

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

EDSON DE JESUS FILHO

**MANUAL DE FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS COM MATRIZES DE
POLIETILENO LINEAR DE BAIXA DENSIDADE REFORÇADOS COM
FIBRAS DE ABACÁ**

**VOLTA REDONDA
2017**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**MANUAL DE FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS COM MATRIZES DE
POLIETILENO LINEAR DE BAIXA DENSIDADE REFORÇADOS COM
FIBRAS DE ABACÁ**

Manual de fabricação que completa a dissertação apresentada e aprovada pelo Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Bojan Marinkovic, na área de concentração de Processamentos e Caracterização de Matrizes Poliméricas, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos.

Aluno: Edson de Jesus Filho

Orientador: Prof. Dr. Bojan Marinkovic

VOLTA REDONDA
2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

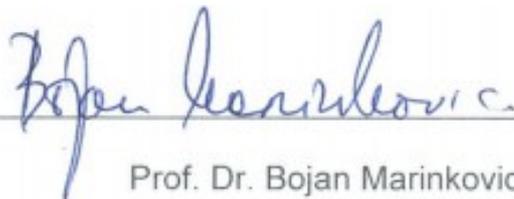
Aluno: Edson de Jesus Filho

PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATRIZES POLIMÉRICAS DE
POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE REFORÇADAS COM FIBRAS DE ABACÁ

Orientador:

Prof. Dr. Bojan Marinkovic

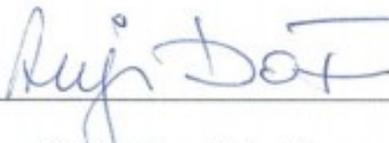
Banca Examinadora



Prof. Dr. Bojan Marinkovic



Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira



Profa. Dra. Anja Dosen

FILHO, E.J. **Manual De Fabricação De Compósitos Com Matrizes De Polietileno Linear De Baixa Densidade Reforçados Com Fibras De Abacá**. 2017. 34 f. Dissertação. (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda-RJ.

RESUMO

Este manual de fabricação completa a dissertação de Mestrado Profissional em Materiais de Edson de Jesus Filho, intitulada “Processamento e Caracterização de Matrizes Poliméricas de Polietileno de Baixa Densidade Reforçadas com Fibras de Abacá (2017)”. O manual discrimina as etapas de fabricação de compósitos de matrizes de polietileno linear de baixa densidade (PELBD), sob efeito de fibras de abacá inseridas em porcentagens variadas em sua matriz polimérica. A compatibilização desses compósitos foi realizada com anidrido maleico (MA), em dosagens mássicas pré-definidas de 5% da massa total, adicionados a abacá cuja porcentagem mássica no compósito foi de: 5%; 10%; 20% e 30%.

Palavras chave: abacá; propriedades mecânicas; polietileno de baixa densidade; fibras naturais.

FILHO, E.J. **Manual For The Manufacturing Of Composites With Low Density Linear Polyethylene Matrix Reinforced With Manila Hemp Fibers**. 2017. 34 f. Dissertation (Professional Master in Materials) - Foundation Oswaldo Aranha, University Center of Volta Redonda – UniFOA, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brazil.

ABSTRACT

This manufacturing manual completes the Edson de Jesus Filho dissertation titled "Processing and Characterization of Polymeric Matrices of Low Density Polyethylene Reinforced with Abaca Fibers (2017)". The manual discriminates the composites manufacturing steps formed by linear low-density polyethylene (LLDPE) matrix using maleic anhydride (MA) compatibilizer at pre-defined mass dosages of 5% of the total mass, supplemented with manila hemp, whose percentage of mass in the composite was: 5%; 10%; 20% and 30%.

Key words: low-density polyethylene; manila hemp; mechanical properties; natural fibers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de obtenção e caracterização dos compósitos	17
Figura 2 - Fibras de abacá em secagem, após recolhimento.....	18
Figura 3 - Cachos de abacá secos e prontos para utilização.....	19
Figura 4 - Tesoura de poda modelo 78300001, fabricação Tramontina.....	19
Figura 5 - Processo de moagem das fibras de abacá	20
Figura 6 - Moinho WILLYE, TE-650, fabricante TECNAL.....	20
Figura 7 - Peneira 35 MESCH, fabricante BERTEL.	21
Figura 8 - Estufa micro processada Q317M, de fabricação QUIMIS.....	22
Figura 9 - Homogeneizador / Misturador, modelo MH-100-H, fabricação MH EQUIPAMENTOS.	23
Figura 10 - Detalhe do trabalho termo mecânico dentro do homogeneizador.....	24
Figura 11 - Aspecto final das amostras trabalhadas termo mecanicamente dentro do homogeneizador.....	24
Figura 12 - Triturador granulador, modelo 114751, fabricação PLASTIMAX, equipado com motorização VOGES trifásica de 5 CV, 380 / 220 VAC, modelo V100L4.....	25
Figura 13 - Amostras embaladas e separadas após a trituração e granulação.	26
Figura 14 - (a) Extrusora DSC XPLORE, modelo 5-08-20, micro extrusora, micro ejetora e molde; (b) Micro extrusora; (c) Micro ejetora e (d) Interface micro extrusora.	27
Figura 15 - Corpo de prova extrudado de acordo com a Norma ASTM D638.....	28
Figura 16 - (a) 5 % abacá / 5 % MA / 90 % PELBD; (b) 10 % abacá / 5 % MA / 85 % PELBD; (c) 20 % abacá / 5 % MA / 75 % PELBD e (d) 30 % abacá / 5 % MA / 65 % PELBD.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ficha de Dados PELBD.	13
Tabela 2 - Características do MA	14
Tabela 3 - Composições das amostras	20
Tabela 4 - Parâmetros de extrusão das amostradas utilizadas no trabalho	26
Tabela 5 - Resultados médio dos ensaios à tração para as peças fabricadas.....	27
Tabela 6 - Valores da Tensão Máxima de Flexão e Módulo de Young para as peças fabricadas.....	28
Tabela 7 - Dureza Shore dos Compósitos Analisados.	28
Tabela 8 - Coeficientes de Expansão Térmica das peças fabricadas.	29
Tabela 9 - Avaliação das Curvas TGA das peças fabricadas.	29
Tabela 10 - Avaliação das Curvas DSC das peças fabricadas.	30
Tabela 11 - Ficha técnica da balança analítica de alta precisão modelo AY 220, fabricação SHIMADZU.	34
Tabela 12 - Ficha técnica do homogeneizador, modelo MH-100-H, Fabricação MH EQUIPAMENTOS.	36
Tabela 13 - Ficha técnica dos trituradores granuladores, fabricação PLASTIMAX. ...	37

LISTA DE SIGLAS

ABAC	abacá
CET	coeficiente de expansão térmica
CP	corpo de prova
DP	desvio padrão
DSC	calorimetria de varredura diferencial
DTG	termogavimetria derivada
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
MA	anidrido maleico
MEV	microscopia eletrônica de varredura
PE	polietileno
PEAD	polietileno de alta densidade
PEBD	polietileno de baixa densidade
PELBD	polietileno linear de baixa densidade
TGA	análise termogavimétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	MATERIAIS	12
3	FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	13
4	ETAPAS DO PROCESSO	14
4.1	Retirada das Tranças	14
4.2	Corte das Tranças	15
4.3	Moagem das Fibras de Abacá para Geração de Grãos	16
4.4	Peneiramento dos Grãos de Abacá em Dimensões Inferiores a 425 μ (35 MESCH)	17
4.5	Secagem dos Grãos	17
4.6	Pesagem e Composição das Amostras	18
4.7	Homogeneização das Amostras	19
4.8	Trituração das Amostras	21
4.9	Extrusão e Injeção	22
5	RESULTADOS ESPERADOS	25
5.1	Caracterização Mecânica	25
5.2	Caracterização Térmica	26
6	CONCLUSÕES	29
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
8	APÊNDICE	31
8.1	Anexo A - Moinho de Facas Tipo Willye TE-650/1, Fabricação TECNAL	31
8.2	Anexo B – Balança Analítica de Alta Precisão Modelo AY 220, Fabricação SHIMADZU	32
8.3	Anexo C - Homogeneizador, Modelo MH-100-H, Fabricação MH Equipamentos	33
8.4	Anexo D – Triturador Granulador Modelo 114751, Fabricação PLASTIMAX	35

1 INTRODUÇÃO

Este manual tem por objetivo completar a dissertação de Mestrado Profissional em Materiais de Edson de Jesus Filho, intitulada “Processamento e Caracterização de Matrizes Poliméricas de Polietileno de Baixa Densidade Reforçadas com Fibras de Abacá (2017)”.

Ao longo do mesmo buscamos retratar detalhadamente as etapas do processo de fabricação dos compósitos formados por matrizes poliméricas de polietileno linear de baixa densidade (PELBD), reforçadas com fibras de abacá em dosagens mássicas variadas de 5%, 10%, 20% e 30% da massa total do compósito, compatibilizadas por anidrido maleico (MA) em dosagens percentuais fixas de 5% da massa total do compósito.

As etapas do processo de fabricação aqui abordadas são as seguintes:

- Obtenção das fibras de abacá;
- Retirada de tranças;
- Corte das fibras de abacá;
- Moagem das fibras de abacá cortadas;
- Peneiramento dos grãos de abacá moídos;
- Secagem dos grãos;
- Pesagem das amostras para homogeneização e trituração;
- Homogeneização das amostras;
- Trituração e granulação das amostras;
- Extrusão das amostras &
- Injeção dos corpos de prova.

2 MATERIAIS

Para constituição dos compósitos analisados nesse trabalho, foram utilizadas fibras de abacá, polietileno linear de baixa densidade (PELBD) e anidrido maleico (MA). Coube as fibras de abacá, fornecidas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, o papel de reforço, enquanto que o polietileno linear de baixa densidade (PELD), fabricado pela BRASKEN, sob a referência HF3712, foi utilizado como matriz. O anidrido maleico (MA), produzido pela Elekeiroz, sob a referência 108-31-6, foi utilizado como agente de acoplamento e aderência entre o reforço e a matriz. As tabelas 1 e 2, apresentadas abaixo, mostram os dados técnicos do PELD e MA, respectivamente.

Tabela 1 - Ficha de Dados PELBD.

Ficha de Dados PELBD	
Físico	Valor nominal Unidade
Gravidade específica	0,937 g / cm ³
Melt Massa-Flow Rate (MFR) (190 ° C / 21,6 kg)	11 g / 10 min
Resistência-Cracking Stress ambiental	
- 2	> 900 hr
2.00 mm, 10% Igepal, Moldagem por compressão, F50	> 1500 hr
Mecânico	Valor nominal Unidade
Resistência à Tração (Rendimento, 2,00 milímetros, Moldagem por compressão)	19,0 MPa
Resistência à Tração (Break, 2,00 milímetros, Moldagem por compressão)	28,0 MPa
Alongamento (Rendimento, 2,00 milímetros, Moldagem por compressão)	12 %
Alongamento (Break, 2,00 milímetros, Moldagem por compressão)	1300 %
Módulo de Flexão Secante - 1% (2,00 milímetros, Moldagem por compressão)	682 MPa
Impacto	Valor nominal Unidade
Impacto Izod com entalhe (23 ° C, Moldagem por compressão)	740 J / m
Dureza	Valor nominal Unidade
Dureza (Shore D, Moldagem por compressão)	56
	Propriedades da ASTM e ISO
Térmico	Valor nominal Unidade
Temperatura de deflexão sob carga (0,45 MPa, não recozido, Moldagem por compressão)	54,0 ° C
Temperatura de Amolecimento Vícat	62,0 ° C

Fonte: BRASKEN, 2015.

Tabela 2 - Características do MA.

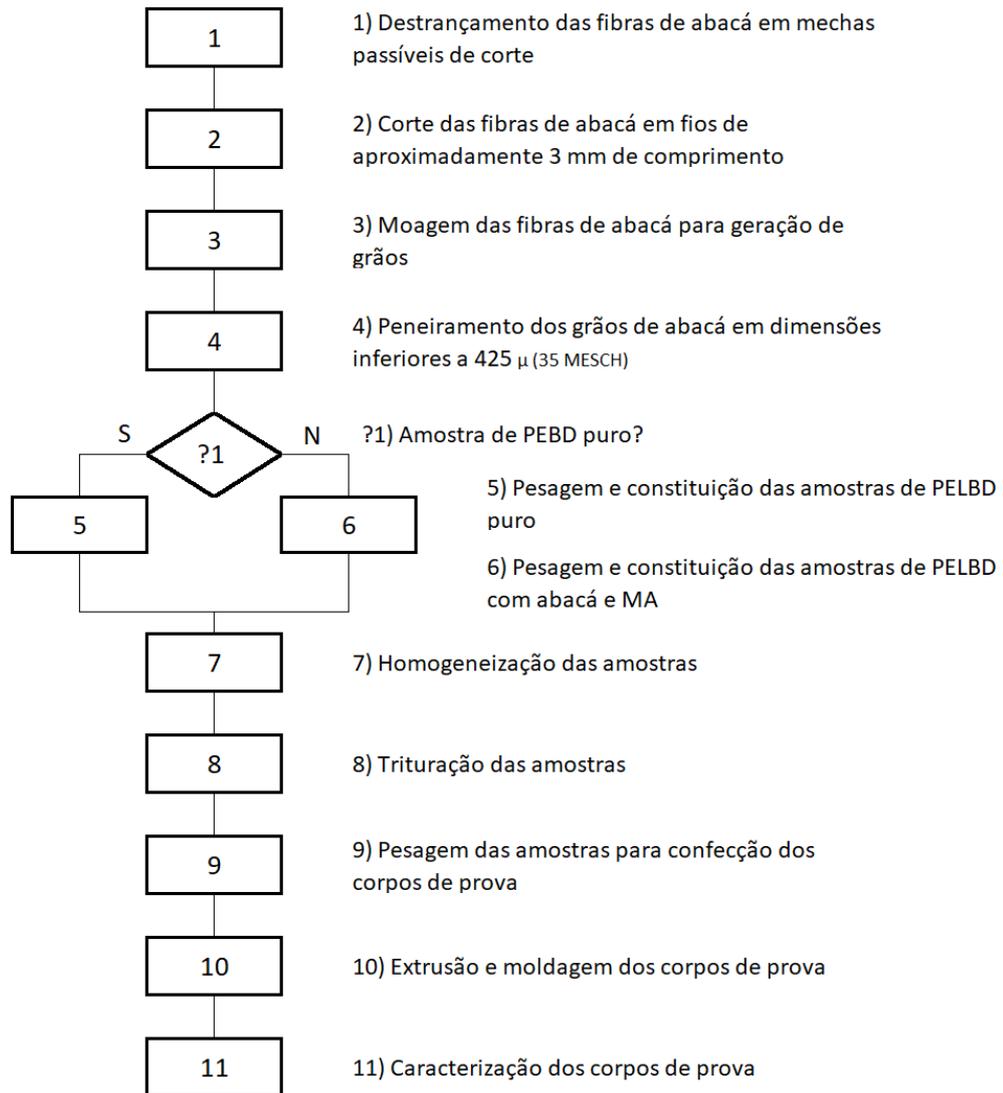
Especificações	Unidade	Valores
Teor em Anidrido Maleico	% peso	99,5 mín.
Cor fundido	Pt / Co	30 máx.
Ponto de solidificação	°C	52,3 mín.
Acidez Livre, como ácido maleico	% peso	0,6 máx.
Cor fundido após aquecimento (Estabilidade)	Pt / Co	40 máx.
<ul style="list-style-type: none"> As garantias do produto são aplicáveis, desde que seu uso, manuseio e estocagem, sejam de forma adequada, conforme recomendações. 		
Propriedades	Unidade	Valores
Peso molecular		98
Fórmula química		$C_4H_2O_3$
Ponto de fulgor	°C	110
Peso específico (25°C sólido)		1,47
Estado físico		Sólido -briquetes de cor branca Fundido - Líquido incolor
<ul style="list-style-type: none"> Os valores de propriedades acima são dados de referência, não se constituindo parâmetros de garantia. 		

Fonte: ELEKEIROZ, 2015.

3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O fluxograma apresentado na figura 1 apresenta as etapas de manufatura dos compósitos de matrizes de polietileno linear de baixa densidade, reforçados com fibras de abacá e compatibilizadas por anidrido maleico.

Figura 1 - Fluxograma de obtenção e caracterização dos compósitos deste trabalho.



Fonte: o autor, 2017.

4 ETAPAS DO PROCESSO

Nos tópicos abaixo buscamos detalhar as etapas do processo de manufatura dos compósitos de matrizes de polietileno linear de baixa densidade, reforçados com fibras de abacá e compatibilizadas por anidrido maleico

4.1 Retirada das Tranças

As fibras de abacá, extraídas diretamente do pecíolo da planta, são comercializadas em cachos de aproximadamente 7 cm de diâmetro. Dada a sua alta dureza, em processos de corte artesanais, torna-se necessário retirar as tranças reduzindo suas espessuras a diâmetros em torno de 1 cm, diâmetro a partir do qual consegue-se cortar as tranças utilizando-se métodos artesanais como tesouras.

As figuras 2 e 3, apresentam, em duas situações distintas, os aspectos dos cachos das fibras de abacá em: em secagem sob luz solar e quando estes estão secos e prontos para utilização.

Figura 2 - Fibras de abacá em secagem, após recolhimento.



Fonte: ecokaila.wordpress, 2015.

Figura 3 - Cachos de abacá secos e prontos para utilização.



Fonte: textilesco wordpress, 2015.

4.2 Corte das Tranças

Uma vez em que os cachos de abacá atinjam espessuras suficientes para serem cortados; o corte é realizado para obtenção de comprimentos dos fios em torno de 3 cm. Tal comprimento é determinante para permitir que as fibras de abacá possam ser moídas e posteriormente misturadas, de forma homogênea, sem causarem nenhum dano aos equipamentos envolvidos nestes dois processos.

O corte, em método artesanal, é realizado por tesouras de podas de jardinagem. No nosso caso utilizamos uma tesoura de poda modelo 78300001, de fabricação Tramontina S.A., conforme o apresentado na figura 4.

Figura 4 – Tesoura de poda modelo 78300001, fabricação Tramontina.



Fonte: Tramontina S.A, 2015.

4.3 Moagem das Fibras de Abacá para Geração de Grãos

As fibras de abacá cortadas foram moídas e reduzidas em grãos para viabilizar a sua utilização nas diversas amostras necessárias a caracterização dos compósitos. O moinho utilizado para este fim, foi o de modelo TE-650, tipo WILLYE, do fabricante TECNAL, com tensão de alimentação de 220 VAC e potência de 500 W, apresentado nas figuras 5 e 6 abaixo.

Figura 5 – Processo de moagem das fibras de abacá



Fonte: TECNAL, 2015.

As características técnicas do moinho WILLYE, TE-650, fabricante TECNAL, se encontra no capítulo de apêndice, sob a identificação de anexo A.

Figura 6 - Moinho WILLYE, TE-650, fabricante TECNAL



Fonte: TECNAL, 2015.

4.4 Peneiramento dos Grãos de Abacá em Dimensões Inferiores a 425 μ (35 MESCH)

A fim de se obter uma melhor homogeneidade na distribuição das fibras de abacá ao longo da matriz polimérica do compósito em estudo, se tornou necessário reduzir seus grãos a tamanhos minúsculos. Empiricamente escolhemos as dimensões inferiores a 425 μ , obtidas a partir do peneiramento dos grãos em peneiras com dimensões de 35 MESCH, conforme o apresentado na figura 7 abaixo.

Figura 7 – Peneira 35 MESCH, fabricante BERTEL



Fonte: BERTEL, 2015.

4.5 Secagem dos Grãos

Posteriormente ao peneiramento, os grãos foram colocados para secagem em uma estufa micro processada, modelo Q317M, com temperatura máxima de 200°C, de fabricação QUIMIS, durante 24 horas, sob uma temperatura constante de 80°C. O objetivo de tal operação foi melhorar a aderência entre matriz polimérica e fibras, minimizando os efeitos da umidade latente da fibra natural, a qual compromete o ancoramento entre matriz polimérica e fibra vegetal. Um detalhe da estufa micro processada Q317M, de fabricação QUIMIS é apresentada na figura 8.

Figura 8 – Estufa micro processada Q317M, de fabricação QUIMIS.



Fonte: QUIMIS, 2015.

4.6 Pesagem e Composição das Amostras

Após o tratamento em estufa, foram preparadas as amostras para trituração e homogeneização. Para isto foi utilizado uma balança eletrônica, modelo AY 220, fabricação SHIMADZU, com tolerância máxima de 220 g e mínima de 0,01 g, tendo como precisão 0,0001 g. A tabela 1 abaixo, mostra as pesagens e percentuais das amostras utilizadas. Caso se deseje utilizar amostras com quantidades superiores a 80 gramas, as percentagens mássicas de PELBD, ABAC e MA deverão ser rigorosamente respeitadas.

Tabela 3 – Composições das amostras.

COMPOSITO	PELBD		ABAC		MA		TOTAL
	gramas	%	gramas	%	gramas	%	gramas
PELBD 100 (%)	80	100	-----	-----	-----	-----	80
PELBD 95 + MA 5 (%)	76	95	-----	-----	4	5	80
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	72	90	4	5	4	5	80
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	68	85	8	10	4	5	80
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	60	75	16	20	4	5	80
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	52	65	24	30	4	5	80

Fonte: do autor, 2017.

As especificações técnicas da balança analítica AY 220 de fabricação SHIMADZU se encontram no apêndice sob a identificação de anexo B.

4.7 Homogeneização das Amostras

Na sequência do processo, as amostras foram homogeneizadas e misturadas em um homogeneizador, modelo MH-100-H, de fabricação MH Equipamentos, com capacidade de 100 ml, suportando peso de carga de 50 a 150 g e com potência de 8,5 KW, cujo equipamento é mostrado na figura 9. Dentro do homogeneizador, as amostras foram trabalhadas termo mecanicamente, de forma constante em um movimento giratório, sob a ação de um eixo sem fim, conforme o apresentado na figura 10. Após o trabalho termo mecânico as amostras assumem o aspecto mostrado na figura 11, estando prontas para o posterior trabalho de trituração. O trabalho de homogeneização se faz necessário para obtermos características uniformes ao longo de toda a amostra.

Figura 9 - Homogeneizador / Misturador, modelo MH-100-H, fabricação MH EQUIPAMENTOS.



Fonte: do autor, 2015

Figura 1 – Detalhe do trabalho termo mecânico dentro do homogeneizador.



Fonte: do autor, 2015

Figura 2 - Aspecto final das amostras trabalhadas termo mecanicamente dentro do homogeneizador.



Fonte: do autor, 2015

As especificações detalhadas do homogeneizador, modelo MH-100-H, de fabricação MH Equipamentos, são apresentadas no apêndice na forma do anexo C.

4.8 Trituração das Amostras

Na etapa seguinte, as amostras foram trituradas por meio de um triturador granulador, modelo 114751, de fabricação PLASTIMAX, equipado com um motor trifásico de 5 CV, 380V / 220 VAC, modelo V100L4, de fabricação VOGES, conforme o apresentado na figura 12 abaixo. O objetivo dessa etapa é reduzir a amostra, já homogeneizada e compatibilizada, a grãos que possam ser pesados e inseridos em dosagens pré-definidas na etapa de extrusão, a qual virá a seguir.

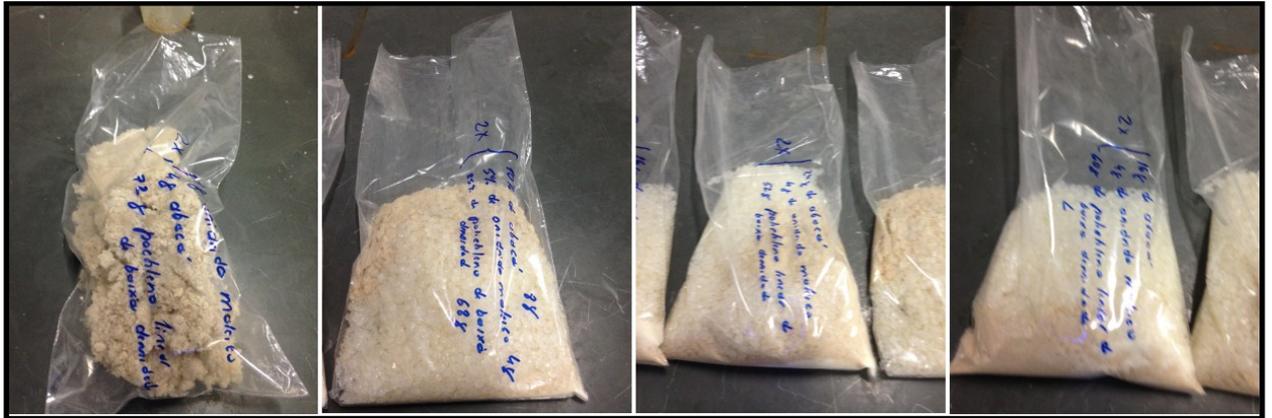
Figura 12 - Triturador granulador, modelo 114751, de fabricação PLASTIMAX, equipado com motorização VOGES trifásica de 5 CV, 380 / 220 VAC, modelo V100L4.



Fonte: do autor, 2015

Após a trituração, as amostras são embaladas conforme é mostrado na figura 13 abaixo, se encontrando prontas para a etapa seguinte do processo, a qual será a extrusão.

Figura 13 - Amostras embaladas e separadas após a trituração e granulação.



Fonte: do autor, 2015

Maiores detalhes do triturador granulador, modelo 114751, de fabricação PLASTIMAX, serão observados no apêndice, sob a forma do anexo D.

4.9 Extrusão e Injeção

As amostras foram extrudadas em uma microextrusora de fabricação DSC XPLORE, modelo 5-08-20, pressão máxima de 10 bar, temperatura máxima de 350°C, volume de 5 ml, tensão de 200 a 245 VAC, potência de 2.450 W, frequência de 50 a 60 Hz, corrente máxima de 12 A, com parafusos co-rotativos, velocidade típica de trabalho de 100 rpm e injetadas a partir de uma micro injetora hidráulica para plásticos, modelo Ic2180/s, de fabricação CALVI. A figura 14 abaixo apresenta o conjunto microextrusora e micro injetora.

As amostras foram submetidas ao processo mecânico de extrusão à quente de forma semi contínua onde o material extrudado foi impulsionado através de uma matriz projetada para dar uma forma pré-definida para a peça. Os produtos extrudados possuem secção transversal constante com dimensões bastante precisas, podendo no caso de peças compridas serem cortadas ou fatiadas de acordo com a necessidade de uso.

O processo de extrusão adotado em nosso estudo foi o da extrusão à quente, onde a extrusão é semelhante ao processo de injeção, pelo qual o produto é injetado sob alta pressão e temperatura numa forma vazada ou através de um molde de injeção contínua, tomando a forma de uma peça sólida semiacabada ou a forma de vergalhão, para ser, em seguida, cortado (fatiado) no comprimento desejado. O

comprimento da peça fabricada é limitado pela quantidade de material inserido na cavidade onde age o pistão injetor.

Figura 14 - (a) Extrusora DSC XPLORE, modelo 5-08-20, micro extrusora, micro ejetora e molde; (b) Micro extrusora; (c) Micro ejetora e (d) Interface micro extrusora.



Fonte: do autor, 2015

A tabela 2 apresenta os parâmetros de extrusão das diversas amostras, enquanto que a figura 15 indica as dimensões dos corpos de prova, enquanto que a figura 16 mostra os corpos de provas dos compósitos em diferentes condições de porcentagem de seus constituintes.

Tabela 4 - Parâmetros de extrusão das amostras utilizadas no trabalho.

TIPO DE AMOSTRA	MICRO EXTRUSORA		EXTRUSÃO			MICRO EJETORA		MOLDE
	T1 (°C)	F (N)	TP1 (min)	TP2 (min)	V (rpm)	T2 (°C)	P (Bar)	T3 (°C)
PELBD 100 (%)	190	2.000	5'	1'	100	186	6,9	80
PELBD 95 + MA 5 (%)	190	2.000	5'	1'	100	186	6,9	80
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	190	2.000	5'	1'	100	186	6,9	80
PELBD 85+ MA 5 + ABAC 10 (%)	190	2.000	5'	1'10"	100	186	6,9	80
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	190	2.000	5'	2'10"	100	186	6,9	80
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	190	2.000	10'	7'10"	100	186	6,9	80

Onde:

T1: Temperatura de microextrusora

V: Velocidade de extrusão

F: Força de injeção na microextrusora.

T2: Temperatura na microejetora

TP1: Tempo de extrusão

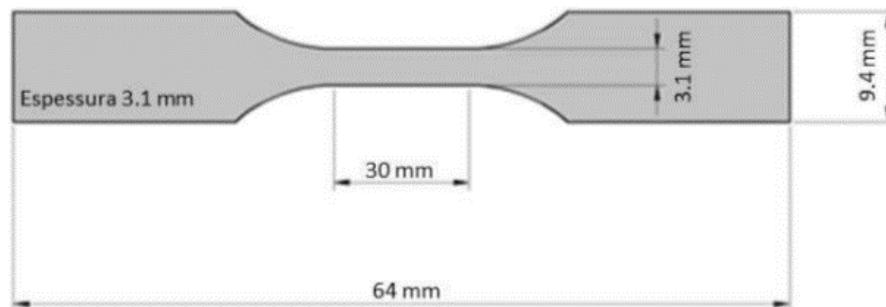
P: Pressão de ar-comprimido na microejetora

TP2: Tempo de extração.

T3: Temperatura no molde.

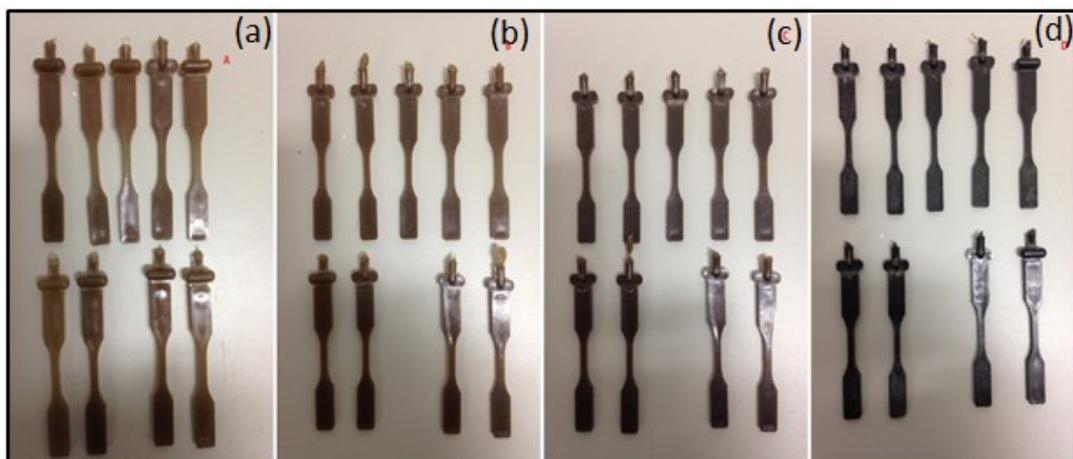
Fonte: do autor, 2015.

Figura 15 - Corpo de prova extrudado de acordo com a Norma ASTM D638.



Fonte: SAAD et al., 2012.

Figura 16 - (a) 5 % abacá / 5 % MA / 90 % PELBD; (b) 10 % abacá / 5 % MA / 85 % PELBD; (c) 20 % abacá / 5 % MA / 75 % PELBD e (d) 30 % abacá / 5 % MA / 65 % PELBD.



Fonte: o próprio autor.

5 RESULTADOS ESPERADOS

5.1 Caracterização Mecânica

Os parâmetros mecânicos para as peças fabricadas, a serem obtidos a partir do ensaio à tração, seguem apresentado na tabela 3.

Tabela 5 - Resultados médio dos ensaios à tração para as peças fabricadas.

(a) RESULTADOS DOS ENSAIOS À TRAÇÃO (VALORES MÉDIOS)		
Compósito	Elongação na Tensão Máxima (Mpa)	Tensão de Escoamento (Mpa)
PELBD 100 (%)	27,64 ± 1,03	7,01 ± 0,20
PELBD 95 + MA 5 (%)	2,58 ± 0,06	9,21 ± 1,22
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	2,55 ± 0,08	9,47 ± 0,33
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	2,55 ± 0,07	9,86 ± 0,97
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	1,28 ± 0,13	16,56 ± 0,57
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	0,90 ± 0,07	16,58 ± 1,18

(b) RESULTADOS DOS ENSAIOS À TRAÇÃO (VALORES MÉDIOS)		
Compósito	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Young (MPa)
PELBD 100 (%)	11,18 ± 0,07	40,50 ± 1,39
PELBD 95 + MA 5 (%)	14,77 ± 0,38	573,45 ± 3,90
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	16,09 ± 0,38	630,75 ± 22,61
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	17,52 ± 0,34	688,90 ± 9,00
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	31,50 ± 1,25	1.143,37 ± 76,45
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	33,07 ± 2,07	1.356,51 ± 36,44

Fonte: do autor, 2017.

Os parâmetros mecânicos para as peças fabricadas, a serem obtidos a partir do ensaio à flexão, seguem apresentado na tabela 4.

Tabela 6 - Valores da Tensão Máxima de Flexão e Módulo de Young para as peças fabricadas.

AMOSTRAS	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Young (MPa)
PELBD 100 (%)	8,4 ± 0,7	38,50 ± 2,23
PELBD 95 + MA 5 (%)	19,75 ± 1,06	575,73 ± 132,87
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	13,52 ± 1,08	600,28 ± 185,20
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	16,50 ± 2,39	674,22 ± 132,75
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	16,10 ± 2,61	1150,76 ± 282,44
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	12,36 ± 2,03	1302,70 ± 154,89

Fonte: do autor, 2017.

Os parâmetros de dureza Shore a serem obtidos a partir do ensaio à flexão seguem apresentado na tabela 5.

Tabela 7 - Dureza Shore dos Compósitos Analisados.

DUREZA SHORE - GRANDEZA SHORE D	
Compósitos	Valores Médios
PELBD 100 (%)	13,2 ± 0,69
PELBD 95 + MA 5 (%)	36,0 ± 0,21
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	16,3 ± 0,39
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	22,0 ± 0,45
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	22,8 ± 0,30
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	37,0 ± 0,74

Fonte: do autor, 2017

5.2 Caracterização Térmica

Os parâmetros termo mecânicos das peças, a serem obtidos a partir do ensaio de dilatométrica, seguem apresentado na tabela 6.

Tabela 8 - Coeficientes de Expansão Térmica das peças fabricadas.

COEFICIENTES DE EXPANSÃO TÉRMICA (CET)				
Corpos de Prova	Média ($\times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	Desvio Padrão	Varição em Relação ao PELBD Puro (%)	
PELBD 100 (%)	1,82378	9,07E-02	0,00	-
PELBD 95 + MA 5 (%)	2,26226	4,46E-02	43,85	↑
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	2,23623	3,46E-01	41,25	↑
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	2,06516	5,92E-02	24,14	↑
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	1,82220	1,41E-03	-0,16	↓
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	1,74371	2,12E-03	-8,01	↓

Fonte: do autor, 2017.

Os parâmetros térmicos das peças, a serem obtidos a partir do ensaio térmico simultâneo (STA), seguem apresentado na tabela 7 e 8.

Tabela 9 - Avaliação das Curvas TGA das peças fabricadas.

RESULTADOS DAS CURVAS TGA			
Compósito	Peso inicial (mg)	Redução total da massa (%)	Intervalo de redução da massa ($^\circ\text{C}$)
PELBD 95 + MA 5 (%)	12,09	99,0	450 - 500
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	11,77	99,5	440 - 500
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	11,79	99,0	480 - 500
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	15,31	95,0	460 - 500
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	13,83	96,0	420 - 500

Fonte: do autor, 2017.

Tabela 10 - Avaliação das Curvas DSC das peças fabricadas.

RESULTADOS DAS CURVAS DSC					
Compósito	Número de Picos Exotérmicos	Número de Picos Endotérmicos	T.Onset (°C)	T.Pico (°C)	T.Endset (°C)
PELBD 95 + MA 5 (%)	0	2	116,13 462,93	134,45 492,19	148,05 520,17
PELBD 90 + MA 5 + ABAC 5 (%)	0	2	113,50 394,82	131,70 484,09	144,42 516,10
PELBD 85 + MA 5 + ABAC 10 (%)	0	2	113,61 425,14	132,79 487,24	146,30 518,73
PELBD 75 + MA 5 + ABAC 20 (%)	0	2	113,16 443,58	131,61 490,63	151,38 518,73
PELBD 65 + MA 5 + ABAC 30 (%)	0	2	113,15 447,24	131,66 488,57	151,60 517,95

Fonte: do autor, 2017.

6 CONCLUSÕES

A seguir as etapas presentes nesse manual, conseguiremos reproduzir de forma contínua os resultados obtidos na dissertação “Processamento e Caracterização de Matrizes Poliméricas de Polietileno de Baixa Densidade Reforçados com Fibras de Abacá”, de autoria de Edson de Jesus Filho. Os compósitos de matrizes poliméricas de polietileno linear de baixa densidade, reforçadas com fibras de abacá em dosagens mássicas variadas e compatibilizada com anidrido maleico são alternativas interessantes para a construção civil, onde uma grande resistência à ruptura for um requisito imprescindível e para a indústria automobilísticas, nos casos de forros de estofados e carrocerias. Sua produção em escala industrial é somente uma questão de planejamento industrial, pois o maquinário utilizado para esta manufatura já é usual nas plantas industriais existentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM INTERNATIONAL. ASTM C393. Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure, 2016.

ASTM INTERNATIONAL ASTM D638. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D2240. Standard Test Method for Rubber Property—Duromfeter Hardness, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527-4. Plastics — Determination of tensile properties — Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7619. Rubber, vulcanized or thermoplastic -- Determination of indentation hardness -- Part 1: Durometer method (Shore hardness), 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 868. Plastics and ebonite -- Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness), 2003.

JESUS FILHO, E. Processamento e Caracterização de Matrizes Poliméricas de Polietileno de Baixa Densidade Reforçados com Fibras de Abacá. Centro Universitário Oswaldo Aranha (UniFOA), 2017.

8 APÊNDICE

8.1 Anexo A - Moinho de Facas Tipo Willye TE-650/1, Fabricação TECNAL

Características Técnicas:

- Rotação: Fixa em 1.730 rpm;
- Motor: Indução ½ CV;
- Rotor: 4 facas fixas em aço especial de alta dureza com tratamento anti-oxidação;
- Bocal de saída: Retangular de L= 92 x P= 32 mm;
- Segurança: Permitir o giro da faca / rotor somente quando a tampa estiver fechada;
- Câmara de moagem: Em aço cromado com 4 facas reguláveis em aço especial de alta dureza e tratamento anti-oxidação;
- Tampa: Em acrílico transparente;
- Gabinete: Em aço carbono com tratamento anticorrosivo e pintura eletrostática;
- Dimensões: L = 360 x P = 600 x A = 500 mm;
- Peso: 40 kg;
- Potência: 500 Watts &
- Tensão; 220 Volts.

8.2 Anexo B – Balança Analítica de Alta Precisão Modelo AY 220, Fabricação SHIMADZU

ATX/AY Séries (Balança Analítica)

8.2.1 Configuração Rápida de Ajustes para Diferentes Aplicações

Ajuste da relação desejada de tempo de leitura / estabilidade para cada aplicação com um toque no painel, mesmo durante as pesagens.

8.2.2 Função Windows Direct

Envia dados da balança para planilhas Excel ou outros aplicativos do Windows sem a necessidade de instalação de softwares especial. Combina a função Auto Print com os recursos da planilha Excel, permitindo assim que aplicações complexas podem ser automatizadas.

Abaixo na tabela 9, segue a ficha técnica da balança analítica modelo AY 220 de fabricação SHIMADZU.

Tabela 11 – Ficha técnica da balança analítica de alta precisão modelo AY 220, fabricação SHIMADZU

Especificações						
Modelo	ATX84	ATX124	ATX224	ATY64	ATY124	ATY224
Capacidade	82g	120g	220g	62g	120g	220g
Leitura	0.1mg					
Repetitividade (Desvio Padrão)	≤0.1mg					
Linearidade	±0.2mg					
Tempo de Resposta	3.0 segundos aprox..					
Temperatura de Operação	10-30°C 20-85%					
Coefficiente de Sensibilidade à Temperatura (ppm/°C)	±2ppm/°C(sem condensação)					
Tamanho do prato (mm)	91 mm de diâmetro					
Dimensões externas(mm)	213(largura)×356(profundidade)×338(altura)					
Peso aprox. (kg)	6.2			6.0		
Tensão de Alimentação	12V, 1A					
Calibração c/ Peso Interno	✓			-		

Fonte: SHIMADZU, 2017.

8.3 Anexo C - Homogeneizador, Modelo MH-100-H, Fabricação MH Equipamentos

Equipamentos destinados ao desenvolvimento e controle de mesclas poliméricas, principalmente masterbatch, compósitos, blendas e WPC.

Características Técnicas:

- Maior dispersão;
- Construção compacta e robusta;
- Processo de limpeza rápido;
- Operação simples e segura (NR-12) &
- Recipiente e rotor com revestimento resistente ao desgaste.

Por meio da alta rotação de seu rotor, dispersa e incorpora altos teores de cargas, pigmentos minerais e orgânicos em diversos polímeros (grãos, pó ou flake), de forma eficiente, rápida e segura.

O equipamento permite obter amostras em aproximadamente 1 minuto com alto grau de dispersão. A câmara e o rotor possuem revestimento de grande resistência e durabilidade, facilitando a retirada da amostra e a limpeza da câmara e rotor.

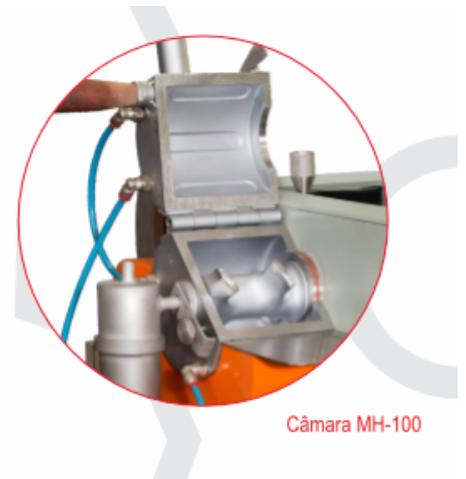
O painel de comando está montado em local visível, facilitando as operações e informando ao operador continuamente as condições do processo de homogeneização. O sistema de segurança está em conformidade com a norma NR-12.

Possui configurações alternativas, tais como: rotação variável; sistema de leitura da temperatura sem contato durante o processo; coletas de dados para padronização, controle e análise. Existe também um sistema de secagem e remoção de umidade incorporado ao equipamento, favorecendo a sua utilização para processamento de cargas com fibras vegetais (WPC).

Tabela 12 – Ficha técnica do homogeneizador, modelo MH-100-H, Fabricação MH EQUIPAMENTOS

<i>Homogeneizador de Laboratório</i>		<i>Modelos</i>		
		MH-50-H	MH-100-H	MH-600-H
Capacidade	mL	50	100	600
Peso de Carga (*a)	g	30 a 100	50 a 150	500 a 800
Potência	kW	6,0	8,5	17,0
Altura	mm	1536	1536	1577
Largura	mm	844	844	967
Profundidade	mm	810	810	892
Peso	kg	310	350	420

(*a) Depende do material a ser processado.
 Nos reservamos o direito de fazer quaisquer alterações nestes produtos sem aviso prévio.



Fonte: MH EQUIPAMENTOS, 2017.

8.4 Anexo D – Triturador Granulador Modelo 114751, Fabricação PLASTIMAX

Os trituradores granuladores Plastimax possuem a função de tritar o material a ser reciclado, sendo equipamentos robustos que se destinam ao serviço mais pesado na linha de moagem.

Características Gerais:

- Motor elétrico de alto desempenho;
- Estrutura geral em chapa de aço carbono e cantoneiras reforçadas;
- Volante de inércia para manter a tendência de rotação do rotor, reduzindo o consumo de energia e aumentando a produtividade;
- Mancais em aço laminado 1045 posicionados externamente evitando penetração de pó ou quaisquer impurezas;
- Rolamentos auto compensadores de esferas, proporcionando maior durabilidade e menos ruídos;
- Peneiras intercambiais, projetadas para facilitar as trocas quando forem necessárias mudanças na granulometria do material.
- Sistema de corte em Tesoura ou Martelo conforme necessidade do cliente.

OBS: A capacidade produtiva mostrada na Ficha Técnica se refere a produção máxima que o modelo pode fazer, porém a produção real irá depender de fatores como: tipo do plástico, dimensões do objeto a ser moído, granulometria final do material e afiação e regulagem das facas.

Tabela 13 – Ficha técnica dos trituradores granuladores, fabricação PLASTIMAX

MODELOS	PM 200	PM 300	PM 450	PM 600	PM 800	PM 1000
PRODUÇÃO (Kg/hora) - ATÉ	70	250	500	800	1400	1800
MOTOR (CV)	5	10	15 / 20	30 / 40	50 / 75	75 / 100
BOCA DE ALIMENTAÇÃO (mm)	200 x 200	250 x 300	350 x 420	350 x 615	390 x 815	390 x 1015
CÂMARA DE MOAGEM (mm)	200 x 320	300 x 420	400 x 600	600 x 600	800 x 730	1000 x 730
DIÂMETRO DO ROTOR (mm)	200	288	420	420	525	525
FACAS ROTATIVAS (Nº)	3	3	3	3	3	6
FACAS FIXAS (Nº)	2	2	2	2	2	4
PESO (Kg)	200	450	800	1100	1555	1950
ÁREA OCUPADA (m)	0,58x0,80	0,96x1,20	1,00x1,40	1,23x1,40	1,43x1,65	1,43x1,85

Fonte: PLASTIMAX, 2017.