 2013).

A máquina de extrusão em si consiste fundamentalmente de um parafuso de Arquimedes, que gira dentro de um cilindro aquecido em relação ao qual mantém uma folga muito pequena. O matemático, físico e inventor grego Arquimedes foi quem criou esse tipo de rosca, que é utilizada até hoje para diversos fins, como nos moedores de carne, transformação de alimentos, nos transportadores e secadores (MANRICH, 2005).

Dentre todos os componentes de uma extrusora, a rosca é um dos mais importantes pelo fato de transportar, fundir ou amolecer, homogeneizar e plastificar o polímero. É devido ao movimento, e conseqüentemente cisalhamento sobre o material, que a rosca gera cerca de 80% de energia térmica e mecânica necessária para transformar os polímeros. Outra parte da energia térmica é obtida de aquecedores externos. A rosca deve ser projetada de tal maneira que a sua geometria promova máxima eficiência, vazão constante, plastificação e homogeneização adequada sem danos ao polímero, e, por fim, durabilidade (MANRICH, 2005).

Além das funções específicas, a rosca afeta as condições gerais de extrusão em conjunto com outros parâmetros (MANRICH, 2005), tais como:

- 1) Funil: adequado ou específico para alimentar tipos diferentes de matéria-prima, que podem estar nas formas de pó, grânulos, péletes, aparas ou uma combinação delas.
- 2) Canhão e rosca: que seja comprido o suficiente para gerar pressão, plastificação e transmissão de calor.
- 3) Restrição: após a rosca para gerar pressão. Essa restrição pode ser a própria matriz e/ou uma grelha com ou sem tela filtrante.

- 4) Parafuso (rosca): desenhado adequadamente para exercer a missão de comprimir, cisalhar e homogeneizar o polímero.
- 5) Resfriamento: na zona de alimentação para que não ocorra aderência da resina na superfície da rosca nesta zona, o que impediria o fluxo normal e causaria variação na vazão de extrusão.
- 6) Controle rígido do perfil de temperatura ao longo do canhão e matriz, e controle rígido da rotação da rosca para que o fluxo seja cadenciado, entrando em regime, e o material extrudado seja fabricado com dimensões constantes e propriedades mecânicas estabilizadas, entre outras qualidades.
- 7) Além das condições acima citadas, a extrusora deve permitir a variação de parâmetros para que o processo seja versátil e a função seja modificada, tais como:
  - Diâmetro e Comprimento e, conseqüentemente, a razão entre os dois. Ao se variar diâmetro, a vazão total do processo é alterada, como conseqüência da mudança da área disponível para aquecimento, tanto por transferência ou condução, como por atrito. Ao se variar o comprimento, o efeito é semelhante ao citado para a variação de diâmetro.
  - Passo do parafuso e Profundidade do canal afetam a taxa de cisalhamento, o calor gerado por atrito e a vazão volumétrica da extrusora, considerando rotação constante. Por outro lado, ao se variar a rotação da rosca, o bombeamento desta muda, bem como se altera o grau de mistura que sofre o polímero. A rotação afeta significativamente o cisalhamento e o calor gerado por atrito, atingindo o nível necessário de aquecimento por mantas elétricas externa.
  - Matriz e grelha (placa perfurada) proporcionam alteração na queda de pressão ao longo da rosca e cabeçote (cabeçote: é todo o conjunto que fica à frente da rosca). As condições adequadas de distribuição da pressão proporcionam boa mistura/plastificação do polímero que está sendo transportado, pelo fato de gerarem adequado cisalhamento, com perfis de velocidade balanceados. A presença da grelha elimina os

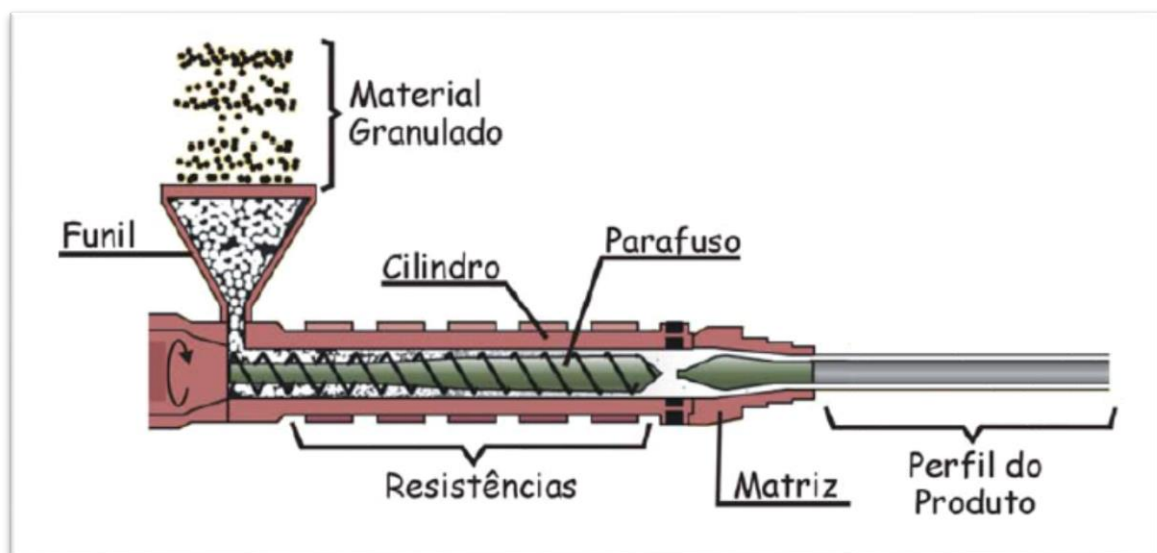


efeitos do cisalhamento adquirido dentro da rosca, sendo que este cisalhamento embute movimento espiralado à massa fundida. Perfis extrudados sem a presença de grelha podem apresentar distorção ou empenamento, que ocorre no mesmo sentido do movimento do fluxo dentro dos canais da rosca.

- Temperaturas do canhão, da rosca e do cabeçote também podem ser modificadas e otimizadas para gerar máxima qualidade do extrudado. Temperaturas muito elevadas diminuem demais a viscosidade do polímero, levando ao colapso geométrico da massa que sai pela matriz, impedindo a conformação do perfil desejado, além de gerar a degradação do polímero em alguns casos. Em temperaturas muito baixas, além do difícil manuseio, a mistura não é boa, gerando uma massa heterogênea e um produto extrudado sem qualidade.

Na Figura 2.7 ilustra-se uma máquina extrusora para plásticos, onde são mostradas as partes principais, entre elas a rosca, a grelha e a matriz.

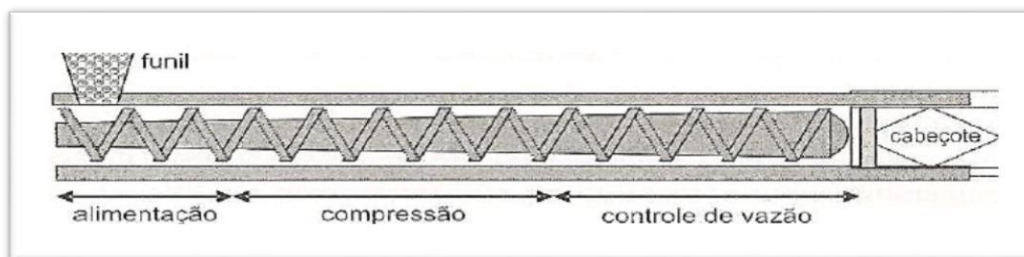
Figura 2.7. Esquema de uma extrusora com suas diversas partes funcionais.



Fonte: Lumatech (2014).

Conforme ilustrado na Figura 2.8, a rosca numa extrusora normalmente se divide em três seções (zonas): zona de alimentação, zona de compressão e zona de controle de vazão.

Figura 2.8. Zona de alimentação, zona de compressão e zona de controle da rosca em extrusora monorosca.



Fonte: Manrich (2005).

A seção de alimentação é meramente uma zona de transporte de material desde a região abaixo do funil de alimentação até o começo da zona de compressão, onde, por diminuição gradual da altura dos filetes, se consegue uma compressão volumétrica dos grãos à fusão e consequente remoção do ar possivelmente preso na massa e que é forçado a recuar para a seção de alimentação e sair pelo funil. Isto assegura um produto final livre de porosidade.

Outra vantagem da compressão é que há um aumento de esforço cortante sobre a massa em fusão pelo movimento relativo da superfície do parafuso com relação à parede do cilindro. Temos assim uma melhoria nas condições de mistura do material junto com a geração de calor por atrito que ajuda a uniformizar a distribuição de temperatura na massa que está sendo extrudada (CORDEIRO, 2013).

A função da seção final do parafuso é controlar a vazão do polímero fundido através da matriz, em velocidade uniforme, e evitar as pulsações de produção. A presença da matriz dá origem ao aparecimento de contrapressão, embora uma pequena parte disso se deva à presença do prato filtrante colocado antes do cabeçote (CORDEIRO, 2013).

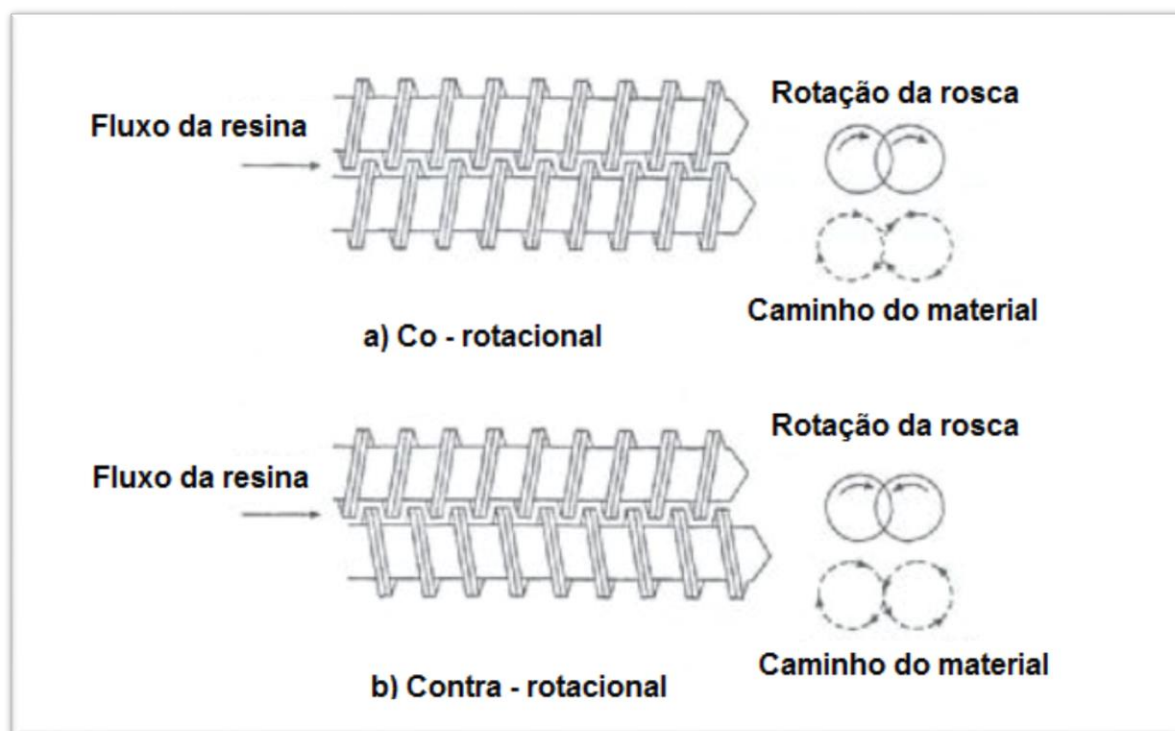
A qualidade da plastificação e o nível de homogeneização da massa que sai da matriz dependem principalmente do grau de mistura que ocorre dentro da

rosca. A rotação, viscosidade e nível de pressão são os principais parâmetros responsáveis pela eficiência de mistura e plastificação (CORDEIRO, 2013).

Outro tipo de extrusora são as dupla roscas, que são utilizadas no processamento de materiais termoplásticos de difícil manuseio, tais como, formulações poliméricas alimentadas na forma de pós de baixa densidade volumétrica; materiais de fácil degradação; na preparação de compostos de termoplásticos com reforços de materiais fibrosos ou cargas minerais e de concentrados de diversos aditivos e cores. Todos esses processos que requerem condições especiais de fusão e mistura, aliada à elevada taxa de produção (MANRICH, 2005).

Nesse tipo de extrusora, duas roscas giram lado a lado dentro de um barril de furo interno na forma de uma figura de um “8 deitado” e, normalmente, as roscas estão intercaladas. As roscas podem girar no mesmo sentido (co-rotacional) ou no sentido oposto contra-rotacional, como mostrado na Figura 2.9.

Figura 2.9. Extrusoras de dupla rosca: a) co-rotacional, b) Contra-rotacional.



Fonte: Dutra (2009).

Com a intercalação das roscas, o movimento relativo do filete de uma rosca dentro do canal da outra funciona como uma espécie de pá, que empurra

o material de forma positiva para frente; e este vai alternando uma rosca para outra e de um canal para outro. Este padrão de transporte contínuo e uniforme permite que a extrusora de rosca-dupla seja uma bomba de transporte bem mais positiva e eficiente em relação à extrusora de rosca simples e, portanto, são recomendadas para operações de extrusão de alta taxa de produção (DUTRA, 2009).

A ação de mistura na extrusora de rosca dupla é mais intensa que na extrusora de rosca simples, visto que na região de intercalação (junção) das roscas, boa parte do fluxo do fundido polimérico é dividido e transferido de um canal de uma rosca para o canal adjacente.

Esta ação de mistura é mais eficiente no caso das roscas co-rotacionais quando comparadas às roscas contra-rotacionais, devido a maior alternância de fluxo de uma rosca para outra, conforme ilustrado na Figura 2.9. Também uma quantia maior de polímero é exposta às paredes aquecidas do barril em função do polímero fundido contornar todo o canal da rosca adjacente a um passo adiante. Assim é fornecido um maior aquecimento térmico em relação à extrusora de rosca única, ou até mesmo no caso da extrusora de rosca dupla contra-rotacional.

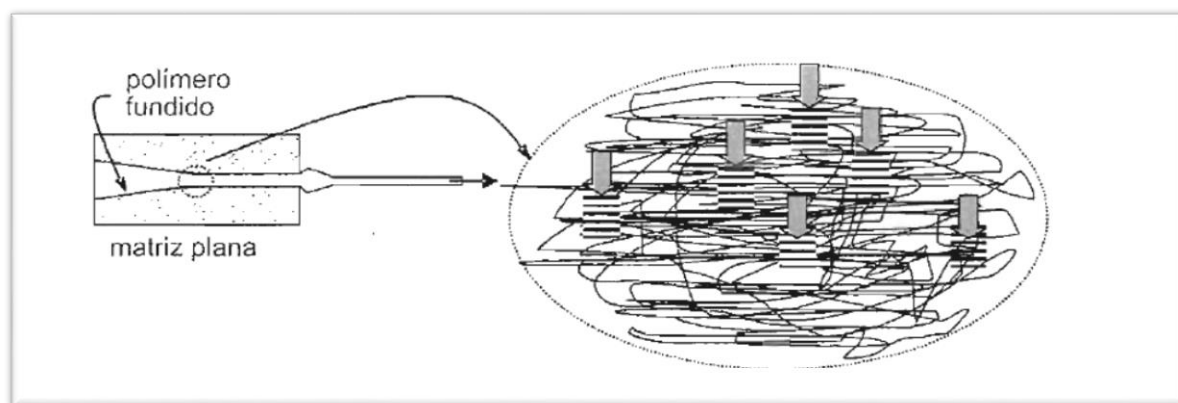
A natureza auto-limpante das extrusoras de rosca dupla também contribui para reduzir a probabilidade de estagnação do polímero, sendo esta ação bem mais eficiente nas roscas co-rotacionais que nas contra-rotacionais. Esta combinação de alta eficiência de mistura e aquecimento térmico rápido e uniforme para fusão, aliados à ação de auto-limpeza mais eficiente, torna a extrusão de rosca dupla co-rotacional ideal para operações que envolvam a mistura entre dois ou mais componentes que exijam uma dispersão eficaz (DUTRA, 2009).

O polipropileno é um dos materiais mais suscetíveis a cristalizar durante o cisalhamento. Durante a extrusão, o polímero no estado fundido, ao passar por estreitos caminhos, como pelos canais da matriz, sofre uma deformação elástica bastante acentuada. Nessas regiões, a taxa de cisalhamento é alta, bem como ocorre geração de tensões normais devido à convergência do fluxo. As cadeias de PP se orientam no sentido do fluxo, e essa orientação, em altas taxas de cisalhamento, chega a um limite onde quase todas as moléculas estão alinhadas e muito próximas umas das outras. Ocorre então a criação de

inúmeros pontos de nucleação. A ordem molecular das moléculas alinhadas se estabiliza como se fosse um núcleo de cristal e então se inicia o crescimento de um cristalito (MANRICH, 2005).

Cristais assim formados são cristais induzidos ou gerados pelo cisalhamento, como mostra a Figura 2.10. A temperatura na qual ocorre essa nucleação, e até mesmo o crescimento cristalino, é superior à temperatura normal de cristalização do PP. Os cristais e núcleos assim formados agem como se fossem agentes nucleantes, isto é, acelerando o processo de cristalização do PP (MANRICH, 2005).

Figura 2.10. Cristalização induzida por cisalhamento. As flechas apontam para cristais ou núcleos de cristais gerados durante a passagem do PP fundido pelo interior da matriz plana.



Fonte: Manrich (2005).

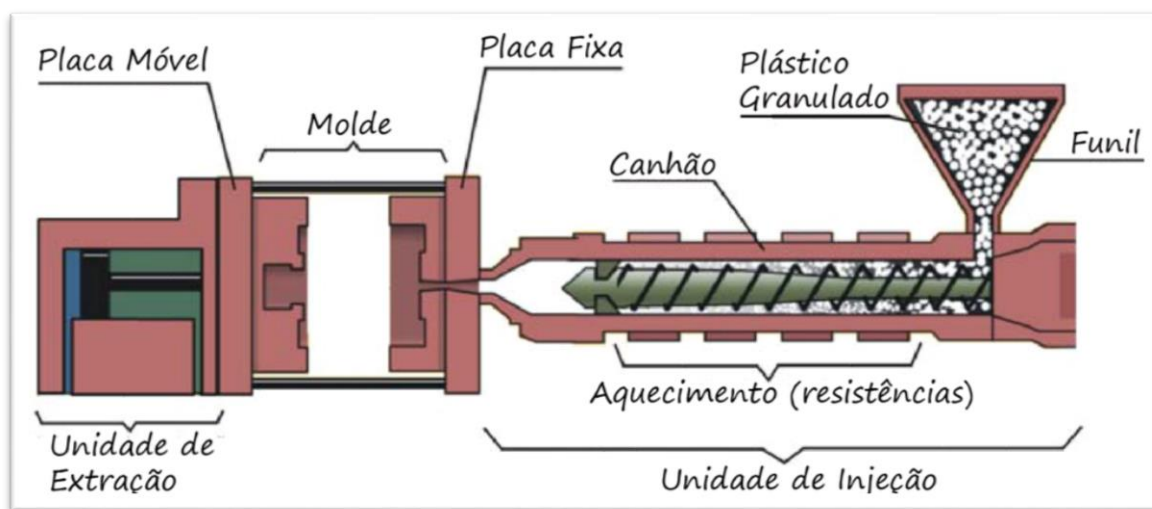
## 2.4 PROCESSAMENTO POR INJEÇÃO

Conforme Paoli (2008), no processamento por injeção o material fundido é injetado sob pressão dentro de um molde. Antes de ser injetado, o material polimérico passa por uma rosca e um canhão semelhante ao da extrusora. Depois, o material passará por canais de injeção para entrar no molde. Estes são distribuídos de forma a promover o enchimento uniforme e rápido do molde.

De acordo com Manrich (2005), a máquina injetora (Figura 2.11), utilizada no processo de injeção, é composta por um sistema capaz de homogeneizar e injetar o polímero com o auxílio de uma rosca acionada por

sistemas mecânicos, elétricos, pneumáticos e/ou hidráulicos e mantas elétricas para fundir o polímero. Para dar forma, a massa polimérica é injetada sob alta pressão e com velocidade controlada em um molde, que tem a capacidade de gerar o resfriamento do produto de forma adequada através de fluidos, que circulam no seu interior e, finalmente, este possui um mecanismo capaz de executar a ejeção da peça acabada.

Figura 2.11. Esquema de uma injetora convencional.



Fonte: Lumatech (2014).

Durante o resfriamento se produzirá dentro do molde um gradiente de temperatura e uma frente de solidificação que poderão produzir uma distribuição heterogênea dos componentes da formulação ou um gradiente de grau de cristalinidade. Se houver migração dos aditivos para certas regiões específicas da peça, as outras regiões ficarão desprotegidas. Tanto a injetora como o desenho do molde são fatores determinantes para a qualidade da peça injetada (PAOLI, 2008).

Harada (2004) afirma que para uma boa versatilidade e qualidade no processo de injeção, independentemente do tipo de máquina, os equipamentos devem apresentar as seguintes características:

- I. Cilindro de injeção: deve possuir pelo menos três zonas de aquecimento, controladas individualmente, preferencialmente do tipo proporcional, ou controles de temperaturas de voltagem dupla. A

temperatura no bico deverá ser controlada separadamente, por pirômetro ou reostato individual.

- II. Pressão de injeção: deve ser variável e atingir até 1400 Kg/cm<sup>2</sup> pelo menos, de preferência em dois estágios (pressão de injeção para encher o molde e recalque para evitar retorno do material ao cilindro).
- III. Velocidade de injeção: deve ser variável e controlada, atingindo no máximo cerca de 150 cm/min.
- IV. Alimentação ajustável: deve ser precisa para permitir um controle de peso e de quantidade de material injetado.

Em condições ideais de armazenagem, o material polimérico a ser injetado deve apresentar baixo grau de umidade. No entanto, se o ambiente da estocagem e o local de trabalho apresentarem-se úmidos, poderá haver condensação na superfície dos grânulos do material a ser moldado. Esta presença de umidade poderá resultar em "mica": manchas, escamas ou bolhas nas peças moldadas. Nestes casos, a secagem prévia é o procedimento recomendado.

A secagem do polímero tem ainda a vantagem de pré-aquecer o material, fornecendo uma temperatura de plastificação mais uniforme, reduzindo as possibilidades de pontos de superaquecimento no cilindro e permitindo ciclos de moldagem mais rápidos. No caso da moldagem por injeção, a estufagem poderá ser feita entre 2 a 4 horas, a uma temperatura de 60 a 180°C, dependendo do material. Temperaturas muito mais altas que estas poderão causar a sinterização dos grânulos, com o conseqüente "empedramento" destes (HARADA, 2004).

Moldes com temperaturas altas reduzem tensões internas, logo requerem ciclos maiores para que o plástico solidifique e possa ser retirado do molde. Temperaturas baixas permitem ciclos mais rápidos, mas têm a séria desvantagem de causar tensões internas. A quebra da peça na extração é uma característica em moldes frios.

Na moldagem do material, a pressão de injeção exercida pela rosca ou pistão deve estar entre 400 e 1400 kg/cm<sup>2</sup>, dependendo dos seguintes fatores: tipo de material e de máquina, das temperaturas de plastificação, do tamanho

do orifício do bico, do desenho do molde, do tamanho da entrada, entre outros (HARADA, 2004).

Para se obter ciclos mais rápidos é preferível trabalhar simultaneamente com altas pressões e temperaturas reduzidas no cilindro. Uma boa prática neste caso é aumentar gradualmente a pressão, à medida que o ciclo é reduzido, ao invés de aumentar a temperatura (PAOLI, 2008).

Em temperaturas muito altas, um excesso de pressão pode provocar rebarba na peça ou "trancar" o molde de tal maneira que impeça a sua abertura pela força hidráulica aplicada no lado móvel. Em temperaturas excessivamente baixas podem ocorrer danos no torpedão (em máquinas a pistão), ou tensões internas nas entradas das cavidades. Para evitar isso, é recomendável usar uma pressão de injeção alta para encher as cavidades, e uma pressão de recalque menor, evitando que o material retorne aos canais. O momento de passar da pressão de injeção à pressão de recalque é quando a rosca ou o pistão interrompe o avanço (HARADA, 2004).

De acordo com Araújo (2010), o grau de cristalinidade de um polímero semi-cristalino pode ser definido como a razão entre a quantidade do componente cristalino e a quantidade total da amostra constituída por porções cristalinas e amorfas. O grau de cristalinidade constitui um importante parâmetro associado aos aspectos morfológicos em polímeros semi-cristalinos. Seu valor é dependente da história térmica e mecânica do mesmo.

De acordo com MANRICH (2005), as propriedades mecânicas são afetadas pela cristalinidade dos polímeros injetados que apresentam em sua estrutura um arranjo das moléculas chamado de esferulito, onde a cristalização depende da temperatura e o tempo de resfriamento do material moldado, que ocorre a partir do estado fundido do polímero.

A partir de um núcleo que se forma durante a cristalização, ocorre o crescimento de outros cristalinicos orientados radialmente. Entre os cristalinicos existe a região amorfa, formando uma fase contínua. Os cristais se ordenam de tal maneira formando fibras que convergem para o centro do esferulito. Como o crescimento do esferulito é tridimensional, o formato deste tende a ser uma esfera perfeita. Mas um esferulito em crescimento encontra-se a outro, igualmente em crescimento, formando uma interface plana de inter-esferulito, aparecendo ao microscópio como uma linha reta (MANRICH, 2005).



O grau de cristalinidade dos produtos moldados pelo processo de injeção é diretamente afetado pela temperatura do molde, que conseqüentemente tem influência nas propriedades mecânicas das peças moldadas. Se a temperatura nas paredes da cavidade do molde é diferente, isso resulta em problemas com a qualidade das peças como encolhimento diferente, empenamento e outras propriedades que são afetados pelo grau de cristalinidade (ARAÚJO, 2010).

De acordo com Harada (2004), o tempo de ciclo no processo de moldagem por injeção depende do resfriamento da peça, o que é facilitado pelos canais de arrefecimento no molde de injeção. Quando a temperatura no interior das cavidades do molde não está distribuída uniformemente compromete as propriedades das peças moldada. O resfriamento eficiente no molde é importante porque não só afeta o tempo de ciclo, mas também a qualidade da peça.

Araújo (2010) ressaltam que quando a injeção é feita em moldes de varias cavidades o sistema de alimentação deve ser projetado de modo que as cavidades sejam preenchidas simultaneamente. Tendo em vista que a diferença de estrutura das peças moldadas são causadas pelas condições térmicas tanto do molde como do material que também influencia o fluxo nas cavidades durante a fase de moldagem.

Segundo os mesmos autores, a variação possível da estrutura do polímero como função do processo de injeção, afeta as seguintes propriedades principais, resistência a tração, módulo de elasticidade, resistência ao impacto, dureza, instabilidade dimensional entre outros.

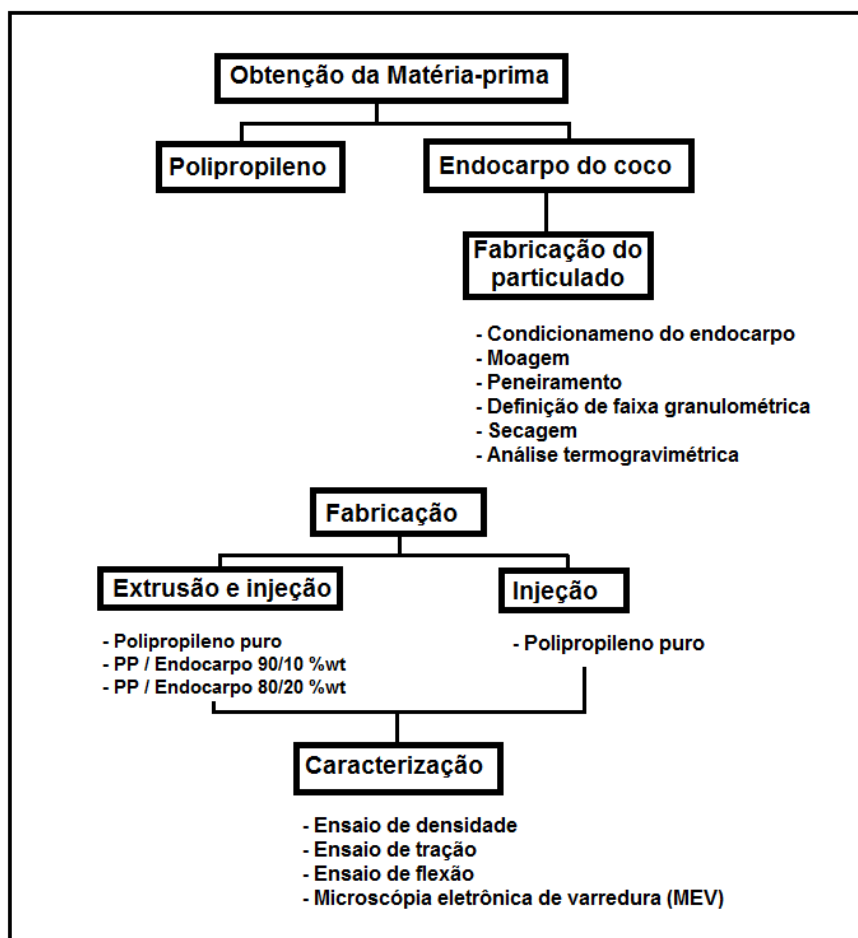
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo relata os materiais e métodos utilizados para fabricação e caracterização do polipropileno e de seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco.

A primeira etapa descreve como o particulado do endocarpo do coco foi obtido a partir do processo de limpeza, moagem, peneiramento e definição de faixa granulométrica. Na segunda etapa, estão descritos os parâmetros e os procedimentos utilizados para o processamento dos compósitos e do polímero, pelos processos de extrusão e injeção. A terceira etapa trata da caracterização dos materiais, sendo utilizados os ensaios de densidade, flexão e tração, a análise térmica e a microscopia eletrônica de varredura.

Na Figura 3.1 ilustra-se o fluxograma de atividades envolvidas neste trabalho.

Figura 3.1. Fluxograma de atividades desenvolvidas.



Fonte: Autoral.

### 3.1 A MATÉRIA-PRIMA

A seguir, serão apresentadas a etapas para obtenção do particulado do endocarpo do coco seco.

#### 3.1.1 O endocarpo seco

Os endocarpos secos (Figura 3.2) foram fornecidos pela empresa Coco e Cia, situada em São José de Mipibú, Estado do Rio Grande do Norte. A empresa atua no mercado desde 1990, ficando próxima aos principais produtores de coco da região e dispõe, portanto, de uma imensa variedade de produtos derivados do coco.

Figura 3.2. Endocarpos fornecidos pela Empresa Coco e Cia.



Fonte: Autoral.

#### 3.1.2 Condicionamento do endocarpo seco

No processo de limpeza do endocarpo do coco, foram removidas as fibras existentes no seu exterior e, também, o albúmen sólido presente no seu interior. Na Figura 3.3 é possível visualizar os endocarpos após o processo de limpeza.

Figura 3.3. Endocarpos após o processo de limpeza.



Fonte: Autoral.

Conforme a Figura 3.4, foi observada fibras contidas no endocarpo do COCO.

Figura 3.4. Presenças de fibras do interior do endocarpo.



Fonte: Autoral.

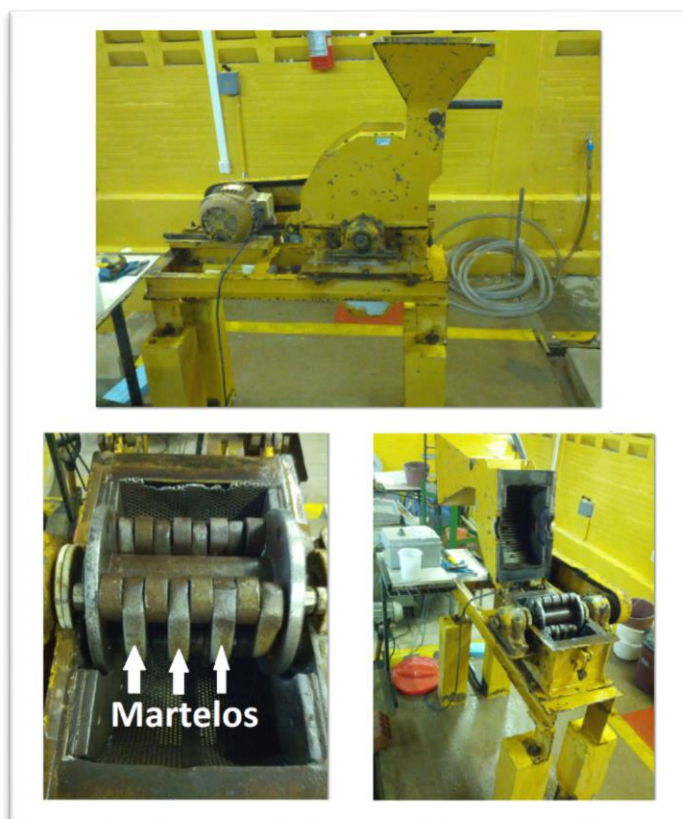
### 3.1.3 Moagem do endocarpo e definição da faixa granulométrica

A primeira tentativa de moagem do endocarpo do coco foi efetuada no Laboratório de Polímeros (LabPol) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, em um moinho de esferas, obtendo um resultado insatisfatório, uma vez que o endocarpo não sofreu desgaste.

A segunda tentativa de moagem foi procedida no Laboratório de Mineração da UFRN, em um moinho de esferas com rotação elevada, no qual se observou elevado desgaste do endocarpo, transformando-o em pó, sendo esse método ineficaz, visto que o particulado ficou com baixa faixa granulométrica.

Por fim, a moagem dos endocarpos foi bem sucedida no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), no Laboratório de Geologia e Mineração, através de um moinho de martelo (Figura 3.5).

Figura 3.5. Moinho de martelo utilizado na trituração dos endocarpos.



Fonte: Autoral.

O moinho de martelo proporcionou a formação de particulados com variada faixa granulométrica. A seguir estão representados os valores das malhas utilizadas durante a separação.

- Abaixo de 18 mesh – 1,0 mm
- De 18 a 35 mesh – 1,0 a 0,5 mm
- De 35 a 65 mesh – 0,5 a 0,263 mm
- De 65 a 100 mesh – 0,263 a 0,149 mm
- Acima de 100 mesh – menor que 0,149 mm

A definição da faixa granulométrica para o processamento dos corpos de prova por injeção e extrusão teve como critérios: uniformidade de distribuição do particulado na resina, diâmetro do bico da injetora, diâmetro da matriz da extrusora e, por fim, a geometria do particulado.

Tendo em vista esses critérios selecionados, o intervalo de malha entre 35 e 65 mesh (Figura 3.6) apresentou melhores formas para o processamento.

Figura 3.6. Particulado do endocarpo seco do coco com faixa granulométrica entre 35 e 65 mesh.



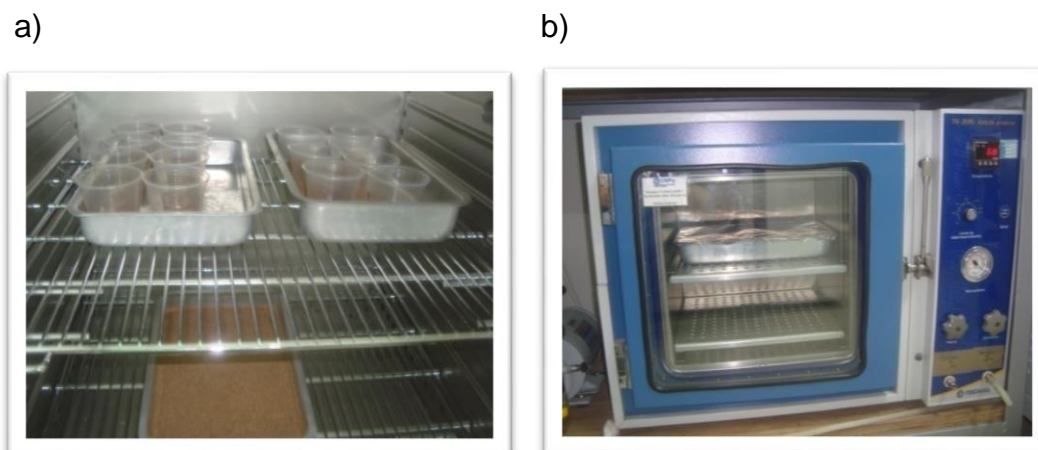
Fonte: Autoral.



### 3.1.4 Secagem dos particulados do endocarpo do coco

Para o processo de secagem, realizado no LabPol da UFRN, os particulados do endocarpo do coco foram mantidos inicialmente em estufa de secagem com circulação forçada da marca Venticell a 60 °C por 24h, Figura 3.7.a, e, em seguida, em estufa a vácuo TE-395 da empresa TECNAL numa temperatura de 70 °C por 30h, Figura 3.7.b.

Figura 3.7. a) Estufa circulação forçada, b) Estufa a vácuo.



Fonte: Autoral.

## 3.2 FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Os compósitos foram fabricados pelos processos de extrusão e injeção com 10 %wt (PP 90/10) e 20 %wt (PP 80/20) de particulado do endocarpo na matriz de polipropileno. Ademais, o polipropileno puro foi processado de duas formas, sendo a primeira utilizando injeção (PPI 100/0) e a segunda por meio de extrusão e injeção (PPEI 100/0).

Os materiais foram processados no Laboratório de Reologia e Processamento de Polímeros (LabPol) da UFRN, atendendo a norma ASTM D 4101 – Especificação padrão para injeção de Polipropileno e extrusão de materiais.

O polipropileno utilizado neste trabalho foi adquirido na Empresa de Termoplásticos do Nordeste ETENO LTDA, em Recife/PE. O Polipropileno CP 141 é um copolímero heterofásico de propeno e eteno e possui alto índice de

fluidez, especialmente desenhado para proporcionar elevada produtividade (ciclo rápido). Essa resina apresenta ótima processabilidade, ótimo balanço rigidez/impacto e boa resistência ao impacto em baixas temperaturas.

Na Tabela 3.1 estão presente as propriedades do Polipropileno CP 141, fornecidas pela empresa Braskem.

Tabela 3.1 Propriedades do Polipropileno CP 141 ensaiados em corpos de prova moldado por injeção conforme ASTM D 4101.

<b>Propriedades</b>	<b>Método ASTM</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
<b>Índice de Fluidez (230°C/2,16 Kg)</b>	D 1238	g/10 min	43
<b>Densidade</b>	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,9
<b>Módulo de Flexão Secante a 1%</b>	D 790	MPa	1200
<b>Resistência à Tração no Escoamento</b>	D 638	MPa	26
<b>Alongamento no Escoamento</b>	D 638	%	5
<b>Dureza Rockwell (Escala R)</b>	D 785	-	83
<b>Resistência ao Impacto Izod a 23°C</b>	D 256	J/m	100
<b>Resistência ao Impacto Izod a -20°C</b>	D 256	J/m	50
<b>Temperatura de Deflexão Térmica a 0,455 Mpa</b>	D 648	°C	110
<b>Temperatura de Deflexão Térmica a 1,820Mpa</b>	D 648	°C	57
<b>Temperatura de Amolecimento Vicat a 10 N</b>	D 1525	°C	149

Fonte: Braskem.

### 3.2.1 Processo de extrusão

A fim de garantir uma extrusão sem contaminantes, foram processados 2 Kg de PP puro para limpeza da extrusora. Em seguida, foram processados os materiais de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Formulações dos materiais extrudados.

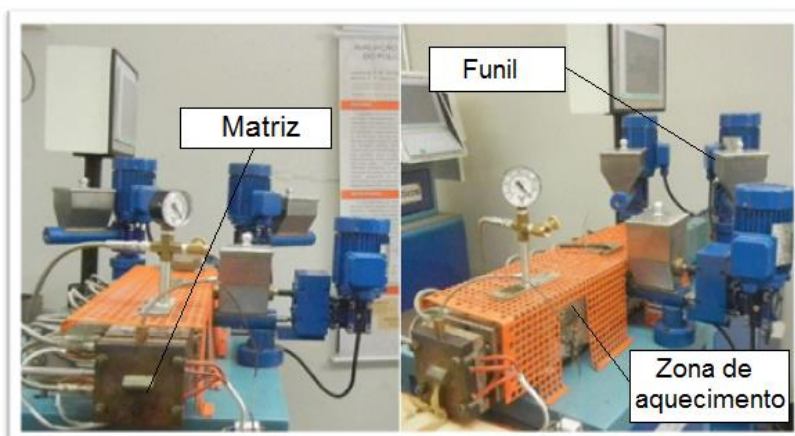
<b>Extrusão</b>	<b>Polipropileno (Kg)</b>	<b>Particulado do coco (Kg)</b>	<b>PP (%)</b>	<b>Particulado (%)</b>
<b>PPEI 100/0</b>	1,50	-	100	-
<b>PP 90/10</b>	1,35	0,15	90	10
<b>PP 80/20</b>	1,20	0,30	80	20

Fonte: Autoral.



As extrusões do polipropileno puro e de suas formulações com os particulados do endocarpo do coco foram realizadas numa extrusora rosca dupla co-rotacional (AX Plásticos, modelo AX – DR 16:40) com roscas com diâmetros de  $D=16\text{mm}$ , relação de comprimento por diâmetro  $L/D=40$  (Figura 3.8).

Figura 3.8. Imagens da extrusora rosca dupla utilizada para processar o polipropileno.



Fonte: Autoral.

Para garantir uma uniformidade dos compósitos, a alimentação das misturas de resina com o particulado na extrusora foi realizada em porções de 100g. Após a pesagem dessas porções, elas permaneceram na estufa de ar circulante e, em seguida, foram misturados ao PP, no momento de alimentação da extrusora, a fim de evitar o contato com a umidade.

A faixa de temperatura utilizada para extrusão dos materiais pode ser visualizada na tabela 3.3.

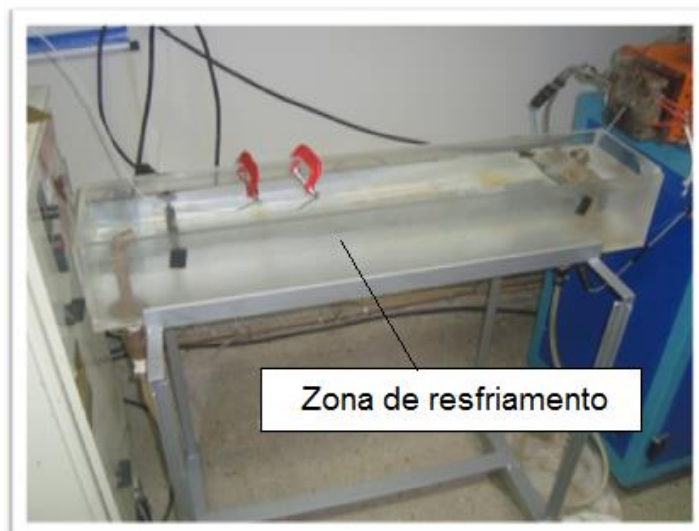
Tabela 3.3. Zonas de aquecimentos do processo de extrusão.

Composição	Zonas de aquecimento (°C)								Matriz	N (rpm)
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8		
PPEI 100/0	90	120	160	170	180	190	200	200	190	250
PP 90/10										
PP 80/20										

Fonte: Autoral.

Após o processo de extrusão, os materiais aquecidos foram resfriados em água no equipamento apresentado na Figura 3.9.

Figura 3.9. Equipamento utilizado para o resfriamento após a extrusão.



Fonte: Autoral.

Em seguida, os fios de polipropileno puro e dos compósitos de polipropileno com o particulado do endocarpo passaram por um processo de granulação.

A Figura 3.10 demonstra as etapas utilizadas para fabricação dos grãos, passando pelo processo de extrusão, de resfriamento e, por fim, pelo de granulação.

Figura 3.10. Etapas de fabricação dos grãos.



Fonte: Autoral.

A Figura 3.11 apresenta os grãos fabricados pelo processo de extrusão, no qual a tonalidade dos grãos aumenta em função da elevação da concentração do particulado na mistura, sendo o PP 80/20 mais escuro, quando comparado ao PP 90/10.

Figura 3.11. Grãos fabricados pelo processo de extrusão.



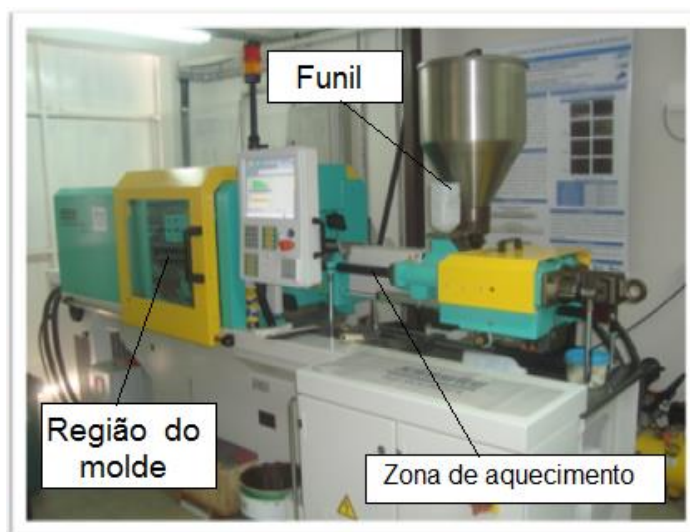
Fonte: Autoral.

### 3.2.2 Processo de injeção

As injeções dos materiais foram realizadas na injetora ARBURG ALLROUNDER, modelo: 270 s (Figura 3.12). No processo de injeção, foram injetadas as seguintes formulações: PP puro oriundo da fábrica; PP extrudado; e as formulações de PP com particulado do endocarpo de coco, 90/10 % wt e 80/20 % wt; com uma produção de 30 corpos-de-prova de tração para cada formulação.

Conforme a norma ASTM D 4101, a velocidade e pressão de injeção são especificadas pela relação entre a máquina e o molde, objetivando a produção com distribuição uniforme de peso. Uma vez determinadas a velocidade e pressão de injeção para a máquina e molde, elas não devem variar mais que 2%.

Figura 3.12. Injetora ArburgAllrounder, modelo: 270 S.



Fonte: Autoral.

O tempo de resfriamento utilizado foi de 35s, a temperatura do molde igual a 30°C, a pressão de injeção de 400 bar e a velocidade de injeção de 49 mm/s. As zonas de aquecimento no processamento por injeção podem ser visualizadas na tabela 3.4.

Tabela 3.4. Zonas de aquecimento do processo de injeção.

Composição	Zonas de aquecimento (°C)				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Bico
PPEI 100/0	170	180	190	195	200
PPI 100/0					
PP 90/10					
PP 80/20					

Fonte: Autoral.

Atendendo a norma ASTM D4101, os ensaios de caracterização dos corpos de prova foram realizados pelo menos 40h após a moldagem e a temperatura de armazenamento foi de 23±2 °C, sendo armazenados em sacos plásticos, com resfriamento em prateleira cerca de 30 minutos antes de serem armazenados.

### 3.3 ENSAIOS REALIZADOS COM OS COMPÓSITOS FABRICADOS

Os compósitos foram caracterizados por meio de três análises: ensaios físicos (termogravimetria e densidade volumétrica), ensaios mecânicos (tração e flexão) e a caracterização da fratura por MEV.

#### 3.3.1 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica para verificar o efeito da perda de massa com a temperatura do particulado do endocarpo do coco foi realizada no Laboratório de Análise Térmica do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

E o equipamento utilizado para análise foi o NETZSCH STA 449F3, empregando fluxo de ar sintético de 50,00 ml/min, taxa de aquecimento de 10°C/min, faixa de ensaio de 0 a 500°C e peso da amostra de 6,33 mg.

#### 3.3.2 Ensaio de densidade volumétrica

O ensaio de densidade volumétrica ocorreu no Laboratório de Polímeros (LabPol) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, de acordo com método da norma ASTM D792-13.

Para o cálculo dos valores de densidade foi utilizado um conjunto de dados de cinco amostras para cada formulação.

Conforme a norma, as cinco amostras foram condicionadas durante 48h, em temperatura de 23°C e umidade relativa de 50%. Para medição de massa, foi utilizada uma balança analítica com leitura de 0,1 mg da marca Shimadzu, modelo: AUY220 (Figura 3.13).

Figura 3.13. Balança analítica Shimadzu, modelo: AUY220.



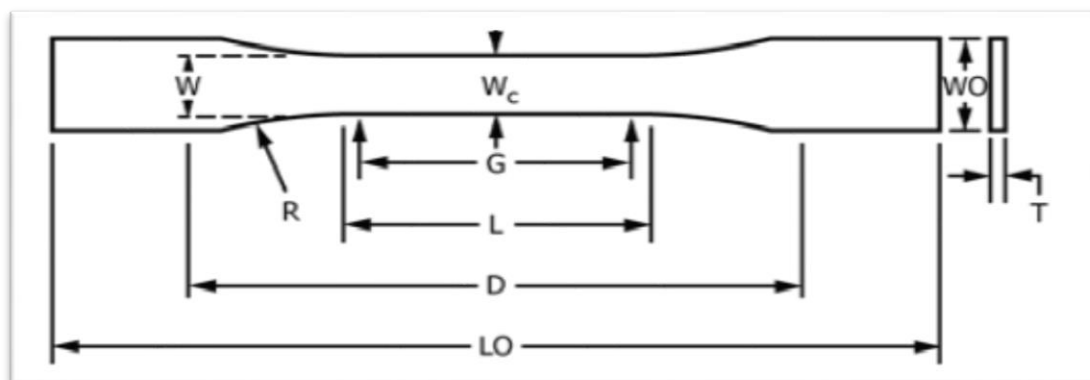
Fonte: Autoral.

### 3.3.3 Ensaio de tração uniaxial

O ensaio de tração uniaxial foi realizado no Laboratório de ensaios mecânico da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, de acordo com a norma ASTM D638-14.

Os corpos-de-prova foram confeccionados conforme as dimensões do tipo I da norma, em que atende os materiais compósitos reforçados e injetados. A seguir, na Figura 3.14 estão listadas as dimensões.

Figura 3.14. Corpo-de-prova do tipo I, II, III e IV da norma ASTM D-638-14.



Fonte: ASTM D-638-14

Sendo:  $T = 3,2 \text{ mm};$   
 $W = 13 \text{ mm};$   
 $L = 57 \text{ mm};$   
 $WO = 19 \text{ mm};$   
 $LO = 165 \text{ mm};$   
 $G = 50 \text{ mm};$   
 $D = 115 \text{ mm};$   
 $R = 76 \text{ mm}.$

A velocidade utilizada no ensaio foi de 5 mm/min e os corpos-de-prova permaneceram condicionados durante 48h, em temperatura de 23°C e umidade de 50%.

O ensaio foi realizado na máquina SHIMADZU, modelo: AG-X, 300KN (Figura 3.15), no qual foram ensaiados oito corpos-de-prova para cada formulação. Foram selecionados cinco corpos-de-prova de cada composição para calcular as propriedades mecânicas.

Figura 3.15. Máquina SHIMADZU, modelo: AG-X, 300KN.

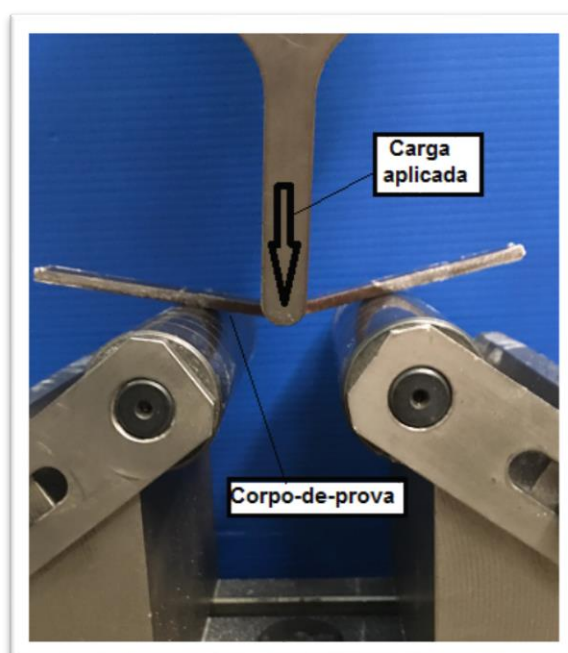


Fonte: Autoral.

### 3.3.4 Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, através da mesma máquina utilizada nos ensaios de tração, atendendo a norma ASTM D790-10. O ensaio de flexão e os cálculos das propriedades de flexão foram obtidos a partir de cinco corpos-de-prova para cada formulação. A Figura 3.16 ilustra o corpo-de-prova para o ensaio de flexão.

Figura 3.16. Corpo-de-prova no ensaio de flexão.



Fonte: Autoral.

O ensaio foi realizado com velocidade de deslocamento igual a 1,3 mm/min, distância entre pontos de apoio de 51,2 mm e corpo-de-prova com dimensões de 127 mm comprimento, largura de 12,7 mm e espessura de 3,2 mm.

Para determinação da tensão última à flexão foi utilizada a Eq. 3.1, enquanto para determinação do módulo de elasticidade foi utilizada a Eq. 3.2 e, por fim, a Eq. 3.3 para a deformação de flexão.



$$\sigma_F = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.1)$$

$$E = \frac{L^3 m}{4bd^3} \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = \frac{6Dd}{L^2} \quad (3.3)$$

Onde:

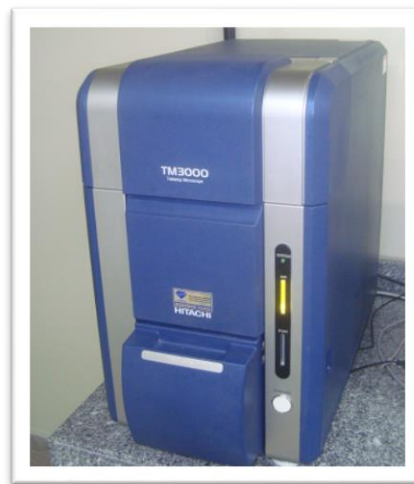
- $\varepsilon$  - Deformação de flexão;
- $\sigma_F$  - Tensão última à flexão (MPa);
- P - Força aplicada e referente à ruptura do material (N);
- E - Módulo de elasticidade na flexão (GPa);
- L - Distância entre os apoios (mm);
- b - Largura da amostra ensaiada (mm);
- d - Espessura da amostra ensaiada (mm);
- m - Inclinação da tangente na porção inicial da curva carga-deflexão (N/mm);
- D - Deflexão máxima no centro do corpo de prova (mm).

A plotagem dos pontos obtidos nos ensaios de tração e flexão para confeccionar os diagramas de tensão-deformação foi realizada com o uso do software Originpro 8.0.

### 3.3.5 Microscopia eletrônica de varredura

A visualização das superfícies fraturadas dos corpos de prova de Polipropileno e de suas composições com o particulado do endocarpo do coco foi promovida no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do Departamento de Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. O MEV utilizado (Figura 3.17) foi o HITACHI, TM 3000, Tabletop Microscope, com uma tensão de aceleração de elétrons de 15 KV, modo: Analy. As imagens obtidas foram em: 40x, 100x, 200x, 400x e 1000x.

Figura 3.17. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).



Fonte: Autoral.

## 4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

O presente capítulo demonstra as análises dos resultados para caracterização do endocarpo do coco, processo de injeção dos compósitos e polímeros e, por fim, os seus respectivos ensaios de densidade, tração e flexão.

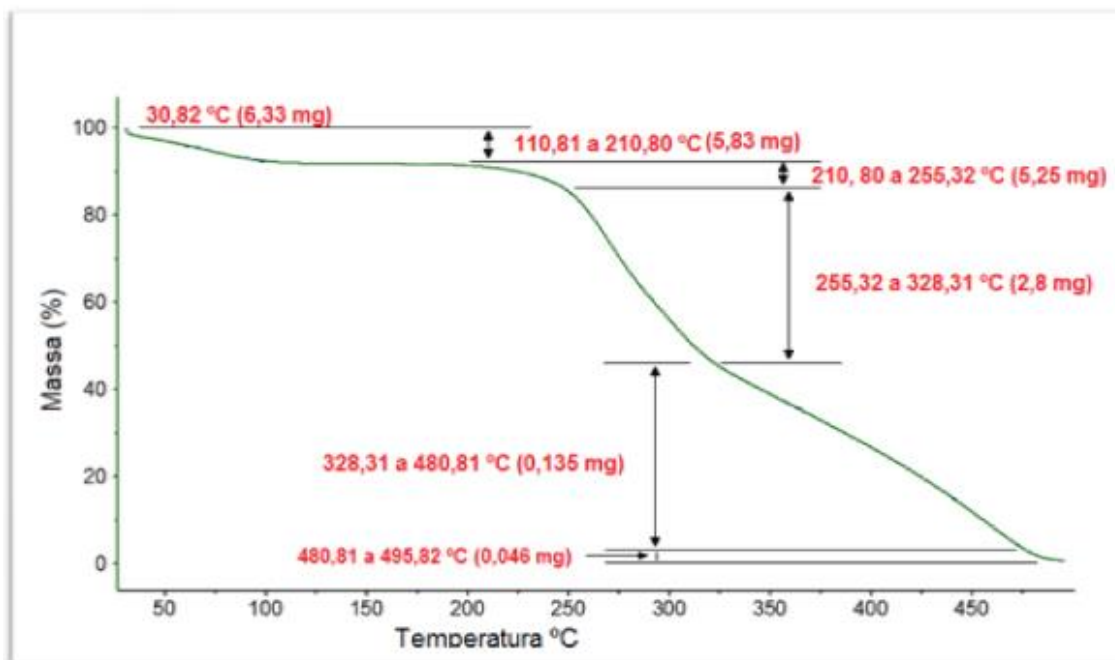
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ENDOCARPO

Neste item, será apresentada a caracterização do endocarpo do coco a partir da análise termogravimétrica, da classificação granulométrica e da análise micrográfica.

#### 4.1.1 Análise termogravimétrica

A curva obtida na análise termogravimétrica para o particulado do endocarpo do coco pode ser visualizado na Figura 4.1, a seguir.

Figura 4.1. Curva Termogravimétrica do endocarpo do coco.



Fonte: Autoral.

Dado o início da análise de térmica, a perda de massa do endocarpo do coco começa a partir de 30,82 °C com 6,33 mg. Em seguida, o primeiro patamar com perda até 5,83 mg é estabelecido entre as temperaturas de 30,82 e 110,81 °C. Após atingir a temperatura de 110,81 °C, a massa do endocarpo permanece constante até uma temperatura de 210,80 °C. Em seguida, o segundo patamar é levado até a massa de 5,25 mg, com uma leve taxa de perda de massa entre as temperatura de 210,80 a 255,32. Após a temperatura de 255,32, o terceiro patamar apresenta uma alta taxa de perda até 2,8 mg, atingindo temperatura de 328,31 °C. Com uma menor taxa de perda de massa, o quarto patamar atinge um valor de massa de 0,135 mg, com temperatura de 480,81 °C. Por fim, no quinto patamar ocorreu praticamente toda perda da massa do endocarpo do coco, com temperatura entre 480,81 e 495,82 °C.

A curva termogravimétrica obtida para o particulado do endocarpo do coco é típica dos materiais lignocelulósicos. De acordo com Leão (2012), a diminuição de massa do endocarpo do coco até 100 °C está relacionado com a perda de umidade e substâncias voláteis.

Bedin (2014) em seus estudos, afirma que as fibras do coco se degradam a certas faixas de temperatura, por exemplo, a hemicelulose degrada-se devido a sua natureza amorfa e decompõe entre 200 e 260 °C, enquanto a celulose decompõe-se entre 240 e 360 °C e a lignina entre 280 e 360 °C.

Santos (2006) analisando a curva TG para a fibra do coco, também verificou que o início da perda de massa está associado com a perda de água e substâncias voláteis. A degradação de hemicelulose entre 200 e 260 °C, depois a celulose na faixa de 240 a 350 °C e, finalmente, a decomposição da lignina de 280 até 500 °C.

Conforme as pesquisas dos autores citados, a curva de TG para o endocarpo em estudo confirma o comportamento esperado para perda de água e substâncias voláteis, degradação da hemicelulose, celulose e lignina. A faixa de temperatura de perda de água e substâncias voláteis está compreendida entre 30,82 e 110,81 °C, a de degradação da hemicelulose entre 210,80 e 255,32 °C, a de degradação da celulose entre 255,32 a 328,31 e, por fim, a degradação da lignina entre 328,31 a 495,82 °C.

O processamento dos compósitos com agentes de reforços lignocelulósicos deve ser realizado com temperaturas até 200 °C, visto que a partir dessa temperatura inicia-se o processo de degradação dos mesmos.

Outro fator importante para o processamento é a temperatura de transição vítrea da lignina, com valor em torno de 135 °C a 195 °C, momento em que a lignina amolece e fica com propriedade adesiva. Isto deve-se, provavelmente, ao aumento da área de contato aliada à interdifusão das cadeias poliméricas causadas pelo aumento do movimento molecular que se estabelece acima do ponto de transição vítrea.

#### 4.1.2 Classificação granulométrica

Esta análise tem como objetivo identificar e avaliar o formato e o tamanho do particulado do endocarpo do coco seco.

A tabela 4.1 apresenta a quantidade e percentagem de massa do particulado do endocarpo seco, para as faixas granulométricas selecionadas.

Tabela 4.1. Característica granulométrica do endocarpo seco.

Faixa Granulométrica (FG)	Resíduo (g)	Resíduo (%)
FG > 1,0 mm	473,6	<b>47,36</b>
1,0 mm > FG > 0,5 mm	97,8	<b>9,78</b>
0,5 mm > FG > 0,263 mm	64,7	<b>6,47</b>
0,263 mm > FG > 0,149 mm	73,1	<b>7,31</b>
0,149 mm > FG	198,6	<b>19,86</b>
Perdido	92,2	<b>9,22</b>
<b>Total</b>	<b>1000</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoral.

O rendimento de 47,36% para faixa granulométrica maior que 1,0 mm obtido pelo moinho de martelo foi ocasionado pelos desgastes presentes nos martelos do moinho, visto que os mesmos já possuem longos períodos de operação. E o desgaste de sua peneira dificultou a permanência das partículas maiores dentro da região de trituração, possibilitando a passagem das partículas através do desgaste (orifício) da peneira para o recipiente de armazenamento do particulado.

O rendimento de 6,47% do moinho de martelo é considerado baixo, para faixa granulométrica de 0,5 mm até 0,263 mm utilizada para fabricar o compósito polimérico. Assim, foi necessária uma grande quantidade de massa do endocarpo do coco seco fornecido pela empresa, calculado em 8 kg.

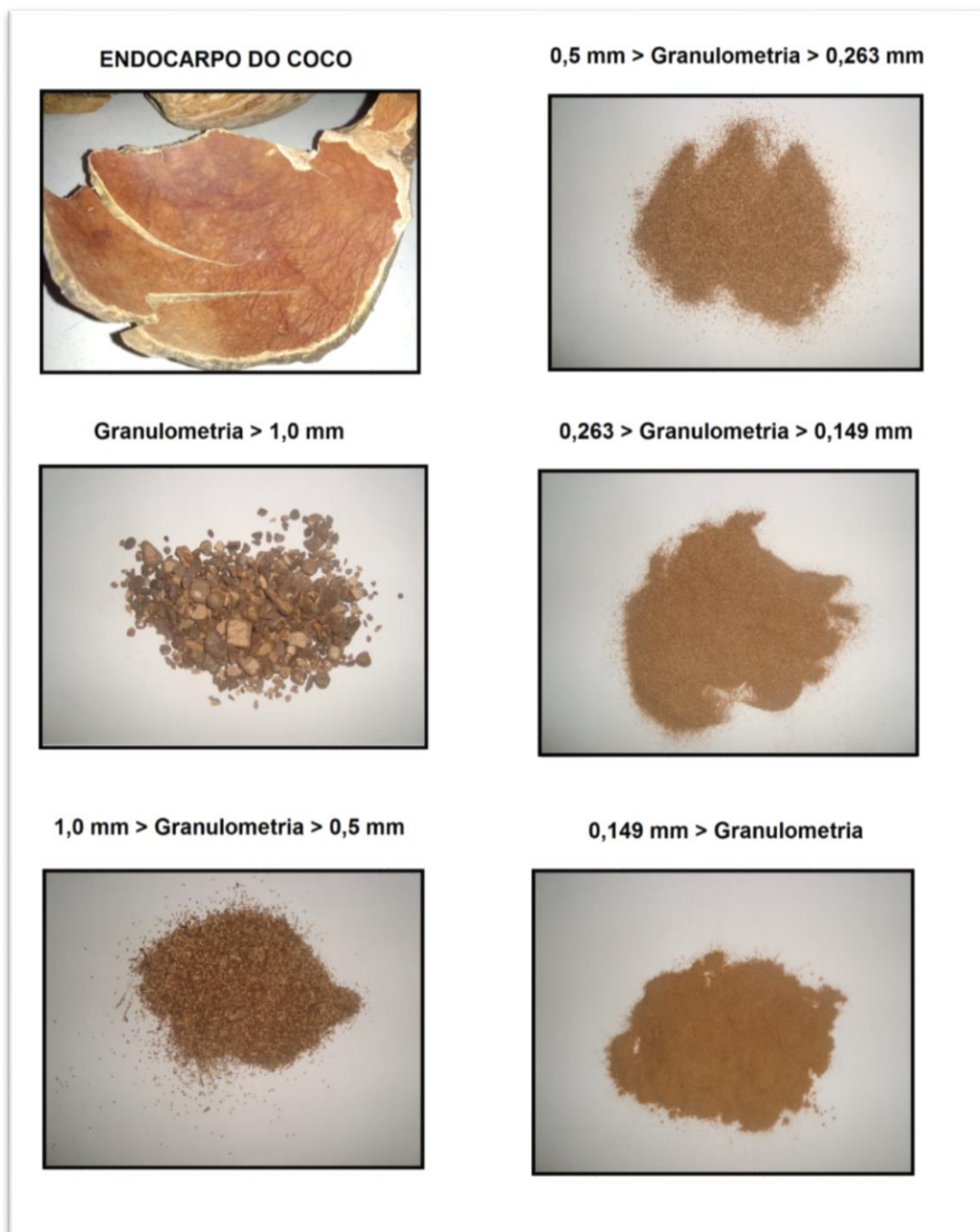
Conforme relatado anteriormente, o processo de moagem utilizando martelo apresentou melhor distribuição da faixa granulométrica em relação aos métodos de esferas. A trituração utilizando as esferas de aço em alta rotação promoveu a total formação de pó, enquanto a utilização de esferas cerâmicas não apresentou desgastes visíveis no endocarpo.

Conforme representado na Figura 4.2, a faixa granulométrica de 0,5 mm até 0,263mm utilizada para produzir os compósitos poliméricos possui um formato de partícula homogêneo sem a presença de longas fibras.

Enquanto a faixa granulométrica de 1,0 mm até 0,5 mm não foi escolhida pelo fato de apresentar quantidades significativas de fibras curtas. Além de existir a possibilidade de obstruir o bico da injetora e da matriz da extrusora, promovendo uma má distribuição no compósito.

A possibilidade de concentração do particulado na parte superior do misturador, quando misturado com o polímero durante a preparação para extrusão, foi o fator levado em consideração para não optar pela faixa granulométrica inferior a 0,263 mm.

Figura 4.2. Faixa granulométrica do endocarpo do coco seco obtida pelo moinho de martelo.



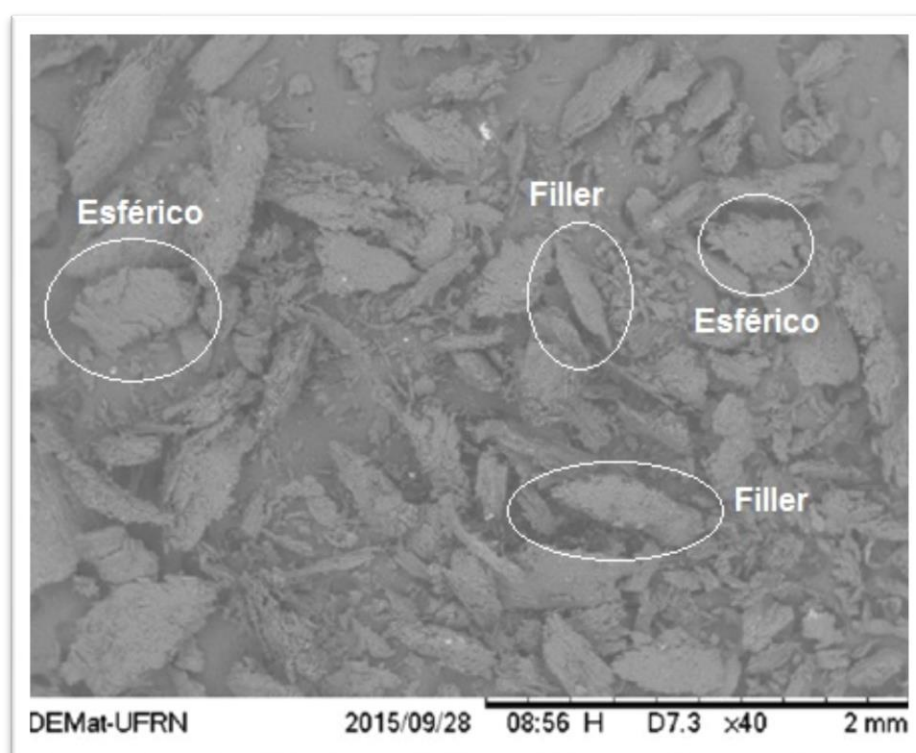
Fonte: Autoral.

### 4.1.3 Análise micrográfica

Os particulados do endocarpo do *Cocos Nucífera Linn*, com faixa granulométrica de 0,5 mm até 0,263 mm, selecionados para produção dos compósitos poliméricos, ao serem analisados pelo microscópio eletrônico de varredura, apresentaram-se em formatos esféricos e “fillers”, predominantemente.

Esses formatos dos particulados relatados podem ser observados na Figura 4.3 a seguir.

Figura 4.3. Visualização dos formatos dos particulados do endocarpo do *Cocos Nucífera Linn* através de MEV em 40X.



Fonte: Autoral

Através do estudo do potencial de uso de cargas particuladas do endocarpo do *Coco Nucífera Linn* em compósitos, Sarki et al. (2010) observou os formatos esféricos, “*filler*” e prismático na microestrutura das partículas do endocarpo do coco.

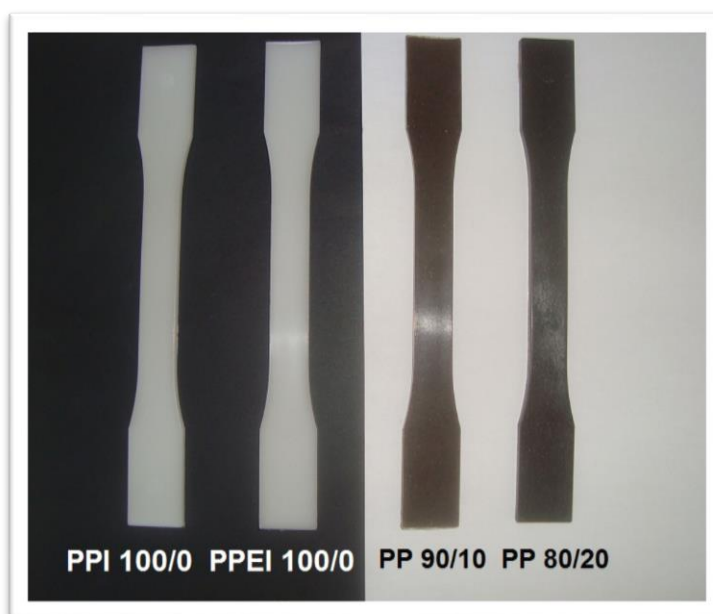


## 4.2 INJEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após o processo de extrusão, os grãos das composições PPEI 100/0, PP 90/10 e PP 80/20, além do PPI 100/0, foram injetados para fabricação dos corpos de prova para os ensaios de tração, densidade e flexão em três pontos.

Na figura 4.4 estão demonstrados os corpos de prova das composições após o processamento por injeção.

Figura 4.4. Corpos de prova fabricados pelo processo de injeção.



Fonte: Autoral.

Conforme a figura 4.4, os corpos de prova com a presença do particulado do coco apresentam distinção de cor devido à concentração do particulado. Pelo fato do PP 80/20 apresentar uma maior quantidade do particulado, a sua coloração possui uma tonalidade mais escura do que o PP 90/10.

A diferença de tonalidade entre os corpos de prova do PPEI 100/0 e PPI 100/0, figura 4.4, indica a presença de degradação oriunda do processo de extrusão.

De acordo com Oliveira et al. (2015), durante o processamento por extrusão, os polímeros são expostos a severas taxas de cisalhamento e altas

temperaturas as quais causam a sua degradação termodinâmica levando a uma redução de suas massa molar, podendo modificar suas propriedades mecânicas, reologias e ópticas.

Oliveira et al. (2015) ao avaliar a degradação de polipropileno sob múltiplas extrusões, observou a variação da cor das amostras injetadas à medida que aumentava o número de extrusões.

Grillo, Caceres e Canevarolo (2011) em seus estudos afirmam que a degradação termomecânica do PP após múltiplas extrusões gera um aumento na concentração de compostos carbonílicos e insaturações. A partir de seus estudos, concluíram que os compostos carbonílicos como cetonas, aldeídos, ácidos carboxílicos e insaturações tendem a tornar o polipropileno, originalmente de cor azul esverdeado, para uma cor amarelada esverdeada.

#### 4.3 ENSAIO DE DENSIDADE VOLUMÉTRICA

Os valores de densidade para o polipropileno puro e seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco podem ser visualizados na Tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2. Dados obtidos através dos ensaios de densidade.

<b>Composição</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desvio padrão</b>
PPI 100/0	0,985	0,020
PPEI 100/0	1,067	0,046
PP 90/10	1,003	0,054
PP 80/20	1,054	0,027

Fonte: Autoral.

O valor de densidade de 0,985 g/cm<sup>3</sup> obtido para o polipropileno puro processado por injeção (PPI 100/0) foi semelhante ao valor de 0,9 g/cm<sup>3</sup> fornecido pela empresa Braskem.

Logo, o processo de extrusão levou o aumento da densidade do polipropileno de 0,985 para 1,067. Segundo Grillo, Caceres e Canevarolo (2011), esse aumento de densidade está ligado às reações ocorridas durante o processo de extrusão, além da degradação térmica e cisalhante.

A presença do resíduo lignocelulósico possibilitou a diminuição da densidade do polipropileno nas mesmas condições de fabricação.

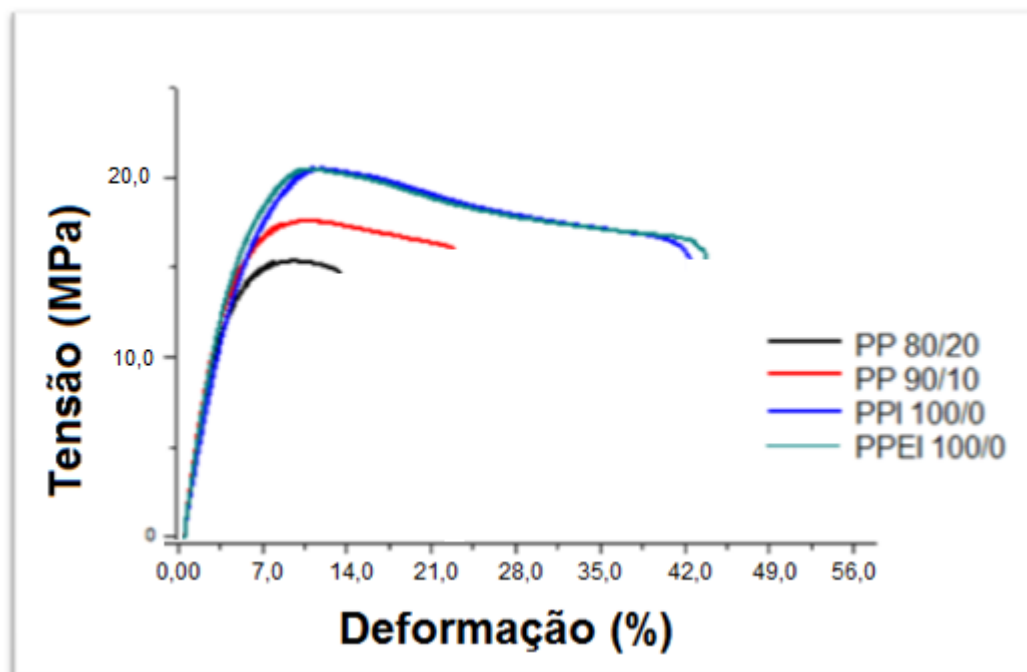
Logo, os valores de densidade para as quatro formulações foram bem próximas, evidenciando que o particulado do endocarpo do coco não modificou de forma sucinta o valor de densidade do polímero.

#### 4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL

A partir deste item será feita a apresentação e a comparação dos dados obtidos nos ensaios mecânico de tração uniaxial para o polipropileno e os seus compósitos.

O diagrama tensão x deformação dos ensaios de tração dos compósitos de polipropileno com cargas particuladas do endocarpo do coco e das composições puras de polipropileno podem ser visualizados na Figura 4.5, a seguir.

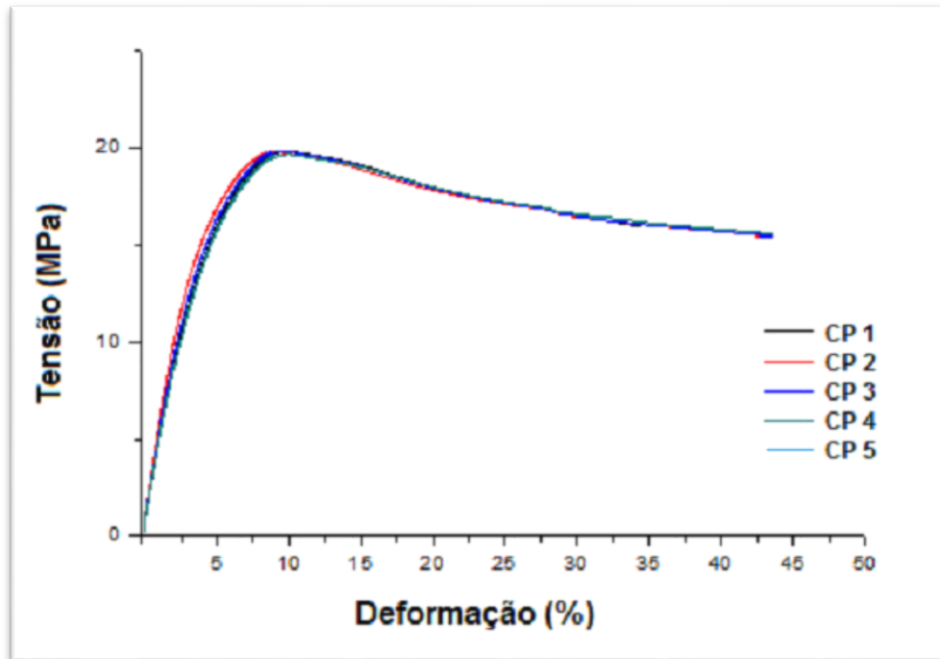
Figura 4.5. Diagrama tensão-deformação obtido através de ensaio de tração uniaxial para os materiais.



Fonte: Autoral

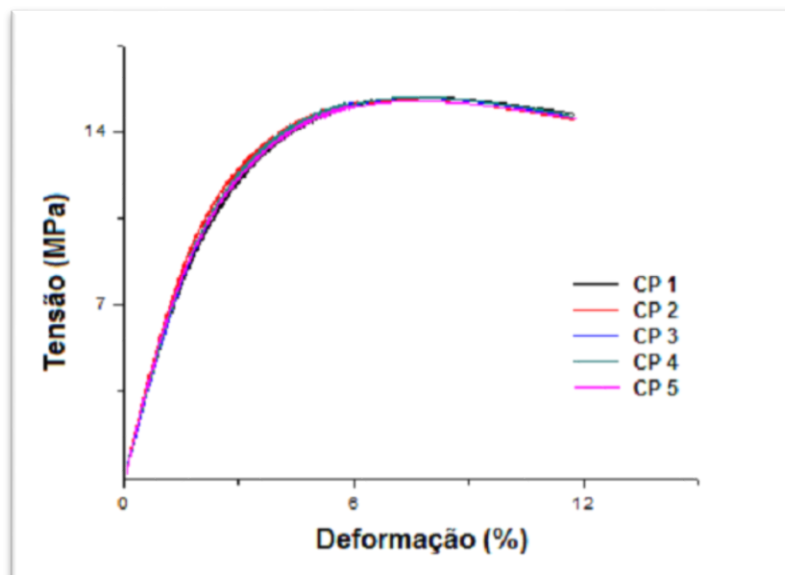
Os diagramas tensão x deformação dos cinco corpos-de-prova no ensaio de tração para o polipropileno puro (PPEI 100/0) e com participação do particulado (PP 80/20) estão ilustrados nas Figuras 4.6 e 4.7, respectivamente.

Figura 4.6. Diagrama tensão deformação do polipropileno puro extrudado e injetado.



Fonte: autoral

Figura 4.7. Diagrama tensão deformação do polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 80/20).

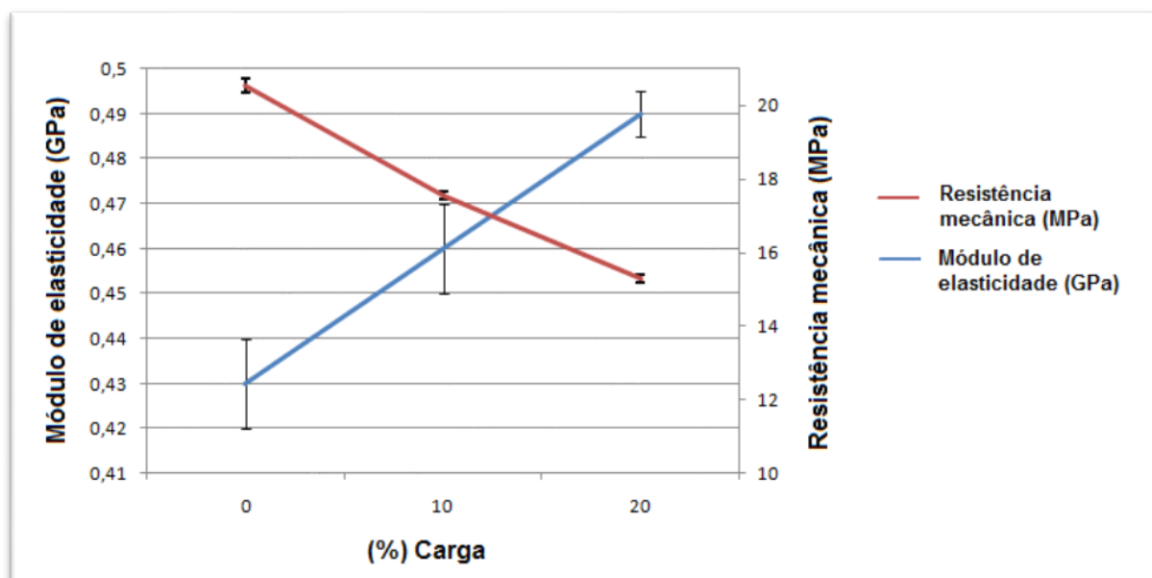


Fonte: autoral.

Ao analisar o diagrama tensão x deformação, figura 4.5, percebe-se que a adição do particulado do endocarpo do coco promoveu diminuição da deformação específica do polipropileno (ductilidade) à medida que foi elevada a quantidade de carga.

Além disso, o aumento da quantidade de carga na matriz de polipropileno também promoveu a diminuição do seu limite de resistência mecânica. Por outro lado, a participação da carga na matriz possibilitou um aumento do módulo de elasticidade do polipropileno, conforme a Figura 4.8 a seguir, que relaciona os valores de módulo de elasticidade e resistência mecânica com a quantidade de carga na matriz.

Figura 4.8. Efeito nas propriedades mecânicas através da adição do particulado do endocarpo de coco na matriz de polipropileno.



Fonte: Autoral.

O aumento no módulo de elasticidade do Polipropileno quando adicionado o particulado do endocarpo do coco é decorrente da perda de mobilidade da matriz.

Os valores dos módulos de elasticidade, das tensões últimas, tensões de ruptura, bem como os seus respectivos valores de deformações, obtidos nos ensaios de tração podem ser visualizados, na Tabela 4.3, a seguir.

Tabela 4.3. Dados obtidos através dos ensaios de tração.

Propriedades	PPEI 100/0	Desvio Padrão	PPI 100/0	Desvio Padrão	PP 90/10	Desvio Padrão	PP 80/20	Desvio Padrão
<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>0,44</b>	0,008	<b>0,43</b>	0,014	<b>0,46</b>	0,013	<b>0,49</b>	0,006
<b>Tensão última (MPa)</b>	<b>20,39</b>	0,25	<b>20,54</b>	0,12	<b>17,57</b>	0,07	<b>15,30</b>	0,06
<b>Deformação na tensão última (%)</b>	<b>8,6</b>	0,007	<b>10,0</b>	0,002	<b>10,0</b>	0,003	<b>8,7</b>	0,002
<b>Tensão de ruptura (MPa)</b>	<b>15,39</b>	0,058	<b>15,13</b>	0,58	<b>16,51</b>	0,22	<b>14,06</b>	0,11
<b>Deformação na tensão de ruptura (%)</b>	<b>43,0</b>	0,025	<b>42,0</b>	0,11	<b>23,0</b>	0,012	<b>12,0</b>	0,015

Fonte: Autoral.

Ao analisar os resultados das propriedades mecânicas a partir do ensaio de tração na Tabela 4.3, percebe-se que a presença do resíduo lignocelulósico como carga em 10% wt aumentou 4,0 % o módulo de elasticidade, diminuiu 14,0 % da tensão última, aumentou 7,0 % a tensão de ruptura e diminuiu 46,5 % a deformação de ruptura em relação ao polipropileno puro.

Enquanto a carga de 20% wt na matriz de polipropileno aumentou 11,3 % o módulo de elasticidade, diminuiu 25,0 % na tensão última, diminuiu 8,6 % na tensão de ruptura e diminuiu 72,1 % a deformação de ruptura em relação ao polipropileno puro.

Os valores das propriedades mecânicas obtidas tanto para o Polipropileno puro injetado quanto para o Polipropileno puro extrudado e injetado apresentaram resultados próximos. A pequena diferença das propriedades mecânicas evidencia que o processo de extrusão, com a faixa de temperatura de extrusão utilizada, não promoveu degradação térmica e cisalhante suficiente para variar de forma significativa o comportamento mecânico do Polipropileno.

Oliveira et al. (2015), em seus estudos com o processamento do polipropileno sob múltiplas extrusões, observou através do índice de fluidez,

que houve degradação por cisão de cadeia e pela a espectrofotometria a mudança de cor do polímero, porém as múltiplas extrusões não foram suficientes para promover mudanças nas propriedades mecânicas do polipropileno copolímero.

O alto valor de deformação apresentado para o polipropileno puro está ligado a sua temperatura e organização das estruturas moleculares durante o ensaio de tração. Por ser considerado um polímero semicristalino, as regiões amorfas presentes nas temperaturas entre a transição vítrea e de fusão possibilitam essa mobilidade.

Canevarolo e Sebastião (2006) afirmam que a mobilidade dos polímeros esta relacionada com as temperaturas em que os mesmos se encontram. Em baixas temperaturas ( $T < T_g$ ), a cadeia polimérica não tem mobilidade suficiente para permitir grandes deformações, e o comportamento do polímero é rígido, chamado vítreo, pois se parece com vidro. Em temperatura intermediária ( $T_g < T < T_m$ ), a mobilidade existe apenas na fase amorfa, sendo que a fase ainda mantém-se rígida. Nesta condição, o comportamento físico do polímero é uma situação intermediária, pois os segmentos de cadeias da fase amorfa são flexíveis, mas estão ancorados pelos demais segmentos pertencentes à fase cristalina. Em altas temperaturas ( $T > T_m$ ), todas as cadeias são flexíveis, podendo escoar uma sobre as outras. Este comportamento dito viscoso é característico dos fluidos que têm suas moléculas livres para se movimentar.

Agunsoye, Isaac e Samuel (2012) ao estudarem o comportamento mecânico de matriz polimérica reforçada com o particulado do endocarpo do coco, observaram a diminuição da resistência à tração e deformação específica dos compósitos com o aumento da porcentagem do coco na matriz polimérica, enquanto o módulo de elasticidade diminuiu para matrizes com 5% em volume de carga, mas em seguida para composições entre 10 e 25 % em volume de carga, o módulo de elasticidade aumentou, tendo a formulação de 25 % com maior valor de módulo de 0,69 GPa, enquanto a composição pura com módulo de 0,65 GPa.

Diferentemente, Santos (2012) observou um diminuição do módulo de elasticidade de polipropileno reciclado ao adicionar o particulado do endocarpo de coco nas proporções de 2%, 5% e 10%. De acordo com Santos (2012), a

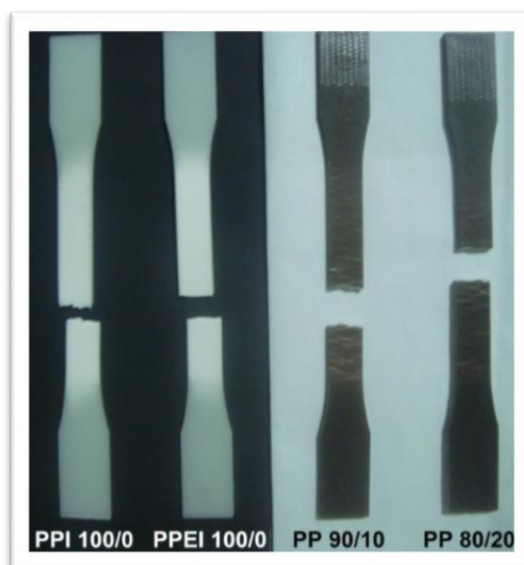
diminuição do módulo de elasticidade do polipropileno está relacionada com a presença de ar na matriz do compósito resultante dos processos de extrusão e injeção dos corpos de provas. Logo, os valores das demais propriedades mecânicas, obtidas em seus ensaios de tração, tiveram comportamentos semelhantes às propriedades obtidas neste trabalho.

Sarki *et al.* (2010) afirma que as propriedades mecânicas dos compósitos naturais com presença de carga particulada dependem de vários fatores, tais como: comportamento tensão deformação entre cargas e matriz, as frações de volume de fase, concentração de carga, distribuição e orientação das cargas.

Ao utilizar particulado do endocarpo do coco em 0 wt%, 10 wt% e 20 wt% em matriz polimérica, Sarki *et al.* (2010) constatou uma redução na deformação de 88,4% para a composição de 10 wt% e 92% para a composição de 20 wt% em relação ao polímero puro, enquanto o módulo de elasticidade aumentou 13,4 % para a formulação 10 wt% e 15 % para a formulação de 20 wt%, ambos em relação ao polímero puro.

Os corpos-de-prova fraturados a partir dos ensaios de tração podem ser visualizados na figura 4.9.

Figura 4.9. Corpos de prova fraturados de Polipropileno puro e de seus compósitos com o particulado do endocarpo do coco a partir dos ensaios de tração.



Fonte: Autoral.



O processo de fratura envolve a formação de microfissuras e a superfície apresenta, normalmente, bandas de deformação plástica e zonas de rasgamento, associadas à rede de vazios e fibrilas. A ductilidade das fibrilas modifica a textura da superfície de fratura. Pode ocorrer, também, o aparecimento de corrugações, que são resultantes da retração das fibras do material, após o rompimento, e que se desenvolvem, em geral, perpendicularmente ao eixo de solicitação.

Para os plásticos reforçados, também ocorre o surgimento das linhas esbranquiçadas (microfissuras) na matriz devido ao carregamento. De acordo com Silva (2008), a intensidade da carga responsável pelo início da microfissuração na matriz, definida como “carga de início de dano”, geralmente corresponde à metade da carga de fratura (tensão de ruptura) e costuma influenciar de forma direta o comportamento mecânico do material, ou seja, a resistência e módulo de elasticidade.

A Figura 4.10 a seguir, apresenta as linhas esbranquiçadas no corpo de prova, originadas na deformação plástica do compósito polimérico a partir da aplicação dos esforços durante o ensaio de tração.

Figura 4.10. Linhas presentes no corpo de prova fraturado de polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 90/10).

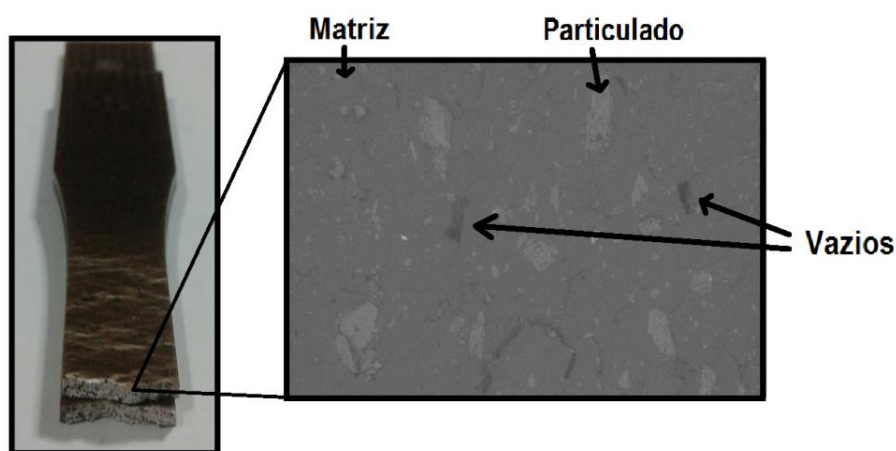


Fonte: Autoral.

Além disso, o surgimento da fase esbranquiçada nos corpos-de-prova de polipropileno é oriundo da formação do alinhamento das cadeias de polipropileno, levando a um alto grau de ordenamento molecular localizado, ou seja, a formação de uma fase cristalina mais rígida.

As imagens obtidas a partir da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para as superfícies fraturadas dos corpos de prova dos compósitos através do ensaio de tração uniaxial estão demonstradas nas Figuras 4.11, 4.12 e 4.13 a seguir.

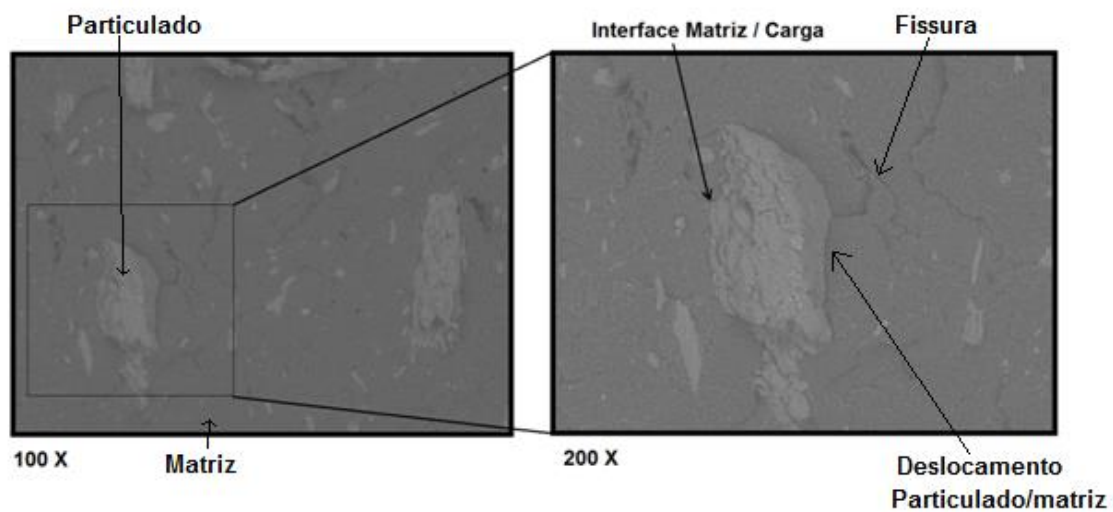
Figura 4.11. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 40X.



Fonte: Autoral.

Na seção fraturada do compósito particulado, Figura 4.12, é possível visualizar os particulados dispersos na matriz, além das fissuras da matriz devido aos esforços durante o ensaio, bem como o deslocamento da carga em relação a matriz.

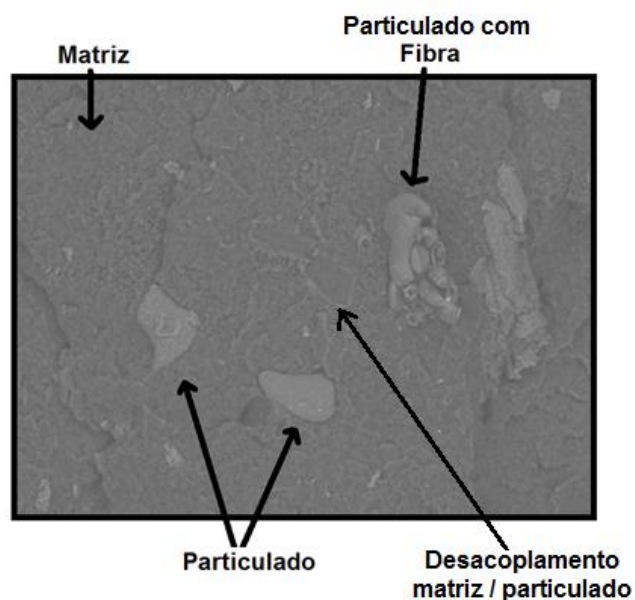
Figura 4.12. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 100X e 200X.



Fonte: Autoral

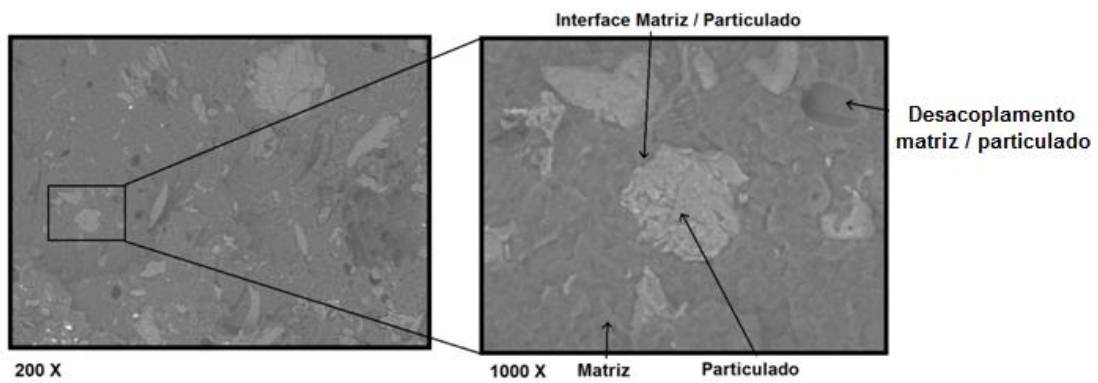
As figura 4.13 e 4.14 demonstram as regiões de desacoplamento da carga com a matriz e o particulado com a presença de fibra lignocelulósica em seu interior. O particulado do endocarpo do coco, conforme a seção fraturada, não apresenta fissura devido à elevada dureza fornecida pela lignina.

Figura 4.13. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 90/10 com 400X.



Fonte: Autoral

Figura 4.14. Imagem por MEV para superfície fraturada do PP 80/20 com 200X e 1000X.



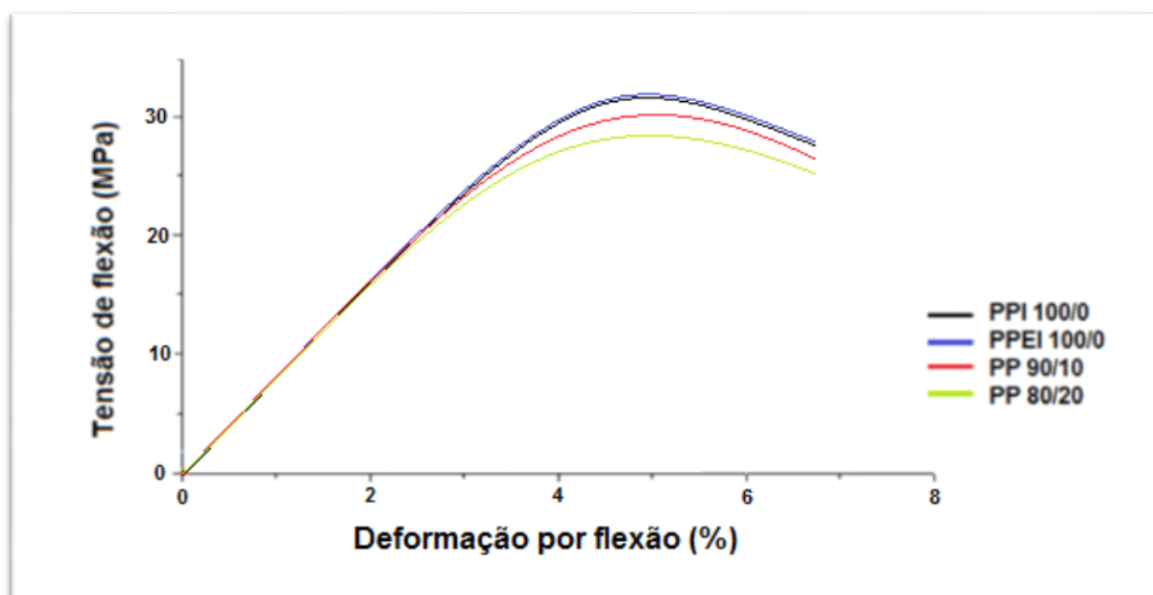
Fonte: Autoral

Conforme analisado na Microscopia Eletrônica de Varredura, a carga particulada do endocarpo do coco forneceu dificuldade na movimentação das cadeias poliméricas do polipropileno durante o esforço de tração. Além disso, a propagação da trinca na matriz não conseguiu comprometer a estrutura do particulado.

#### 4.5 ENSAIO DE FLEXÃO

A Figura 4.15 apresenta o comportamento no ensaio de flexão para o Polipropileno puro e com a participação da carga particulada do endocarpo do coco.

Figura 4.15. Diagrama tensão-deformação obtido através de ensaio de flexão para os materiais.



Fonte: Autoral

A Tabela 4.4 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade à flexão, deflexão e tensão de ruptura e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 4.4. Valores de módulo de elasticidade, tensão de ruptura e deflexão para o polipropileno e seus compósitos obtidos no ensaio de flexão.

Propriedades	PPI 100/0	Desvio padrão	PPEI 100/0	Desvio padrão	PP 90/10	Desvio padrão	PP 80/20	Desvio padrão
<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>1,18</b>	0,037	<b>1,25</b>	0,027	<b>1,33</b>	0,024	<b>1,36</b>	0,022
<b>Tensão Ruptura (MPa)</b>	<b>32,08</b>	0,44	<b>32,27</b>	0,49	<b>30,24</b>	0,65	<b>27,86</b>	0,74

Fonte: Autoral.

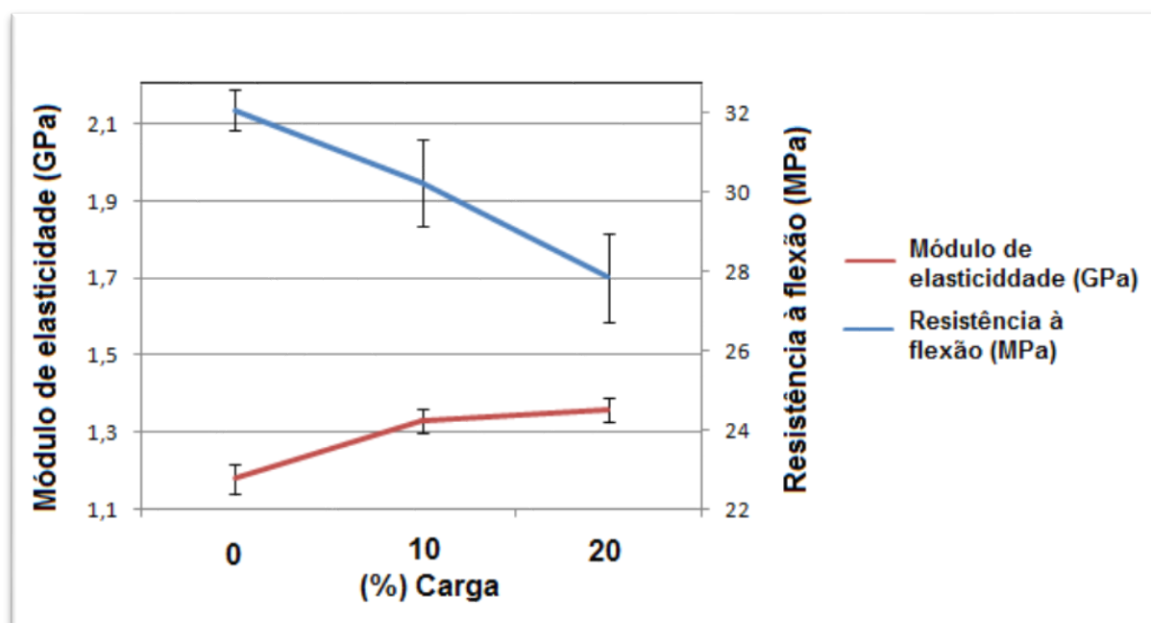
Conforme os valores apresentados na tabela 4.4, a adição do particulado do endocarpo do coco como fase dispersa na matriz de polipropileno possibilitou o aumento de seu módulo de elasticidade à flexão e diminuição da tensão ruptura de flexão.

Em relação ao polipropileno puro extrudado e injetado (PPEI 100/0), o aumento do módulo de elasticidade à flexão com a adição do particulado em 10% wt foi de 6,4%, enquanto para o compósito com 20% wt do particulado foi de 8,8%.

Já em relação ao polipropileno injetado (PPI 100/0), o aumento do módulo de elasticidade à flexão com a adição do particulado em 10% wt foi de 12,7%, enquanto para o compósito com 20% wt do particulado foi de 15,2%.

A Figura 4.16 relaciona a diminuição da resistência à flexão do Polipropileno com o aumento do módulo de elasticidade promovido pela presença da carga particulada.

Figura 4.16. Efeito nas propriedades de flexão através da participação do particulado do endocarpo do coco.



Fonte: Autoral.

Os diagramas tensão x deformação para os corpos de provas do polipropileno puro injetado (PPI 100/0) e polipropileno com o particulado do endocarpo do coco (PP 80/20) estão ilustrados nas figuras 4.17 e 4.18 a seguir.

Figura 4.17. Diagrama tensão x deformação do polipropileno injetado para o ensaio de flexão.

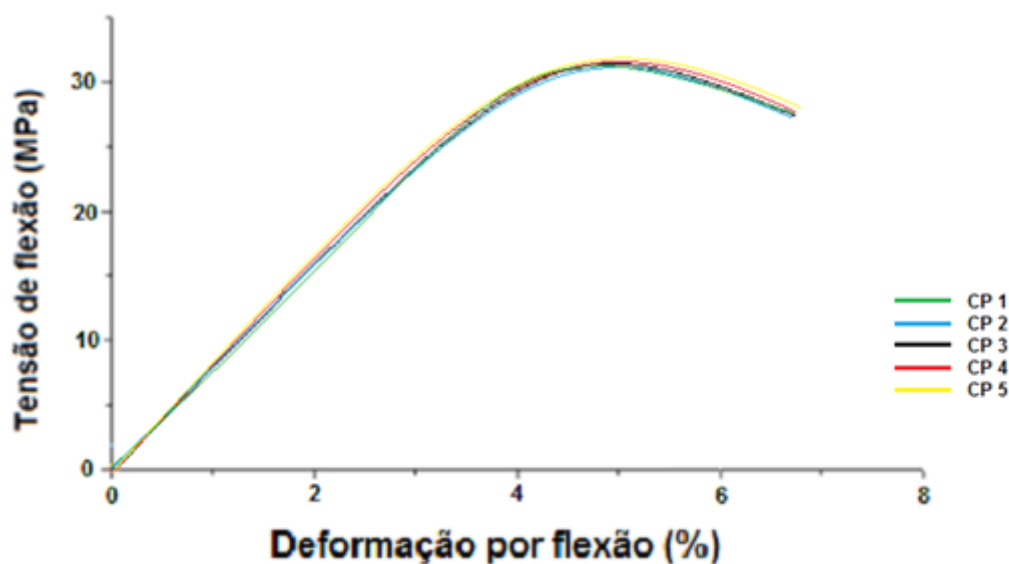
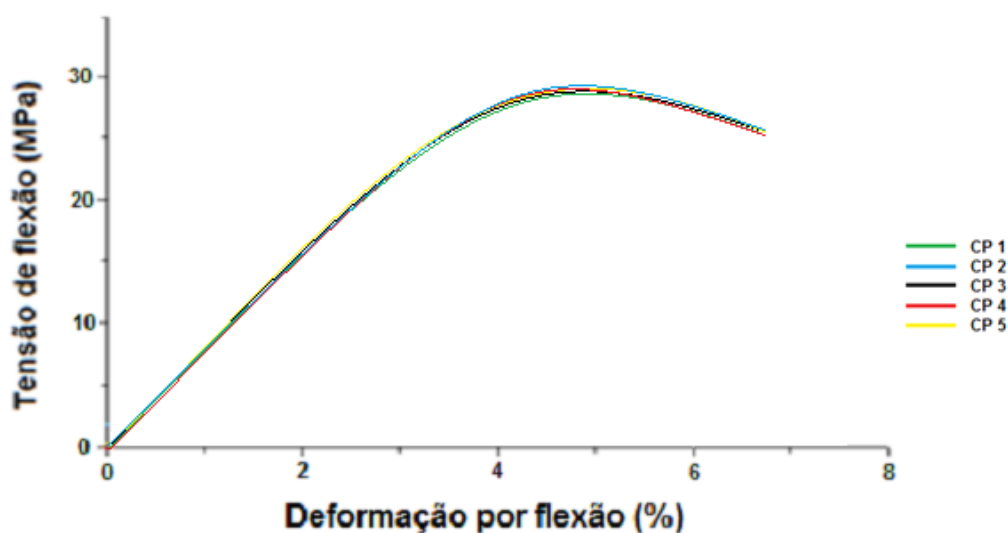


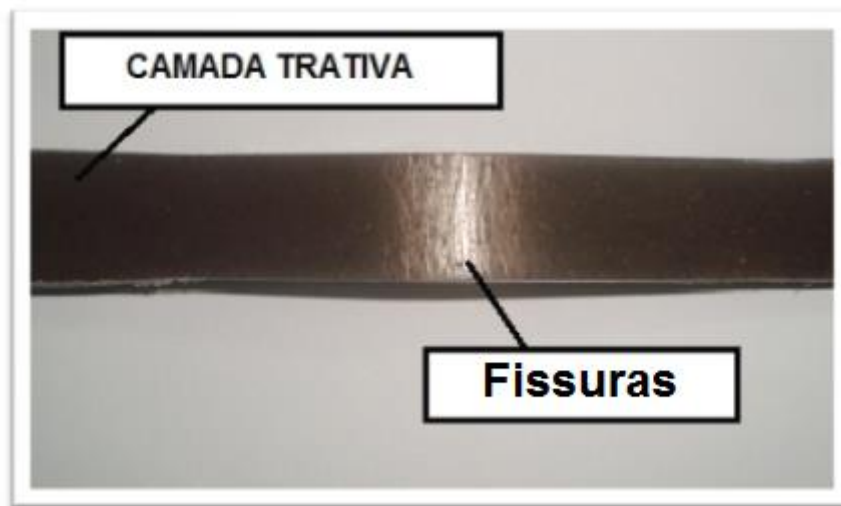
Figura 4.18. Diagrama tensão x deformação do polipropileno com particulado do endocarpo do coco (PP 80/20) para o ensaio de flexão.



Os corpos-de-prova, tanto do polipropileno puro como dos compósitos, não foram rompidos totalmente durante o ensaio de flexão, apresentando rasgamento na superfície trativa. A alta flexibilidade apresentada pelos corpos-de-prova está relacionada com a temperatura em que o ensaio foi realizado. Com uma temperatura de transição vítrea em torno de 4 a 12 °C e uma

temperatura de ensaio em torno de 25 °C, o polipropileno e os seus compósitos apresentam mobilidade estrutural suficiente para não haver seu total rompimento. A Figura 4.19 apresenta as fissuras transversais na camada trativa do corpo de prova do compósito após a realização do ensaio de flexão.

Figura 4.19. Representação das fissuras transversais na camada trativa do compósito para o ensaio de flexão.



Fonte: Autoral.

O comportamento dos polímeros depende da sua mobilidade molecular, ou seja, da sua estrutura, e das condições de ensaio. A temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , é uma transição de segunda ordem e representa a temperatura, em que a mobilidade das cadeias moleculares, devido à rotação de grupos laterais em torno de ligações primárias, se torna restrita devido à coesão molecular. Se à temperatura ambiente o polímero está acima da sua  $T_g$ , o material é flexível; se estiver abaixo da sua  $T_g$  e não apresentar outras transições secundárias, o material é rígido e frágil (HARADA, 2004).

Para Rozman et al (2000) tanto a lignina quanto a hemicelulose, presente no endocarpo, resistem bem aos esforços transversais, assim as paredes celulares sofrem menos alterações em sua estrutura por esses esforços. As regiões ricas de endocarpo resistem bem à compressão devido à alta quantidade de lignina nessa região, e também por serem particulados. Materiais utilizados como cargas, na forma de particulado, têm a característica de resistir bem à compressão. Já a celulose favorece a região de tração, em

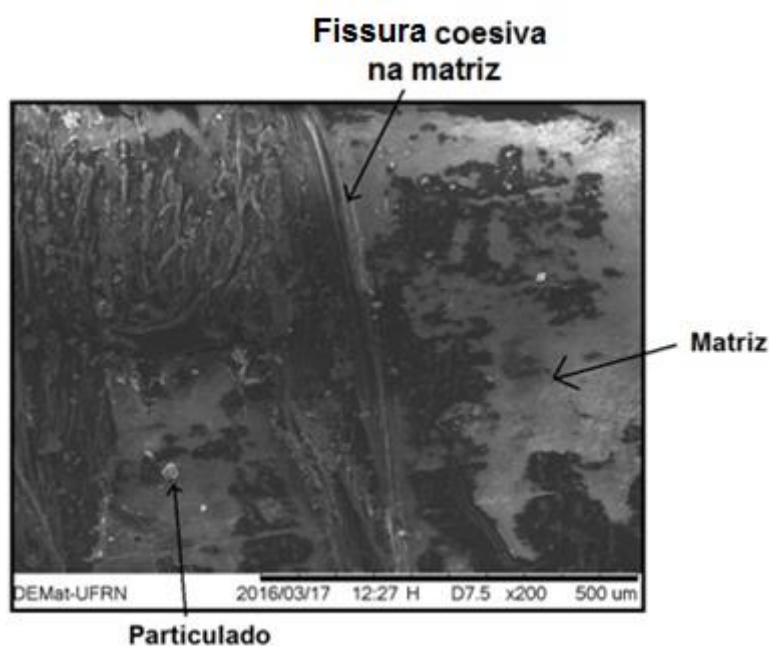


que maiores quantidades de celulose conferem ao material uma melhor resistência à tração.

Sapuan et al. (2003), ao aplicar carga em formato de particulado de endocarpo do coco em matriz polimérica, verificou o aumento do módulo de elasticidade à flexão em 21,7% do compósito de 10% wt em relação a formulação de 5% wt. Esse aumento do módulo de acordo com Sapuan et al. (2003) está relacionado com interação entre a matriz polimérica e a carga.

Na figura 4.20, é possível observar a fissura coesiva na superfície trativa do corpo de prova após o ensaio de flexão. A fissura no polipropileno é oriunda do rasgamento das fibrilas formadas durante a aplicação dos esforços, sendo orientada transversalmente a aplicação da carga.

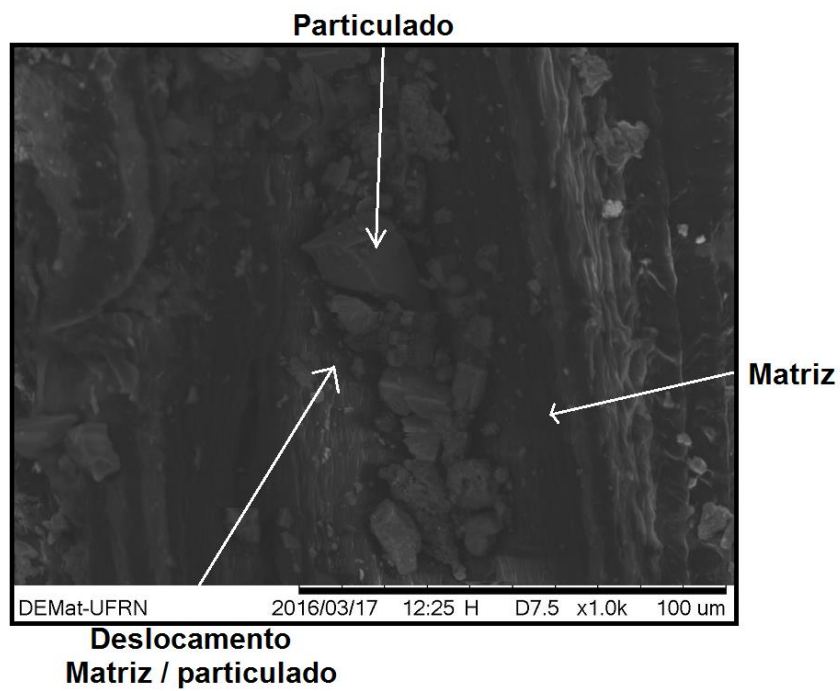
Figura 4.20. Imagem obtida por MEV para superfície trativa no ensaio de flexão em 200X.



Fonte: Autoral

A figura 4.21 apresenta o deslocamento das cargas particuladas na superfície trativa da matriz polimérica. De acordo com a imagem, o particulado do endocarpo do coco não sofreu fratura com a aplicação dos esforços no ensaio de flexão. Esse comportamento está relacionado com alta resistência da lignina presente nos resíduos lignocelulósicos.

Figura 4.21. Imagem obtida por MEV para superfície trativa no ensaio de flexão em 1000X.



Fonte: Autoral

## 5 CONCLUSÕES

Este capítulo trata das conclusões derivadas das análises realizadas nos capítulos anteriores. Assim têm-se as conclusões referentes aos ensaios físicos e mecânicos dos compósitos, as conclusões referentes à caracterização do endocarpo do coco, inclusive pelas micrografias realizadas, além disso, serão apresentadas as conclusões referentes à fratura.

Em relação à caracterização do endocarpo do coco, conclui-se que a curva obtida na análise termogravimétrica representa o comportamento dos resíduos lignocelulosicos, sendo representadas as faixas de degradação da hemicelulose, celulose e lignina. Para obtenção da faixa granulométrica, o melhor método encontrado foi o moinho de martelo, porém com a presença de desgastes em sua estrutura, ele proporcionou um baixo rendimento para a faixa utilizada na fabricação dos compósitos. Ao serem analisados pela microscopia, os particulados apresentaram formatos esféricos e alongados, além da presença de fibras em seu interior.

Para os processos de extrusão e injeção conclui-se que a faixa de temperatura para processamento dos compósitos, não possibilitou degradações cisalhantes e térmicas significativas na matriz e no endocarpo do coco. O método de alimentação em porções, da mistura do particulado com o polímero, no funil da extrusora dupla rosca, possibilitou a formação dos corpos de prova com distribuição uniforme. Além disso, a faixa granulométrica adotada não promoveu obstrução na matriz da extrusora e no bico da injetora.

No que diz respeito ao ensaio de densidade volumétrica, a presença do endocarpo do coco não modificou significativamente a densidade do polipropileno, possibilitando a utilização dos compósitos em aplicações de estruturas leves.

No que concerne ao ensaio uniaxial de tração, a carga particulada aumentou os valores dos módulos de elasticidade à tração do Polipropileno, promovendo uma resistência na mobilidade das cadeias poliméricas durante a aplicação dos esforços. Ademais, ela promoveu a redução da ductilidade e da resistência mecânica, como esperado para os materiais que possuem cargas

particuladas dispersas em seu interior. Esses valores foram intensificados à medida que aumentou as concentrações dessas cargas na matriz. Para o estudo da fratura, o particulado do endocarpo não apresentou degradação nas superfícies fraturadas dos corpos de prova devido a sua elevada resistência. Além disso, foram observadas formações de linhas transversais ao sentido de aplicação do esforço, devido ao rompimento das regiões amorfas do polímero.

Nas conclusões referentes ao ensaio de flexão, os resultados a partir do diagrama tensão x deflexão indicaram que os compósitos com a carga do endocarpo apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade. Por outro lado, o valor da tensão de ruptura do polipropileno foi diminuído com a presença da carga particulada. Com relação à característica da fratura, a camada compressiva não sofreu dano algum, provavelmente devido a presença da lignina no endocarpo, que pela sua micrografia resiste mais a esforços compressivos. Na região de tração o dano age mais efetivamente na matriz polimérica.

As análises dos comportamentos mecânicos e físico do compósito polimérico, fabricado neste trabalho, a partir do endocarpo do coco, evidenciaram a aplicabilidade dessa carga natural para fabricação de materiais. Além disso, o endocarpo do coco utilizado como carga proporciona redução de custo na produção e na reciclagem, quando comparado com os valores comerciais das cargas sintéticas.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avaliar o comportamento do particulado do endocarpo do coco com variação de faixa granulométrica.

Utilizar o compósito fabricado neste trabalho em aplicações onde haja necessidade de um material polimérico com maior rigidez.

Avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos após absorção de água.

Estudar as características mecânicas dos compósitos de polipropileno com outras concentrações de carga particulada.

Acompanhar a interferência das propriedades mecânicas de outras matrizes com a adição do particulado do endocarpo do coco.

Realizar estudo para melhorar a resistência mecânica do compósito.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUNSOYE, J. Olumuyiwa; ISAAC, Talabi S.; SAMUEL, Sanni O.. **Study of Mechanical Behaviour of Coconut Shell Reinforced Polymer Matrix Composite**. Journal Of Minerals And Materials Characterization And Engineering. Nigeria, p. 774-779. 22 abr. 2012.

AGUIAR, Carlos. **Botânica para Ciências Agrárias e do Ambiente**. 2. ed. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, 2013. 48 p.

ALFREDO, E. F.; SILVA, L. G. Caracterização do Compósito de Polipropileno com cinza de casca de Arroz. **19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 2010.

ANTUNES, Marcela Caroline. **Durabilidade mecânica de compósitos de polipropileno com reforço híbrido de fibra de coco e talco**. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

ARAÚJO, Jorge Franciso de. **Estudo de propriedades mecânicas do Polipropileno Moldado por Injeção em insertos de resina**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e Materiais, Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação do Campus de Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010.

BEDIN, Matheus Guilhen. **COMPÓSITO COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE E FIBRA DE COCO IN NATURA E MODIFICADA**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

BENASSI, Antonio Carlos et al. **Caracterização biométrica de frutos de coqueiro, Cocos nucifera L. variedade anã-verde, em diferentes estádios de desenvolvimento**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal,

v. 29, n. 2, p.30-40, 30 jul. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-9452007000200022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-9452007000200022)>. Acesso em: 14 fev. 2014.

BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. Londres; Boston: Butterworth Scientific, 1982.

CALLISTER, William; RETHWISCH, David. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 790 p.

CAMBUIM, Karina Beltrão. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações**. 2009. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Departamento de Departamento de Química, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2009. Disponível em: <[http://150.165.145.1/posgrad/teses/Tese\\_Karina\\_Beltrao.pdf](http://150.165.145.1/posgrad/teses/Tese_Karina_Beltrao.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2014.

CANDIAN, Livia Matheus. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. 2007. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carços, 2007.

CANEVAROLO jr,; SEBASTIÃO V. **Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2006. 282 p.

CORDEIRO, Edna Maria Silva. **Biocompósitos polimericos obtidos a partir da fração lignocelulósica e amilácea do caroço de manga (mangifera indica), tommy atkins**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

COUTINHO, João Carlos. **Contribuição para a destinação final dos resíduos de coco: geração de energia a base da casca.** Revista da Ciência da Administração, Pernambuco, p.32-34, 09 ago. 2010. Mensal.

CRAWFORD, R. J. **Plastic Engineering**, 3rd Ed Butterworth-heinemann, 1998.

DUTRA, Regiane Defácio. **Estudo da dispersão de pigmentos orgânicos em resina de polipropileno para aplicação em fibras e filamentos.** 2009. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

FAO 2014. **World Production.** Disponível em: <[www.faostat.org.br](http://www.faostat.org.br)>. Acesso em: 11 fev. 2014.

FARUK, Omar et al. **Progress in Polymer Science: Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010.** Elsevier. Philadelphia, p. 1552-1596. maio 2012.

FELIPE, Renata Carla. **Materiais Compostos.** Departamento acadêmico de Tecnologia Industrial, Curso superior em tecnologia da fabricação mecânica, Centro Federal de Educação Tecnológica do RN, Natal, 2008. 59 p.

FERREIRA, J. A., COSTA J. D., REIS P. N. B. **Static and fatigue behaviour of glass- fibre-reinforced polypropylene composites,** Elsevier Science, Portugal, 1999.

FERREIRA NETO, Miguel. **Doses de N e K aplicadas via fertirrigação na cultura do coqueiro (*Cocos Nucífera Linn*) anão.** Tese. Piracicaba. São Paulo. Maio 2005.



FONTENELE, Raimundo Eduardo Silveira. **Cultura do coco no Brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras**. 2005. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/2/168.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

FONTES, Humberto Rollemberg; WANDERLEY, Mucio. **Situação Atual e Perspectivas para a Cultura do Coqueiro no Brasil**. 2006. Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2006/doc-94.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2006/doc-94.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2014.

GRILLO, Diogo C.; CACERES, Carlos A.; CANEVAROLO, Sebastião V.. **Análise colorimétrica do polipropileno após degradação termomecânica sob múltiplas extrusões**. 11º Congresso Brasileiro de Polímeros, São Carlos, p.1-7, out. 2011.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. São Paulo. Editora: Artliber. 2004.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisa>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

LUMATECH. **Moldes para injetoras de plástico com HSM High Speed Machining**. 2014. Disponível em: <<http://www.lumatech.com.br/moldes-para-injetoras-de-plastico-com-hsm-high-speed-machining/>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

LUZ, S. M. **Estudo das propriedades mecânicas, interface morfologia de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bagaço e palha de cana**. 153 f. Tese de doutorado, Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2008.

LEÃO, Rosineide Miranda. **Tratamento superficial de fibra de coco e aplicação em matérias compósitos como reforço do polipropileno**. 89 f.

Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, 2012.

LOPES, P.E. **Influência das características do compatibilizante de polipropileno maleificado nas propriedades mecânicas de polipropileno reforçado com fibras de vidro curtas.** Dissertação de mestrado em ciência e engenharia de materiais, Universidade Federal de São Carlos, 2003.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos:** Rosca única; Extrusão e matrizes; Injeção e moldes. São Carlos: Artliber, 2005.

MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia,** Editora Edgar BlücherLtda,1991. p. 124-128.

MARTINS, Carlos Roberto; JESUS JÚNIOR, Luciano Alves de. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional – Panorama 2010.** 2011. Disponível em: <[www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_164.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2014.

MARTINS, José Vitor Bomtempo. **Innovationetorganisation: lescas de l'industriedespolymeres.** Tese (Doutorado), L'ecoleNationaleSuperieure Des Mines de Paris, Paris, 1994.

MELO, Naylor Sardinha de. **Comportamento mecânico do policarbonato exposto à radiação gama.** 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

MENDONÇA, P. T. R. **Materiais compostos e estruturas sanduíches,** Barueri, SP, 2005.

MONTENEGRO, Ricardo Sá Peixoto et al. **Polipropileno.** São Paulo: Bndes, 2000.

MORAES, Dijan Vinicius Osti de. **Avaliação de propriedades de fadiga de compósitos de polipropileno reforçado com fibra de coco.** 2013. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário da Fei, São Bernardo do Campo, 2013.

NIELSEN, L. E. **Mechanical Properties of Polymers and Composites.** 2º Ed. 1994.

OLIVEIRA, Raiza F. de et al. **Análise da degradação de polipropileno sob múltiplas extrusões.** 13º Congresso Brasileiro de Polímeros. Natal, out. 2015.

PAOLI, Marco-Aurelio. **Degradação e estabilização de polímeros.** Chemkeys, 2008.

PASSOS, E. E. M. FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (Eds) **A cultura do coqueiro no Brasil.** Brasília: Embrapa-SPI; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998. p. 57-64

REZENDE, M.C.; BOTELHO, E. C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial.** Polímeros, São Carlos, v. 10, n. 2, Jun. 2000.

ROZMAN, H. D. et al. **The effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber – polypropylene composites –** European Polymer Journal, V. 36, 2000, p. 1483 – 1494.

SANTOS, Alexandre Maneira dos. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia.** 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, Bianca Bastos dos. **Compósitos de polipropileno reciclado e pó de coco**. 51 f. Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SAPUAM, S. M. et al. **Mechanical properties of epoxy/coconut shell filler particle composites**. The Arabian Journal For Science And Engineering. Serdang, out. 2003.

SARKI et al. **Potential of using coconut shell particle fillers in eco-composite materials**. Elsevier: Journal of Alloys and Compounds. Nigeria, nov. 2010. p. 2381-2386.

SILVA, Dione Vicente da. **Competitividade da cadeia produtiva do coco: visão dos extensionistas da EMATER/RN na mesorregião leste potiguar do Rio Grande do Norte**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SILVA, Luiz Cláudio Ferreira da. **Utilização de Resíduo Lignocelulósico na Obtenção de Chapa de Madeira Aglomerada Homogênea e Compósito Reforçado com Vibra de Vidro-E**. 2008. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Centro de Ciência Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, Vanda dos Santos. **Regeneração in vitro de embriões de cocos nucíferas L**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SIQUEIRA, Luiz Alberto; ARAGÃO, Wilson Meneses; TUPINAMBÁ, Evandro Ameida. **A introdução do coqueiro no Brasil. Importância histórica e agrônômica**. 2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

SODRÉ, José Barbosa. **Morfologia das palmeiras como meio de identificação e uso paisagístico**. 2005. 65 f. Monografia (Especialização) - Curso de Cuso de Especialização em Plantas Ornamentais e Paisagismo, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2005. Disponível em: <<http://www.ceapdesign.com.br/sodre.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2014.

SOUSA, J.A. **Propriedades de Engenharia de Termoplásticos. Engenharia de Materiais**. DEMa, UFSCar, São Carlos. SP, 2005.

VERMA, D. **Coir Fibre Reinforcement and Application in Polymer Composites: A Review**. Jmes, India, p.266-267, 15 out. 2012.