

CINTIA YUMI WATASHI

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DA BANANA  
PRATA PARTICULADA PARA APLICAÇÃO COMO REFORÇO EM  
COMPÓSITO DE MATRIZ DE PEAD

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientadores: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Odila Hilário Cioffi  
Prof. Dr. Herman J. Cornelis Voorwald  
Co-orientador: Dr. Paulo Henrique Fernandes Pereira

Guaratinguetá  
2011

W324p Watashi, Cíntia Yumi  
Preparação e caracterização da casca de banana prata particulada para aplicação com reforço em compósito de matriz de PEAD / Cíntia Yumi Watashu. – Guaratinguetá : [s.n.], 2011  
60 f.: il.  
Bibliografia: f. 55-60

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais -  
Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia do  
Campus de Guaratinguetá, 2011  
Orientadora: Profa. Dra. Maria Odila Hilário Cioffi  
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Fernandes Pereira

1. Materiais compostos 2. Compósitos poliméricos 3.  
Polietileno I. Título

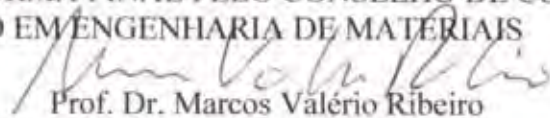
CDU 620.1

PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CASCA DA BANANA PRATA  
PARTICULADA PARA APLICAÇÃO COMO REFORÇO EM COMPÓSITO DE  
MATRIZ DE PEAD

CINTIA YUMI WATASHI

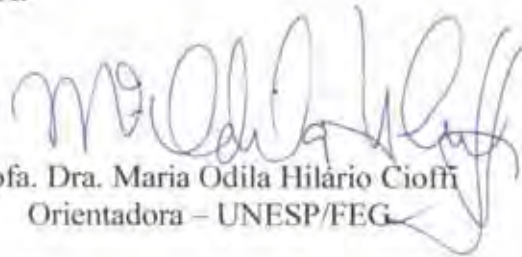
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS



Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Profa. Dra. Maria Odila Hilário Cioffi  
Orientadora – UNESP/FEG

*Andressa Cecília Milanese*  
MSc Andressa Cecília Milanese  
UNESP/FEG



MSc Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini  
UNESP/FEG

Dezembro de 2011

**DADOS CURRICULARES**

**CINTIA YUMI WATASHI**

NASCIMENTO 26 de Maio de 1985 – SÃO PAULO / SP

FILIAÇÃO Harue Watashi  
Kozi Watashi

...aos meus pais, que sempre me apoiaram, incentivaram e educaram com muito amor e paciência.

## AGRADECIMENTOS

De antemão gostaria de agradecer o Kozi Watashi, querido pai, e a Harue Watashi, querida mãe, que deram o melhor de si para proporcionar sempre o melhor para as três filhas (Liana Satie Watashi, Cintia Yumi Watashi e Karina Lie Watashi) apoiando, aconselhando e ajudando a lutar pelos nossos sonhos e conquistar desafios cada vez maiores, sempre com muito caráter.

Um agradecimento especial para Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Odila Hilário Cioffi, por sempre ter acreditado no meu trabalho e mesmo em momentos de desânimo sempre incentivou o desenvolvimento do projeto, mantendo a harmonia e união do Grupo de Pesquisa.

Agradeço o co-orientador Dr. Paulo Henrique Fernandes Pereira pela ajuda constante e momentos engraçados que tornaram o trabalho mais prazeroso, mas sempre com muita responsabilidade.

Ao Grupo de Pesquisa que sempre me ajudou e estimulou: Andressa Cecília Milanese, Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini, Midori Yoshikawa Pitanga Costa.

Não posso deixar de agradecer aos amigos que fiz durante o período da Faculdade: André Filipe do Vale Rocha e Silva, Rodolfo Bruno Silva, Renata Santos Mutton, Vitor Polisel, Ananda Tamara Mello Fidalgo, Andressa Fernanda Saemi Matsubara Ohata, Priscila Satie Ashiguti, entre muitos outros.

À segunda família (SuperRep) que tornou a vida acadêmica mais divertida com muito companheirismo e cumplicidade.

À Andrea Hattori Nasrala e Sanae Hirota de Holanda, amigas eternas que sempre acreditaram em mim.

O melhor Professor Dr. Roberto Artur Cornetti Silva, exemplo de ser humano, que ensinou não apenas as bases da engenharia, também valores da vida.

“Não devemos ter medo dos confrontos... até os planetas se chocam e do caos nascem as estrelas.”

Charles Chaplin

WATASHI, C. Y. **Preparação e caracterização da casca da banana prata particulada para aplicação como reforço em compósito de PEAD**. 2011. 60f. Trabalho de graduação – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## RESUMO

O desperdício, descarte exacerbado e incorreto de biomassas residuais são práticas comuns nos tempos modernos em que tudo se torna descartável. Porém, a crescente preocupação com a natureza e com o meio ambiente, leva o homem a destinar aplicações mais nobres a esses produtos, o que contribui para a sustentabilidade e a reciclagem desses resíduos.

A casca da banana é uma biomassa residual, a qual não é consumida e acaba gerando toneladas de detritos. Por exemplo, a cidade de São Paulo, produz 4 toneladas de casca de banana por semana, a qual são descartadas em lixões e depósitos de lixo. No entanto esses detritos poderiam ser reduzidos através da utilização dos mesmos como reforços em compósitos naturais. O polietileno de alta densidade (PEAD) é um polímero derivado da polimerização do etileno e é facilmente reciclado. O que o torna um material sustentável.

No presente trabalho foi estudado o compósito natural composto pela casca da banana e o polietileno de alta densidade. As fibras foram tratadas com o intuito de remover o material amorfo e diferentes proporções de fibra foram adicionadas ao polímero puro. No preparo dos compósitos foram utilizadas as proporções de 5% e 10% de reforço em relação à massa de matriz polimérica. Os compósitos foram caracterizados: térmica, mecanicamente e microscopicamente.

O tratamento com  $H_2O_{\text{destilada}}$  na fibra removeu parte do material amorfo presente na celulose, melhorando significativamente sua estabilidade térmica e aumentando a cristalinidade da fibra.

A adição de 5% de fibra no polímero aumentou consideravelmente a resistência à tração e o módulo de elasticidade no compósito. Com a adição de 10% o compósito apresentou melhoras em relação ao PEAD puro, porém em relação ao compósito de

5% apresentou leve diminuição das propriedades mecânicas. Tal fato pode ter ocorrido devido ao tamanho das partículas da fibra, que por serem pequenas podem acabar se tornando concentradores de tensão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósito natural, casca de banana, polietileno de alta densidade (PEAD).

WATASHI, C. Y., **Preparation and characterization of particulated banana peel applied as reinforcement in polymer matrix composite**. 2011. 60f. Final project – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **ABSTRACT**

The waste, exaggerated and incorrect disposal of biomass are common practices in modern times where everything is disposable. However the growing concern with the nature and the environment compel man to give nobler destinations for these products through sustainability and recycling of waste.

Banana peel is a residual biomass, which is not consumed. It generates tons of waste per week in São Paulo city. This trash is disposed in dumps and landfills, which could be reduced by using it as reinforcement in natural composites.

The high density polyethylene (HDPE) is a polymer derived from the ethylene polymerization and is easily recycled. Which makes it a sustainable material.

In the present work characteristics of the natural composite composed with banana peel and high-density polyethylene were studied. It was noted that removing the lignin present in the banana peel, the fiber introduces a significant improvement in thermal resistance.

The preparation of composite was made with a ratio of 5% and 10% of reinforcement in comparison with polymeric matrix mass. Composites were thermally, mechanically and microscopically characterized. The addition of fiber in the polymer increased the mechanical strength of the composite.

The fiber surface treatment with distilled water removed the amorphous material present in the fibers, improving significantly thermal stability and increasing crystallinity of the cellulose.

The addition of 5% fiber in mass to the polymer increased significantly the tensile strength and elasticity modulus for the composite. With 10% of fiber addition there were also an improvement when compared with pure HDPE, but when compared with 5% composite the mechanical properties are slightly lower. This may be due to the

fiber particle size, which are small and eventually become a hub of tension.

**KEYWORDS:** Natural composite, banana peel, high density polyethylene (HDPE).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das fibras naturais, adaptado de CITEVE, 2009 .....	19
Figura 2 - Consumo per capita - mundo e regiões em 2007 (VIEIRA 2010) .....	26
Figura 3- Fluxograma esquemático da preparação e caracterização das fibras .....	28
Figura 4 - Casca da banana seca.....	29
Figura 5 - Fluxograma esquemático da preparação do compósito .....	29
Figura 6 – (a) Cápsula homogeneizadora; (b) Detalhe da cápsula.....	30
Figura 7 - Moinho granulador .....	31
Figura 8 - Injetora Jasot.....	32
Figura 9 - Corpo de prova de tração com 10% de fibra .....	32
Figura 10 - Corpo de prova de tração Norma ASTM D638.....	35
Figura 11 - Fibras de casca de banana prata trituradas e peneiradas.....	37
Figura 12 - Fibra da casca de banana lavada .....	37
Figura 13 – Curva TGA da casca de banana <i>in natura</i> e lavada.....	39
Figura 14 – Curva TGA da casca de banana <i>in natura</i> e lavada.....	40
Figura 15 - Curva TGA para PEAD e compósitos de 5 e 10% de reforço.....	42
Figura 16 - Curva DTG para PEAD e compósitos de 5 e 10% de reforço.....	42
Figura 17 - Curva DSC primeira varredura de aquecimento do PEAD e compósitos de 5 e 10% .....	44
Figura 18 - Curva DSC primeira varredura de resfriamento do PEAD e compósitos de 5 e 10% .....	45
Figura 19 - Curva DSC segunda varredura de aquecimento do PEAD e compósitos de 5 e 10% .....	45
Figura 20 - Curva DRX para fibra <i>in natura</i> e lavada.....	48
Figura 21 - Microscopia eletrônica de varredura da casca de banana <i>in natura</i> (a) ampliada 100 x (b) ampliada 1000x .....	49
Figura 22 - Microscopia eletrônica de varredura da casca de banana lavada (a) ampliada 100x (b) ampliada 1000x .....	49
Figura 25 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície da área útil dos compósitos após ensaio de tração (a) 5% de fibra ampliado 100x (b) 10% de fibra ampliado 100x (c) 5% de fibra ampliado 1000x (d) 10% de fibra ampliado 1000x (e)5% de fibra ampliado 5000x (f) 10% de fibra ampliado 5000x .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedade das fibras naturais e sintéticas (KU et al., 2011) .....	20
Tabela 2 - Comparação entre fibras naturais e as fibras de vidro (MULINARI, 2009)	21
Tabela 3 - Propriedade dos polímeros termoplásticos mais utilizados em compósitos de fibra natural (KU et al., 2011) .....	22
Tabela 4 - Área, Produção e Rendimento da banana 2009 (EMBRAPA, 2011) .....	23
Tabela 5 - Valor Nutritivo de 100g de Banana (BRAZILIANFRUIT, 2011).....	24
Tabela 6 - Composição química da fibra da casca da banana <i>in natura</i> e lavada.....	38
Tabela 7 - Dados obtidos por meio das curvas termogravimétricas.....	41
Tabela 8 - Perdas de Massa e picos de degradação para o PEAD e compósitos de 5 e 10% de fibra .....	43
Tabela 9- Dados da curva DSC para PEAD e compósitos de 5 e 10% .....	47
Tabela 10 - Alongamento, Resistência à Tração e Módulo de Elasticidade do PEAD, compósito 5% e 10% .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CBP	Casca de banana prata
CDP	Corpo de prova
CP	Composição química
DRX	Difratometria de raios X
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
DTG	Derivada termogravimétrica
E	Módulo de elasticidade
GPa	Giga Pascal
H <sub>2</sub> O <sub>destilada</sub>	Água destilada
I <sub>(am)</sub>	Vale mínimo do pico de difração que representa o material amorfo
I <sub>c</sub>	Índice de cristalinidade em porcentagem
I <sub>(002)</sub>	Intensidade do pico de difração que representa o material cristalino
J	Joule
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Mega Pascal
PS	Poliestireno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PP	Polipropileno
T <sub>c</sub>	Temperatura de cristalização
T <sub>f</sub>	Temperatura de fusão
T <sub>g</sub>	Temperatura de transição vítrea
TGA	Termogravimetria
X <sub>c</sub>	Índice de cristalinidade
W	Fração em massa do PEAD
$\alpha$	Coefficiente de expansão térmica
$\varepsilon$	Alongamento
$\sigma$	Resistência à tração
$\Delta H_f^0$	Entalpia de fusão padrão
$\Delta H_f$	Entalpia de fusão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>18</b>
2.1 Objetivo Geral .....	18
2.2 Objetivos Específicos .....	18
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
3.1 Compósito Natural.....	19
3.2 Casca Banana Prata .....	23
3.3 Polietileno De Alta Densidade (PEAD) .....	26
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
4.1 Obtenção e preparação da casca da banana prata in natura e lavada .....	28
4.2 Polietileno de alta densidade (PEAD) .....	29
4.3 Preparação compósito.....	29
4.4 Composição química .....	32
4.5 Caracterização térmica .....	32
4.5.1 Termogravimetria (TGA/DTG).....	32
4.5.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	33
4.6 Difractometria de raios x (DRX).....	34
4.7 Caracterização mecânica .....	35
4.7.1 ensaio de resistência à tração.....	35
4.8 Caracterização microscópica .....	35
4.8.1 Cicrosopia eletrônica de varredura (MEV) .....	35
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
5.1 Obtenção e tratamento das fibras in natura e lavada .....	37
5.2 Composição química das fibras in natura e lavada .....	38
5.3 Caracterização térmica .....	39
5.3.1 Termogravimetria (TGA/DTG).....	39
5.3.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	44
5.4 Difração de raios x (DRX) .....	47
5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	48
5.6 Caracterização mecânica .....	50
5.6.1 Ensaio de tração.....	50
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há uma tendência mundial em utilizar recursos naturais renováveis alternativos que venham a beneficiar o homem na criação de novos materiais. Atualmente a pesquisa no desenvolvimento de novos materiais está direcionada para áreas que atendem tanto as necessidades socioeconômicas quanto aos apelos ambientais. Por essa razão, compósitos que utilizam fibras naturais vem sendo cada vez mais estudados, sendo uma alternativa muito visada (PRASAD; RAO, 2011).

É crescente a aplicação de materiais naturais, principalmente de fibras vegetais, como reforço em compósitos. Esses compósitos são importantes, podendo ser aplicados em diversas áreas desde a indústria automotiva (MURILLO, ANSELL, 2009; BAJPAI, SINGH, MADAAN, 2011; VENKATESHWARAN, ELAYAPERUMAL, SATHIYA, 2011), indústria de móveis (ROSA, SANTULLI, SARASINI, 2009), a construção civil, dentre outras (DUC; VERGNES; BUDTOVA; 2011).

A utilização de fibra natural como material de reforço em compósitos apresenta inúmeras vantagens, tais como: baixa massa específica; flexibilidade no processamento, boas propriedades mecânicas, fácil manuseio; recurso renovável e biodegradável; não tóxica; além de baixo custo e uso de sistemas simples quando necessário algum tratamento superficial (LEI, WU, 2010; KU et al., 2011; MURILLO, ANSELL, 2009).

Nos países tropicais como Brasil, plantas herbáceas são disponíveis em abundância e algumas delas, como a bananeira (LOMBARDI, HARAKAVA, COLARICCIO; 2010), são resíduos de colheitas agrícolas e atualmente, a casca de banana é um subproduto pouco utilizado na culinária brasileira. Portanto, sem custo adicional, a casca de banana prata pode ser utilizada para propósitos de pesquisa.

Conhecendo a produção e os dados de industrialização da banana no Brasil, pode-se estimar que 83.537 toneladas/ano de casca de banana são produzidas e descartadas pelas indústrias de alimento no país (COMIM et al., 2010).

Com o intuito de reduzir a quantidade de resíduo orgânico, estudos vêm sendo realizados para diminuir o desperdício e dar um destino mais nobre para a casca da

banana prata ao invés dos lixões.

Existe na literatura estudo de aplicações da casca de banana para bio-sorventes na remoção de metais pesados (ANWAR et al, 2010), também são utilizados na produção de proteína, etanol, metano, pectinas, extratos e enzimas (ALBARELLI et al, 2011) e até mesmo na preparação de alimentos para consumo humano (GLOBO, 2011). A alternativa encontrada é a aplicação dessas cascas de banana como reforço em compósito de matriz polimérica de polietileno de alta densidade (casca de banana/PEAD).

Neste trabalho utilizou-se o pré-tratamento com água destilada a fim de remover as substâncias solúveis da fibra e posteriormente estudar a interação fibra-matriz e as propriedades mecânicas e térmicas do compósito preparado. Na preparação do compósito (casca de banana prata/PEAD) foi utilizado o processo de mistura, utilizando um misturador termocinético e de moldagem por injeção para dar forma ao compósito. Os compósitos foram preparados com 5 e 10% (m/m) de reforço.

A fibra da casca de banana prata foi caracterizada por: Composição Química (CQ), Difração de raios X (DRX), Termogravimetria (TGA/DTG), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Os compósitos preparados foram caracterizados por Ensaio de Tração e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é preparar compósito de fibras naturais utilizando a casca de banana prata em diferentes proporções com o PEAD.

### 2.2 Objetivos específicos

- Caracterização das fibras da casca da banana prata *in natura* e lavada com H<sub>2</sub>O<sub>destilada</sub> por: Termogravimetria (TGA/DTG), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Difração de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Preparação dos compósitos (casca de banana prata/PEAD) utilizando o processo de mistura, utilizando um misturador termocinético e moldagem por injeção com diferentes proporções de fibras dispersas na matriz polimérica 5% e 10% (m/m);
- Caracterização térmica, mecânica e microscópica dos compósitos obtidos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Compósito Natural

Compósito polimérico reforçado com fibra natural é um ramo importante dos compósitos e tem sido estudado há décadas, possui melhores propriedades quando comparadas ao polímero puro, tais como: boas propriedades mecânicas e térmicas (XIE et al., 2010; GOULART et al., 2011; SU et al., 2010).

Os compósitos de fibras naturais podem ser utilizados nos setores aeroespaciais (IBRAHIM et al., 2010), de lazer (ROSA, SANTULLI, SARASINI, 2009), construção (LEI, WU, 2010) embalagem (AWAL et al., 2011) e indústria automobilística (BUJPAI, SINGH, MADAAN, 2011; GUIMARÃES et al., 2009; ALVES et al., 2010; GOULART et al., 2011). A Toyota, BMW, Mercedes-Benz e Ford já introduziram os compósitos naturais na produção de componentes de seus carros (LEI, WU, 2010; KU et al., 2011; MURILLO, ANSELL, 2009; BAJPAI, SINGH, MADAAN; 2012).

As fibras naturais podem ser classificadas em vegetais, animais ou minerais, de acordo com a sua origem (Figura 1).

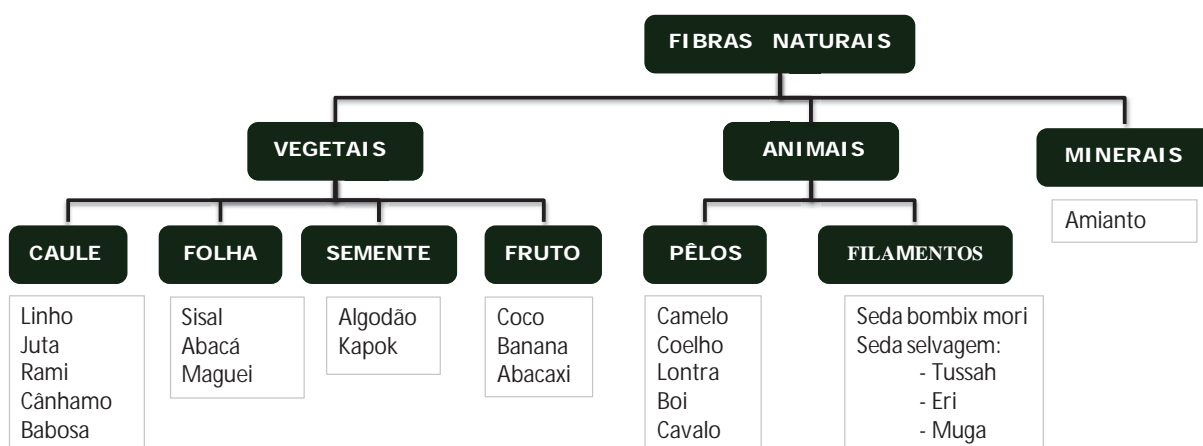


Figura 1 - Classificação das fibras naturais, adaptado de CITEVE, 2009

Dentre as fibras naturais vegetais podemos citar: juta (VENKATESHWARAN, 2011), lascas de madeira (FABIYI, MCDONALD, 2010), algodão (VENKATESHWARAN et al., 2011), bambu (RAO, RAO, PRASAD, 2010), sisal (DUC, VERGNES, BUDTOVA, 2011), bagaço de cana-de-açúcar (MULINARI,

2009), cânhamo (ZHANG, MIAO, 2009), casca do coco verde (BENINI, 2011) e linho (MANO et al., 2010; GOULART et al., 2011).

As características das fibras naturais podem variar significativamente de acordo com a espécie e as condições de crescimento e extração (MOIGNE, OEVER, BUDTOVA; 2011). Estas diferenças podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedade das fibras naturais e sintéticas (KU et al., 2011)

<b>Fibra</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Elongação (%)</b>	<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>
<b>Algodão</b>	1,5 - 1,6	7,0 – 8,0	400	5,5 – 12,6
<b>Juta</b>	1,3	1,5 -1,8	393 - 773	26,5
<b>Linho</b>	1,5	2,7 – 3,2	500 – 1.500	27,6
<b>Cânhamo</b>	1,47	2,0 – 4,0	690	70,0
<b>Kenaf</b>	1,45	1,6	930	53,0
<b>Rami</b>	N/D	3,6 – 3,8	400 - 938	61,4 – 128,0
<b>Sisal</b>	1,5	2,0 – 2,5	511 - 635	9,4 – 22,0
<b>Couro</b>	1,2	30	593	4,0 – 6,0
<b>Vidro-E</b>	2,5	0,5	2.000 – 3.500	70,0
<b>Vidro-S</b>	2,5	2,8	4.570	86,0
<b>Aramida</b>	1,4	3,3 – 3,7	3.000 – 3.150	63,0 – 67,0
<b>Carbono</b>	1,4	1,4 – 1,8	4.000	230,0 – 240,0

As fibras naturais apresentam inúmeras vantagens, dentre elas: são provenientes de fontes renováveis, propriedades mecânicas competitivas, possuem baixa densidade, são biodegradáveis, não são abrasivas aos equipamentos durante o preparo do compósito, tem bom isolamento acústico, térmico e elétrico e podem ser incineradas (DUC; VERGNES; BUDTOVA; 2011).

Em comparação, por exemplo, com a fibra de vidro, as fibras naturais possuem melhor rigidez, resistência ao impacto, flexibilidade (MANO et al., 2010; GOULART et al., 2011; KU et al., 2011). Durante a eliminação das fibras naturais, mesmo quando queimada, produzem pequenas quantidades de resíduo e liberam menos dióxido de

carbono para a atmosfera do que quando absorveram durante o seu crescimento (ARAÚJO et al., 2010).

A fibra sintética apresenta algumas desvantagens em relação às fibras vegetais: sua produção requer consumo de energia, são abrasivos aos equipamentos de produção, tem custo mais elevado quando comparado às fibras naturais, são geradas por fontes não renováveis, não são degradáveis (MANO et al., 2010) e possuem alta densidade, por exemplo, a fibra de vidro (Tabela 2) tem densidade  $2,5 \text{ g.cm}^{-3}$  e é mais cara quando comparado às fibras naturais, que possuem densidade entre 0,81 a  $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$ . Quando se trata de volume representa cerca de 8 a 16 vezes mais material (ARAÚJO et al, 2010).

Tabela 2 - Comparação entre fibras naturais e as fibras de vidro (MULINARI, 2009)

<b>Propriedades</b>	<b>Fibras Naturais</b>	<b>Fibra de Vidro</b>
<b>Densidade</b>	Baixa	Alta
<b>Reciclabilidade</b>	Sim	Não
<b>Fonte renovável</b>	Sim	Não
<b>Consumo de energia para produção</b>	Baixo	Alto
<b>Abrasividade aos equipamentos</b>	Não	Sim
<b>Riscos à saúde quando inalada</b>	Não	Sim
<b>Descarte ambiental</b>	Biodegradável	Não-biodegradável

Os polímeros termoplásticos mais utilizados na preparação de compósitos naturais são o polipropileno (AWAL et al, 2011; DUC, VERGNES, BUDTOVA, 2011), polietileno de alta densidade (MULINARI, 2009; AYOUB et al, 2010), polietileno de baixa densidade, poliestireno, Nylon 6 (KU et al., 2011). Suas principais características estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedade dos polímeros termoplásticos mais utilizados em compósitos de fibra natural (KU et al., 2011)

<b>Propriedade</b>	<b>PP</b>	<b>PEBD</b>	<b>PEAD</b>	<b>PS</b>	<b>Nylon 6</b>
<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,899-0,92	0,91-0,925	0,94 0,96	10,4 10,6	1,12 1,14
<b>Abs. H<sub>2</sub>O-24h(%)</b>	0,01-0,02	< 0,015	0,01-0,20	0,03-0,10	1,3-1,80
<b>T<sub>g</sub> (°C)</b>	-10 ~ -23	-125,0	-133~ -100	N/D	48
<b>T<sub>m</sub> (°C)</b>	160-176	105- 116	120-140	110-135	215
<b>T<sub>deflexão térmica</sub> (°C)</b>	50- 63	32-50	43- 60	Max. 220	56-80
<b>α(mm/mm/°C.10<sup>5</sup>)</b>	6,8-13,5	10	12-13	6 - 8	8-8,86
<b>σ (MPa)</b>	26-41,4	40-78	14,5-38	25-69	43-79
<b>Mod. Elast. (GPa)</b>	0,96-1,77	0,005-0,38	0,4-1,5	4 - 5	2,9
<b>ε (%)</b>	15-700	90-800	2-130	1-2,5	20-150
<b>Res. Impacto (J/m)</b>	21,4-267	> 854	26,7-1068	1,1	42,7-160

As propriedades do compósito com fibra natural, tanto termoplástico como termorrígido, podem ser influenciadas principalmente devido à interação fibra-matriz (KU et al., 2011; GOULART et al., 2011; SU et al., 2010).

Fibras naturais possuem uma estrutura complexa, com inúmeras camadas concêntricas de celulose, fases de hemicelulose, lignina, cera, pectinas e pequenas quantidades de extrativos (DUC; VERGNES; BUDTOVA, 2011; XIE et al., 2010). A grande variedade química de sua composição e a estrutura supramolecular (ângulo microfibrilar, tamanho das células) das fibras influenciam fortemente as propriedades mecânicas (resistência à tração, flexibilidade) e conseqüentemente afetam as interações fibra-matriz (MOIGNE, OEVER, BUDTOVA; 2011).

A tendência da fibra de formar agregados e a dificuldade de mistura reduzem o potencial do compósito. Além desses fatores, o tamanho final e a distribuição das fibras na matriz influenciam as propriedades finais do compósito. Durante a preparação do compósito, as fibras são submetidas ao estresse mecânico e à temperaturas elevadas que podem levar a sua ruptura, causando perda parcial de suas propriedades. No linho, a pectina desempenha o papel de cola juntando as fibras elementares, portanto, quando é reduzida a quantidade de pectina devido a um

tratamento (químico, enzimático, etc.) os feixes são quebrados com facilidade melhorando as propriedades mecânicas do compósito. Observou-se que as fibras de linho são facilmente separadas durante o processo de extrusão, enquanto que as fibras de sisal continuam firmes (DUC; VERGNES; BUDTOVA; 2011).

Normalmente a resistência à tração do compósito cresce juntamente com o teor de fibra presente, mas este crescimento possui um limite, onde, a partir deste ponto a resistência começa a diminuir. Entretanto, o Módulo de Young do compósito aumenta, com o aumento da quantidade de fibra (KU et al., 2011).

### 3.2 Casca Banana Prata

“Yes, nós temos bananas”, música composta por João de Barro (Braguinha), era uma crítica bem humorada à ironia dos norte-americanos que se referiam aos países da América Latina como “banana republics”. Mas diferente da crítica e da ironia o Brasil ocupa a 5ª (quinta) colocação mundial de banana, e teve uma produção de 6.783.480 toneladas em 479.614 hectares (ha) em 2009, Tabela 4 (EMBRAPA, 2011).

Tabela 4 - Área, Produção e Rendimento da banana 2009 (EMBRAPA, 2011)

<b>País</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Produção (ton)</b>	<b>Rendimento (ton/ha)</b>
<b>Índia</b>	748.100	26.996.600	36,09
<b>Filipinas</b>	446.400	9.013.190	20,19
<b>China</b>	350.224	9.006.450	25,72
<b>Equador</b>	216.115	7.637.320	35,34
<b>Brasil</b>	479.614	6.783.480	14,14
<b>Outros</b>	2.683.131	37.941.232	14,14
<b>Mundo</b>	<b>4.923.584</b>	<b>97.378.272</b>	19,78

A bananeira é tipicamente tropical e subtropical, portanto necessita de calor constante e elevada umidade para o seu bom desenvolvimento e produção, características essas que são encontradas em regiões próximas à costa brasileira, ou seja, litorânea, tais como o norte de Santa Catarina, Vale do Ribeira, Norte de Minas

Gerais, Petrolina e Vale do Açu (CEPEA, 2011).

A banana é uma fruta suculenta, possui baixa quantidade de gordura, possui muitos nutrientes como Potássio, Magnésio, Fósforo, Carboidratos, Vitaminas A, C, B6, dentre outras (Tabela 5). É um alimento servido na mesa dos brasileiros não só como sobremesa, mas como parte da refeição, além de ter um preço relativamente barato, quanto comparado a outras frutas (BRAZILIANFRUIT, 2011).

Tabela 5 - Valor Nutritivo de 100g de Banana (BRAZILIANFRUIT, 2011)

<b>Nutrientes</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor por 100g de porção comestível</b>
<b>MACRO COMPONENTES</b>		
<b>Água</b>	g	74,26
<b>Energia</b>	kcal	92,00
<b>Proteína</b>	g	1,03
<b>Lipídeos (Total)</b>	g	0,48
<b>Fibra Dietética (Total)</b>	g	2,40
<b>Cinzas</b>	g	0,80
<b>MINERAIS</b>		
<b>Cálcio, Ca</b>	mg	6,00
<b>Magnésio, Mg</b>	mg	29,00
<b>Fósforo, P</b>	Mg	20,00
<b>Potássio, K</b>	mg	396,00
<b>VITAMINAS</b>		
<b>C, Ácido Ascórbico</b>	Mg	9,10
<b>B-1, Tiamina</b>	Mg	0,04
<b>B-2, Riboflavina</b>	Mg	0,10
<b>B-5, Ácido Pantotênico</b>	Mg	0,26
<b>B-6, Piridoxina</b>	Mg	0,57

A produção, área plantada e o rendimento por hectare têm crescido todos os anos, de acordo com estatísticas realizadas desde 1990 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este desenvolvimento se deve ao aprimoramento das técnicas de

cultivo, que possibilitaram melhor rendimento e conseqüentemente maior produção (IBGE, 2011).

Existem poucos usos industriais para a casca e elas causam um grande desperdício agrícola. Foram feitas algumas tentativas de aplicação da casca na produção de proteína, metano, etanol, pectinas, extratos e enzimas. Ela também tem sido usada como alimento de gado e bioabsorvente de metais pesados, corantes e remoção de compostos fenólicos (ALBARELLI et al., 2011; ACHAK et al., 2009; ANWAR et al., 2010; COMIM et al., 2010).

De acordo com a Associação dos Produtores de Banana há uma perda de aproximadamente 40% das bananas produzidas no Brasil, que ocorre principalmente na fase pós-colheita, devido à falta de cuidados na comercialização, colheita, péssimas condições de transporte, armazenamento incorreto, má conservação das estradas nas quais são transportadas e até mesmo falta de embalagens (EMBRAPA, 2011; ALMEIDA, SILVA, 2008; MARTINS, 2002; SEBRAE, 2008; IZIDORO et al., 2011). Além dessas perdas, ainda ocorre perda da casca, que não é consumida e é eliminada em lixos comuns.

A casca da banana representa de 30 a 40 % do peso da fruta, e a casca é o principal resíduo da banana, sendo que existe uma grande geração de lixo orgânico proveniente da casca da banana (ALBARELLI et al., 2011).

O consumo mundial de banana é 10,43 kg/habitante/ano, sendo os sul-americanos os que mais consomem, 21,23 kg/habitante/ano. Ocupando a segunda colocação está a América Central com 13,90 kg/habitante/ano, a Oceania em terceiro lugar com 11,26 kg/habitante/ano (VIEIRA, 2010), a Figura 2 representa graficamente o consumo *per capita* de banana no mundo dividido em continentes em 2007.

Apenas na Grande São Paulo, restaurantes e indústrias alimentícias geram 4 (quatro) toneladas de casca de banana por semana, dos quais apenas 300 quilos são doados para o programa Mesa SP, que são utilizados na preparação de refeições para pessoas carentes. As outras 3 toneladas e meia vão direto para o lixo (TVCULTURA, 2007; FOLHA, 2010).

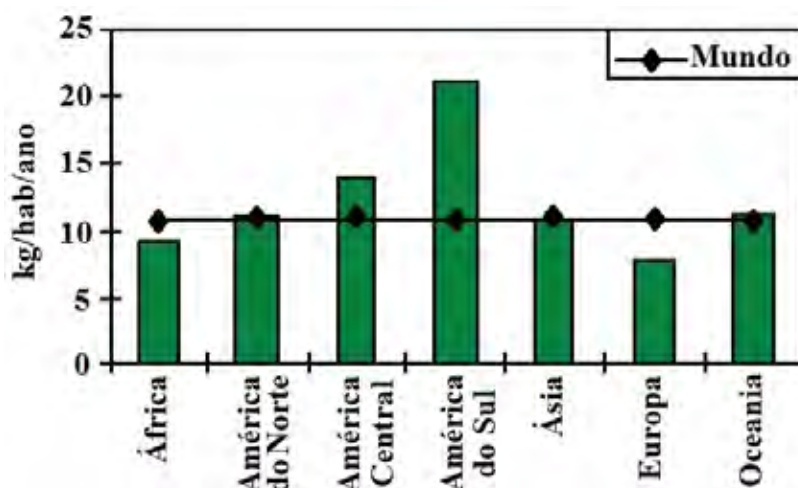


Figura 2 - Consumo per capita - mundo e regiões em 2007 (VIEIRA 2010)

A casca da banana prata possui em sua constituição materiais lignocelulósicos que são polares e higroscópicos, enquanto que o polietileno de alta densidade é apolar e hidrofóbico, tais adversidades pioram a interação fibra-matriz. Para melhorar a adesão interfacial entre eles podem ser feitos tratamentos de modificação química da fibra ou adição de agente de acoplamento (KU et al., 2011; GOULART et al., 2011).

### 3.3 Polietileno De Alta Densidade (PEAD)

Os produtos plásticos têm papel importante na sociedade atual, pois contribui muito para o avanço em recentes tecnologias e novas conquistas, inclusive na indústria automotiva e aeroespacial. É inevitável a utilização de materiais plásticos devido as mais variáveis formas de utilização no dia a dia (AYOUB et al., 2009; JAN; SHAH; GULAB, 2010).

Dentre os polímeros, o polietileno (PE) se destaca, pois é um *commodity*, um termoplástico e o polímero derivado da poliolefina mais amplamente utilizada no mundo. Representa 20% de toda a produção mundial de plástico (AKHLAGHI et al., 2011; FOUAD et al., 2010).

Existem vários tipos de PE disponíveis no mercado, cada um com diferentes estruturas e comportamento, desempenho e aplicação. Entre eles o PEAD se destaca, devido ao baixo custo, propriedades mecânicas e elétricas excelentes, boa resistência química, fácil de ser processado, excelente flexibilidade a temperatura baixa,

resistência à absorção da umidade (DOUMINGE et al., 2010; PETTARIN et al., 2010), necessita de baixa energia para o processamento, possui estrutura da cadeia regular, é biocompatível (FOUAD et al., 2010), é reciclável (YUAN et al., 2010), tem baixo peso molecular e baixo custo de produção. Devido a essas características também é largamente utilizado nos campos medicinais e farmacêuticos (HIZOUM, BELOUETTAR; 2011).

A densidade do PEAD é maior ou igual a  $0,941 \text{ g/cm}^3$  e tem baixo grau de ramificação, portanto possui fortes ligações intermoleculares e alta resistência à tração (LIU, XU; 2011).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Obtenção e preparação da casca da banana prata in natura e lavada

Com o objetivo de melhorar a interação fibra-matriz as fibras da casca de banana passaram pelo processo de lavagem com água destilada. Este processo consiste na remoção de materiais lignocelulósicos solúveis em água. A Figura 3 mostra o fluxograma do processo de tratamento com  $H_2O_{\text{destilada}}$  das fibras da casca da banana.

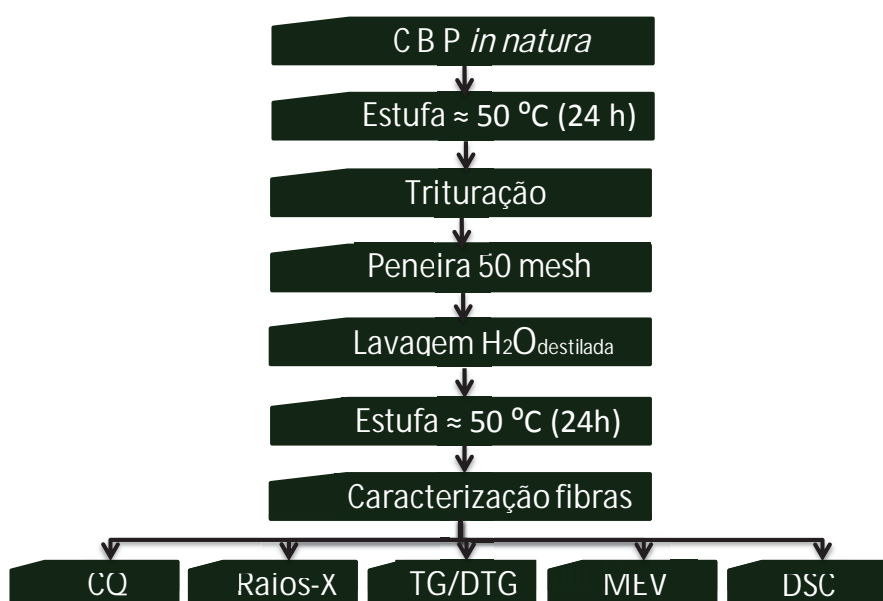


Figura 3- Fluxograma esquemático da preparação e caracterização das fibras

Após o consumo das bananas prata as cascas (Figura 4) foram colocadas em estufas a 50°C por no mínimo 72 horas. Depois de secas, as cascas foram trituradas em processador comum e peneiradas a 50 mesh, ou seja, abertura de 300 mm/um. Após o peneiramento, as fibras passantes foram lavadas com água destilada a temperatura ambiente, utilizando o filtro tipo “meia”. A filtragem foi feita até que a coloração da água eliminada estivesse incolor. As fibras após serem lavadas foram novamente colocadas em estufa a 50°C por no mínimo 72 horas, trituradas e peneiradas com 50 mesh.



Figura 4 - Casca da banana seca

#### 4.2 Polietileno de alta densidade (PEAD)

O polietileno de alta densidade utilizado neste trabalho foi fornecido pela Riopol. O PEAD utilizado em grânulos foi o homopolímero HI-60070, indicado para peças injetadas que possui elevada rigidez, excelente resistência ao impacto e boa estabilidade dimensional, segundo o fabricante.

#### 4.3 Preparação Compósito

O fluxograma da Figura 5 mostra as etapas de preparação do compósito casca de banana/PEAD.

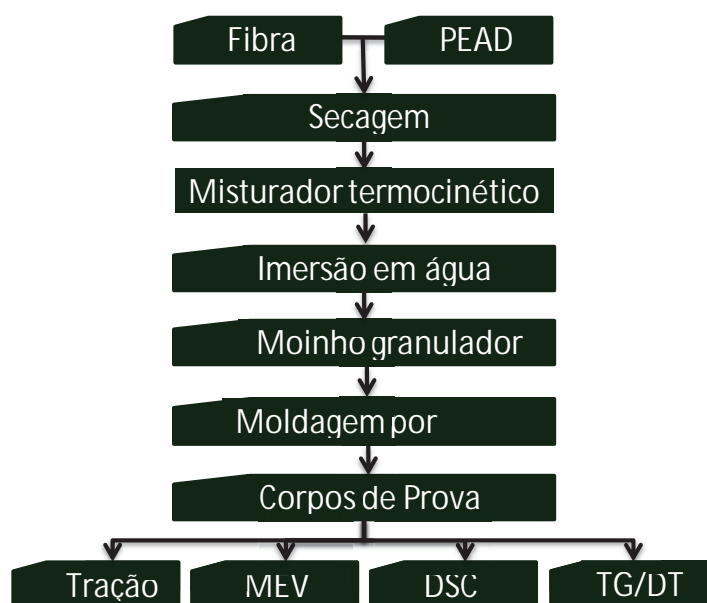


Figura 5 - Fluxograma esquemático da preparação do compósito

As matérias-primas (fibra e PEAD) foram colocadas em uma estufa a 50 °C por 24 horas, para que a possível presença da água de constituição seja eliminada. O homogeneizador tem capacidade máxima de 50 g, portanto para a preparação de corpos de prova com 400 g, foi feito o seguinte cálculo:

a) Compósito com 5% de fibra:

- Foram realizadas 8 misturas;
- 20g de casca de banana;
- 380g de polietileno de alta densidade.

b) Compósito com 10% de fibra:

- Foram realizadas 8 misturas;
- 40g de casca de banana;
- 360g de polietileno de alta densidade.

Em seguida os materiais preparados foram misturados em um homogeneizador de plásticos da MH Equipamentos (modelo MH-50-H), localizado na Divisão de Materiais (AMR) do Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) em São José dos Campos/SP.

O processo de mistura de fibra e matriz ocorreu na cápsula bi-partida (Figura 6), a qual é refrigerada externamente por água.

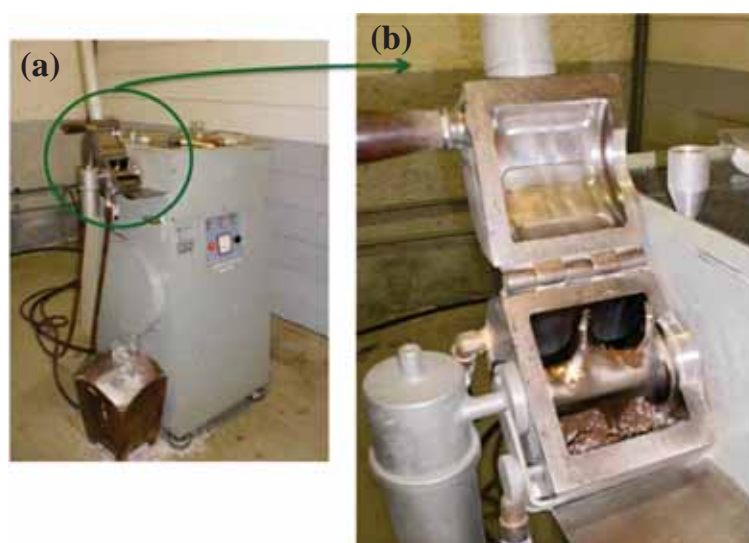


Figura 6 – (a) Cápsula homogeneizadora; (b) Detalhe da cápsula

A mistura fibra de casca de banana prata/polímero foi realizada através da rotação das palhetas que giram com aproximadamente 2600 rpm no primeiro estágio de velocidade, que serve apenas para retirar o motor e o eixo do ponto de inércia e a 5250 rpm no segundo estágio, para efetuar a mistura do material. O tempo de mistura foi determinado pela própria máquina, que ao atingir a rotação máxima precisava ser desligada. Dessa forma, o tempo de mistura varia de acordo com a quantidade de fibra utilizada e com o tempo de operação da máquina. Após a mistura, para facilitar o seguinte processo de granulação, a mistura ainda no estado fundido, passou por rolos de aço inox (calandras) a temperatura ambiente e foi resfriada através da imersão em água também a temperatura ambiente. Em seguida, o compósito foi moído no moinho granulador (RONE) atingindo tamanhos de até 13 mm e colocado em estufa por um período de 24 horas (Figura 7).



Figura 7 - Moinho granulador

O compósito moído e seco foi posteriormente injetado em molde contendo cavidades com dimensão específica para ensaios de tração (Norma ASTM D638), utilizando uma injetora Jasot 300/130 (Figura 8), disponível na Divisão de Materiais (AMR) do Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA).



Figura 8 - Injetora Jasot

A Figura 9 ilustra o corpo de prova obtido por injeção para o ensaio de tração conforme norma ASTM D638.



Figura 9 - Corpo de prova de tração com 10% de fibra

#### 4.4 Composição química

As fibras da casca da banana *in natura* e lavada foram submetidas à caracterização química com o intuito de avaliar o efeito da lavagem da fibra com  $H_2O_{\text{destilada}}$  na composição química, através da quantificação dos teores de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas. A caracterização foi feita no Departamento de Biotecnologia da Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP) seguindo a metodologia analítica descrita por Rocha et al (1997) e validada por Gouveia et al (2009).

#### 4.5 Caracterização Térmica

##### 4.5.1 Termogravimetria (TGA/DTG)

Segundo a norma ASTM E473-10, a análise termogravimétrica é uma técnica a

massa de uma substância é medida em função da temperatura (ou tempo), enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura a uma atmosfera específica. A partir dos resultados obtidos no ensaio é possível determinar o perfil térmico, a temperatura de degradação e a perda de massa das amostras.

Baseadas na norma ASTM E2550 a temperatura de início de degradação foi obtida a partir do primeiro desvio da linha base observado.

#### 4.5.1.1 Fibras in natura e lavada

A termogravimetria TGA/ DTG foi feita usando uma termobalança da marca Shimadzu modelo TGA-50, disponível no Departamento de Engenharia Química da EEL/USP – Lorena/SP, com razão de aquecimento de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  em  $50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  com fluxo de nitrogênio numa faixa de temperatura entre 25 e  $900^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.5.1.2 PEAD, compósitos 5% e 10%

Os compósitos e o polietileno foram caracterizados por termogravimetria (TGA/DTG) usando a termobalança SII Nano Technology, série EXSTAR 6000, modelo TG/DTA 6200, software EXSTAR versão 6.2u, disponível no DMT/FEG/UNESP – Guaratinguetá/SP. A análise foi feita utilizando aproximadamente 10 mg de amostra com fluxo de nitrogênio, numa faixa de temperatura de 40 a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  e razão de aquecimento de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .

#### 4.5.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

No PEAD puro e os compósitos com 5% e 10% de fibra foi feito a análise de DSC em um calorímetro da marca SII Nano Technology, série EXSTAR 6000, modelo DSC 6220, software EXSTAR versão 6.2u, localizado no DMT/FEG/UNESP – Guaratinguetá/SP. O ensaio foi realizado aquecendo cerca de 6 mg de cada amostra numa faixa de temperatura de 30 a  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sob atmosfera de nitrogênio com razão de aquecimento  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , resfriamento  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e reaquecimento  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . Através da análise foi possível determinar as entalpias da amostra, a temperatura de

transição vítrea.

#### 4.6 Difractometria de Raios X (DRX)

A técnica de difratometria de raios X é um método que determina o tipo de estrutura física, ou seja, os parâmetros de redes e os espaçamentos interplanares da rede cristalina do material, permitindo identificá-lo mediante comparação com estruturas cristalinas já conhecidas, determinando se o material é amorfo ou cristalino. Desta forma, foram obtidos os difratogramas de raios X das fibras da casca de banana *in natura* e das fibras tratadas com água destilada. Para obter os difratogramas, usou-se um difratômetro de raios X da Shimadzu modelo XDR-6000, disponível no Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena/USP, com fonte de radiação  $\text{CuK}\alpha$ , voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, varredura 0,05 ( $2\theta/5\text{s}$ ) para valores de  $2\theta$  entre 10 e 70°.

Com os resultados obtidos no difratômetro foi possível calcular os índices de cristalinidade das fibras e comparar a modificação na cristalinidade após cada tratamento. O índice de cristalinidade foi calculado de acordo com a equação 1, utilizando o método empírico de Segal et al (1959).

$$I_c = \frac{I_{(002)} - I_{(am)}}{I_{(002)}} \times 100 \quad (1)$$

onde:

$I_c$  → corresponde ao índice de cristalinidade em porcentagem;

$I_{(002)}$  → corresponde a intensidade do pico de difração que representa o material cristalino perto de  $2\theta = 22^\circ$ .

$I_{(am)}$  → vale mínimo do pico de difração que representa o material amorfo perto de  $2\theta = 18^\circ$ .

O cálculo do índice de cristalinidade é importante para avaliar a influência do tratamento da fibra com  $\text{H}_2\text{O}_{\text{destilada}}$ .

## 4.7 Caracterização Mecânica

### 4.7.1 Ensaio de resistência à tração

O ensaio de tração foi realizado nos compósitos com fibras lavadas com 5% e 10% (m/m) utilizando a máquina universal de ensaios INSTRON modelo 8801, disponível no Laboratório de ensaios mecânicos do Departamento de Engenharia de Materiais e Tecnologia da FEG/UNESP – Guaratinguetá/SP. As dimensões das amostras obedecem a norma ASTM D 638 e a velocidade de ensaio foi de  $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . A partir dos dados obtidos no ensaio foi possível estabelecer algumas propriedades mecânicas do material, assim como o alongamento ( $\epsilon$ ), resistência à tração ( $\sigma$ ) e o módulo de elasticidade ( $E$ ).

O formato e as dimensões dos corpos de prova utilizados, cujas medidas são em milímetro, estão indicados na Figura 10.

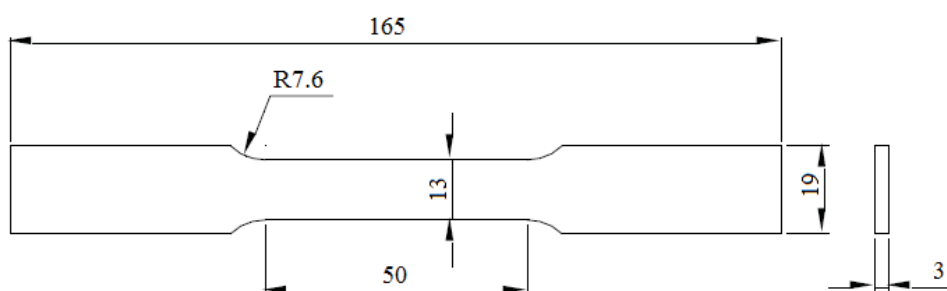


Figura 10 - Corpo de prova de tração Norma ASTM D638

## 4.8 Caracterização Microscópica

### 4.8.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

#### 4.8.1.1 Fibras da casca de banana *in natura* e lavada

As amostras das fibras de banana prata *in natura* e fibras de banana prata lavada foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 5310, disponível no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos/SP, operando de 15 a 20 kW e utilizando detector de elétrons secundários.

As amostras foram fixadas em um suporte, com auxílio de uma fita de carbono autocolante dupla face, e submetidas ao recobrimento metálico com ouro. Com esta

técnica foi possível obter características morfológicas das amostras.

#### 4.8.1.2 MEV da superfície do compósito após o ensaio de tração

Os corpos de prova, após passarem pelo ensaio de tração, foram submetidos à análise por MEV na região central do corpo de prova que sofreu deformação plástica sem fraturar. A área deformada foi cortada com estilete a um comprimento de 1 cm. (indicar qual superfície Lateral? Indicar na figura)

As superfícies das amostras foram submetidas ao ar comprimido da marca *Dust off* para remoção de sujeiras e pós presentes na superfície, em seguida foi feito recobrimento com ouro com o equipamento da marca Quorum, modelo Q150R ES, com corrente de 20 mA por 120 segundos.

O equipamento utilizado para a microscopia eletrônica de varredura é da marca Zeiss, modelo EVO LS-15. Todos os equipamentos se localizam no Departamento de Engenharia de Materiais na FEG/UNESP, Guaratinguetá/SP.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Obtenção e Tratamento das Fibras in natura e lavada

As fibras da casca da banana prata *in natura*, foram trituradas e peneiradas em mesh 50 (abertura 300 $\mu$ m/um), que produziu um pó fino de coloração marrom (Figura 11).



Figura 11 - Fibras de casca de banana prata trituradas e peneiradas

As fibras da casca de banana prata foram lavadas com H<sub>2</sub>O<sub>destilada</sub>. Após esse processo as fibras apresentaram aspecto como o indicado na Figura 12.



Figura 12 - Fibra da casca de banana lavada

A coloração das fibras da casca de banana prata continuou a mesma depois do processo de lavagem, pois a lignina, que é a responsável pela coloração da fibra e apesar da remoção de uma parte da lignina solúvel ainda restaram quantidades significativas de lignina solúvel e insolúvel na fibra.

## 5.2 Composição Química das fibras in natura e lavada

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos através da composição química da fibra da banana antes e depois da lavagem com água destilada. Os resultados mostram que as fibras apresentam menor quantidade de lignina solúvel, celulose e hemicelulose após o tratamento.

Tabela 6 - Composição química da fibra da casca da banana *in natura* e lavada

<b>Material</b>	<b>Fibra <i>in natura</i> (%)</b>	<b>Fibra lavada (%)</b>
<b>Celulose</b>	27,07 ± 0,15	19,71 ± 0,02
<b>Lignina solúvel</b>	0,78 ± 0,01	0,13 ± 0,00
<b>Lignina insolúvel</b>	27,73 ± 0,07	49,16 ± 0,05
<b>Hemicelulose</b>	19,71 ± 0,10	15,76 ± 0,13
<b>Cinza</b>	0,41 ± 0,41	1,10 ± 0,02
<b>Outros</b>	14,45 ± 0,41	13,49 ± 0,68

A diminuição da quantidade de celulose em virtude da lavagem não era esperada, mas também causou diminuição em 66,7% da quantidade de lignina solúvel. A remoção da lignina é importante, pois apesar de aumentar a rigidez da fibra é inflexível e causa reorientação da fibra, necessária para transferência de carga no material compósito. Outra vantagem importante é que a lignina se comporta como cola entre as fibras e quando removida permite aumento da área de superfície de contato, melhorando a aderência fibra/matriz. A técnica permite uma variação de  $\pm 10\%$  na somatória da massa dos constituintes em relação a massa inicial (ROCHA, et al., 1997).

### 5.3 Caracterização Térmica

#### 5.3.1 Termogravimetria (TGA/DTG)

##### 5.3.1.1 Casca da banana *in natura* e lavada

As fibras de banana *in natura* e banana lavada foram analisadas por termogravimetria com o objetivo de avaliar a estabilidade térmica e a influência do tratamento com água destilada nas propriedades térmicas das fibras. A Figura 13 apresenta a curva TGA e a Figura 14 a curva DTG das cascas de banana *in natura* e lavada.

Em ambas as fibras (*in natura* e lavada) houve uma grande perda de massa entre 50 e 150°C relacionada eliminação de água da estrutura de polissacarídeo. As fibras já estavam secas antes da análise, mas segundo Guimarães et al. (2009) a eliminação total da água é dificultada devido a natureza hidrofílica das fibras, que está presente até mesmo nas estruturas das ligações moleculares.

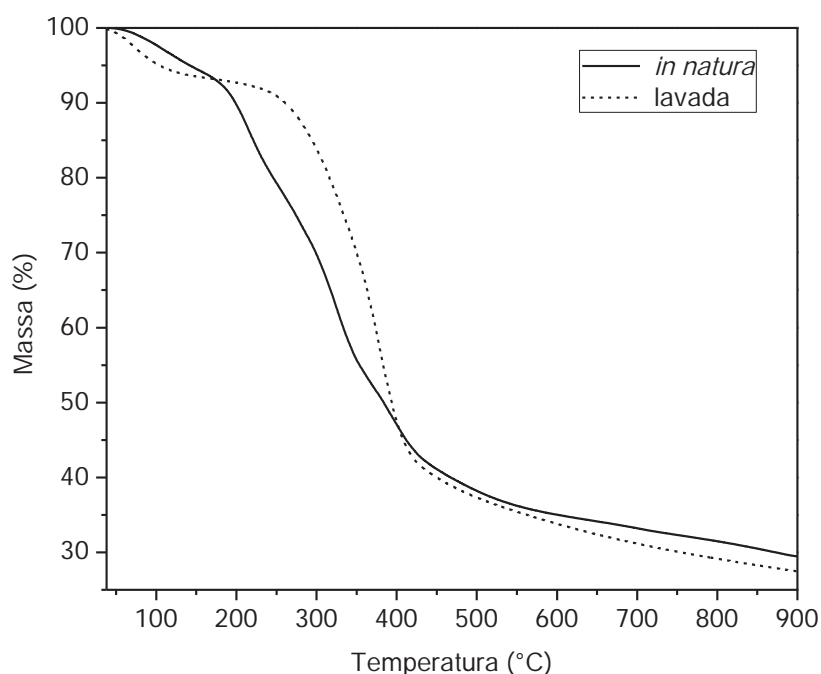


Figura 13 – Curva TGA da casca de banana *in natura* e lavada

Para a fibra *in natura*, a segunda faixa de perda de massa, entre 160°C e 375°C, ocorre à decomposição da celulose e da lignina. A terceira perda, entre 375°C e 600°C, é atribuída à reação de decomposição da lignina residual (YANG et al., 2007).

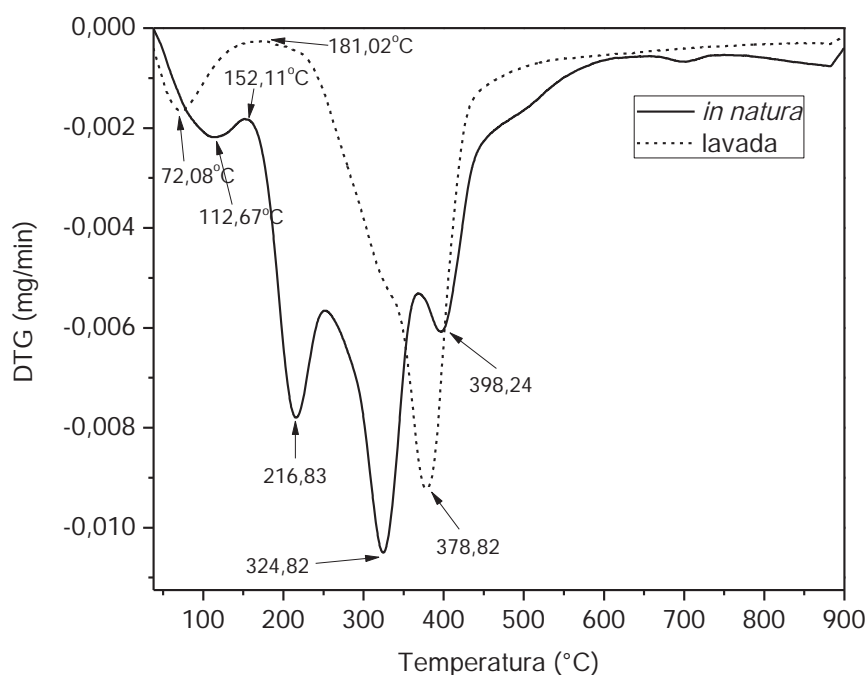


Figura 14 – Curva TGA da casca de banana *in natura* e lavada

Nas fibras lavadas, a segunda faixa ocorreu entre 180°C e 800°C e pode ser relacionada à decomposição da celulose e da lignina. A presença de apenas dois picos na DTG da fibra de casca de banana lavada indica uma composição mais homogênea quando comparada à fibra *in natura* devido à remoção de alguns componentes com a lavagem. Os dados extraídos das curvas TGA/DTG são apresentados na Tabela 7.

A partir da termogravimetria nas fibras *in natura* e lavada com H<sub>2</sub>O<sub>destilada</sub> foi possível obter as temperaturas nas quais ocorrem as perdas de massa (m), a quantidade de resíduo (R) após o tratamento térmico e a temperatura na qual ocorre a estabilidade térmica das fibras, possibilitando estabelecer o limite de temperatura na qual a fibra pode ser submetida e a influência do tratamento com água destilada nas características da fibra e do compósito.

Tabela 7 - Dados obtidos por meio das curvas termogravimétricas

<b>Material</b>	<b>m (%)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	<b>R (%) à 900°C</b>
<b>Banana <i>in</i></b>	6,109	25-160	
<b><i>Natura</i></b>	14,496	160-260	32,834
	26,609	260-375	
	19,952	375-800	
<b>Banana</b>	6,512	25-180	
<b>Lavada</b>	61,768	180-800	31,72

\* (m) perda de massa, ( $\Delta T$ ) intervalo de temperatura, (R) resíduo

As amostras *in natura* lavadas não apresentaram diferenças significativas na quantidade de resíduos (%) no final do processo, mas em se tratando da estabilidade da fibra, a banana lavada teve baixa perda de massa até atingir a temperatura inicial de degradação de 180°C, enquanto que a não lavada possui temperatura inicial de degradação de 150°C. Portanto o processo de lavagem não removeu consideravelmente a quantidade de resíduo presente na fibra, mas aumentou em 20 % a temperatura na qual ocorre a degradação da fibra, ou seja, houve uma melhora na estabilidade da fibra.

### 5.3.1.2 PEAD e Compósitos

Através da termogravimetria foram obtidas as curvas TGA (Figura 15) e DTG (Figura 16) do PEAD e dos compósitos (5 e 10%) a fim de estudar a influência na estabilidade térmica do polímero com a adição de reforço.

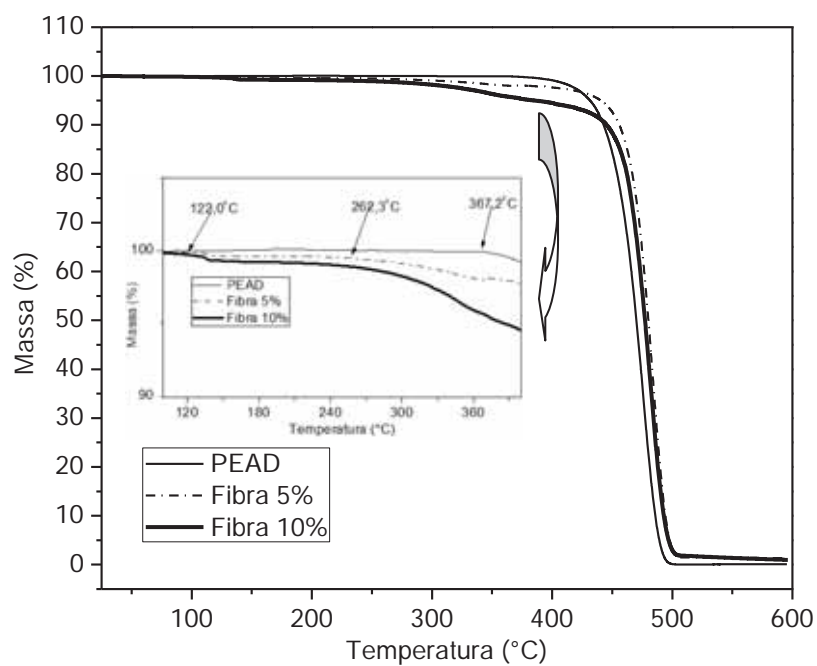


Figura 15 - Curva TGA para PEAD e compósitos de 5 e 10% de reforço

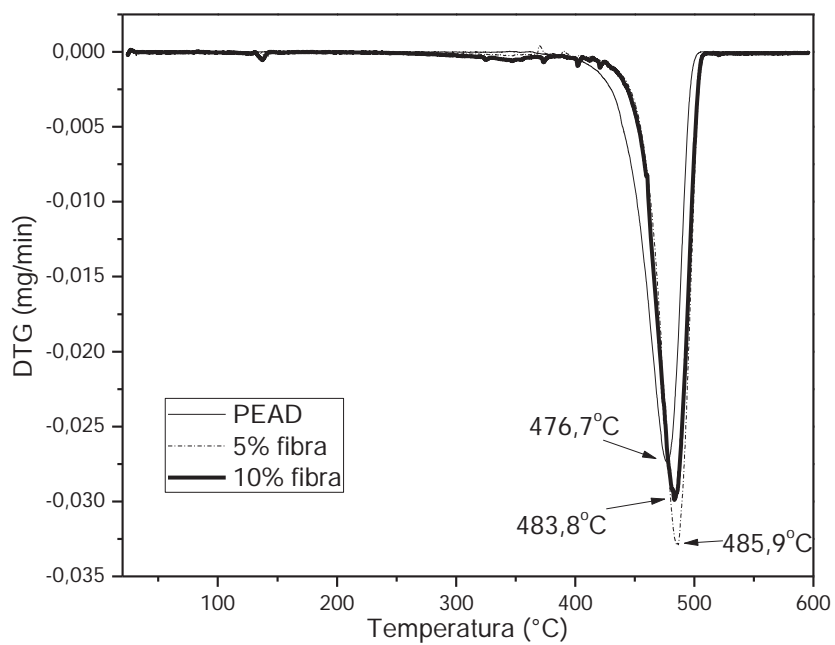


Figura 16 - Curva DTG para PEAD e compósitos de 5 e 10% de reforço

O PEAD é termicamente estável entre 20°C e 380°C. No segundo estágio, entre 380°C e 500°C ocorre à decomposição do polímero. A temperatura de início de degradação do compósito de 5% é baixa, quando comparada ao PEAD puro. Isto ocorre, pois o reforço possui estabilidade térmica inferior à da matriz, portanto o produto proveniente da mistura reforço de fibra natural/matriz polimérica tem início de degradação e estabilidade térmica inferiores.

A relação da quantidade de fibra em matriz polimérica e estabilidade térmica são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a quantidade de fibra dispersa no compósito, menor a estabilidade térmica.

Para o compósito com 10% de fibra foi possível identificar duas etapas de degradação, a primeira etapa ocorre à decomposição das fibras entre 260°C e 360°C. A perda em massa durante a primeira etapa é aproximadamente a mesma da quantidade de fibra adicionada ao polímero; a segunda etapa ocorre à decomposição do PEAD, entre 360°C e 505°C (Tabela 8).

Tabela 8 - Perdas de Massa e picos de degradação para o PEAD e compósitos de 5 e 10% de fibra

Amostras	Perda de Massa (%)					T <sup>i</sup> degradação(°C)	R (%) à 600°C
	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C		
<b>PEAD</b>	-	0,10	0,96	99,9	99,9	380,1	0,01
<b>Compósito 5%</b>	0,60	1,20	2,34	96,8	98,9	272,9	1,1
<b>Compósito 10%</b>	1,20	2,00	5,7	96,7	99,3	238,3	0,7

A adição de fibra de casca de banana no polímero puro fez aumentar a quantidade de resíduo ao final da degradação térmica das amostras, ou seja, quanto maior a quantidade de fibra adicionada, maior é a quantidade de resíduo. Isso ocorre devido a presença de componentes na fibra que se degradam a temperaturas superiores a 600°C.

Pôde-se notar que com a adição de fibra na matriz polimérica, a estabilidade térmica do compósito diminui, pois a fibra possui menor estabilidade térmica que o

polímero, conseqüentemente o compósito possui estabilidade térmica menor que o polímero puro.

### 5.3.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As Figuras 17, 18 e 19 apresentam o comportamento das curvas de fluxo de calor em relação à temperatura dos compósitos preparados utilizando 5% e 10% (m/m) de fibra de casca da banana prata das 2 varreduras de aquecimento e de 1 varredura de resfriamento.

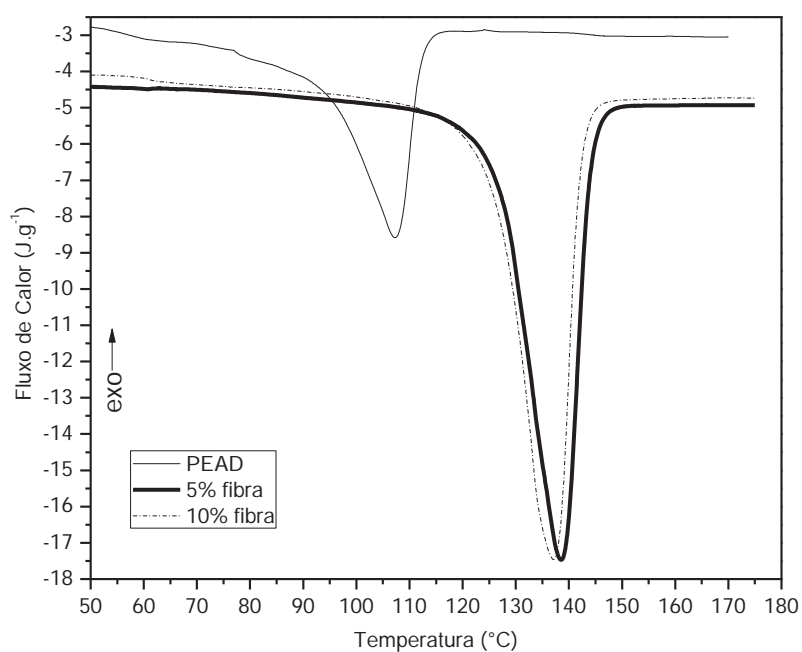


Figura 17 - Curva DSC primeira varredura de aquecimento do PEAD e compósitos de 5 e 10%

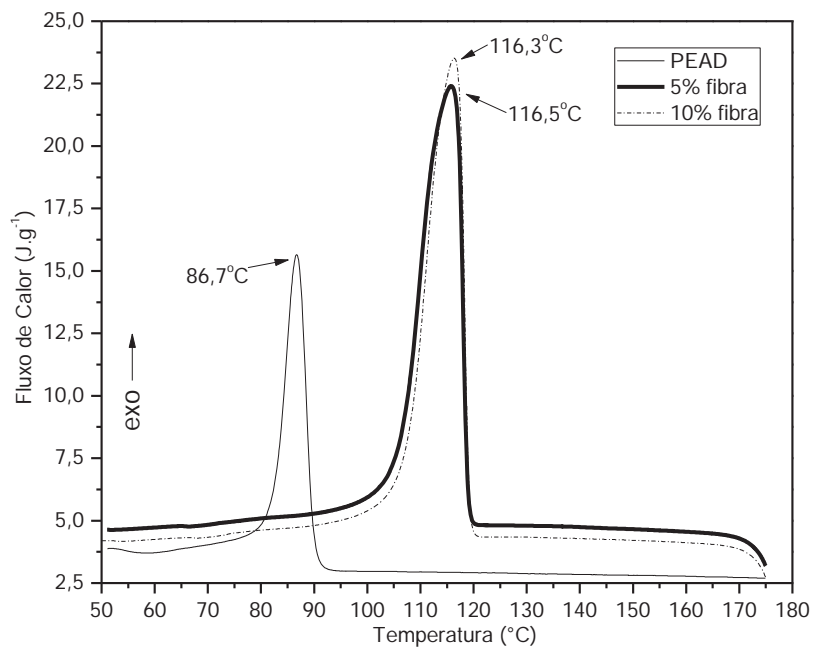


Figura 18 - Curva DSC primeira varredura de resfriamento do PEAD e compósitos de 5 e 10%

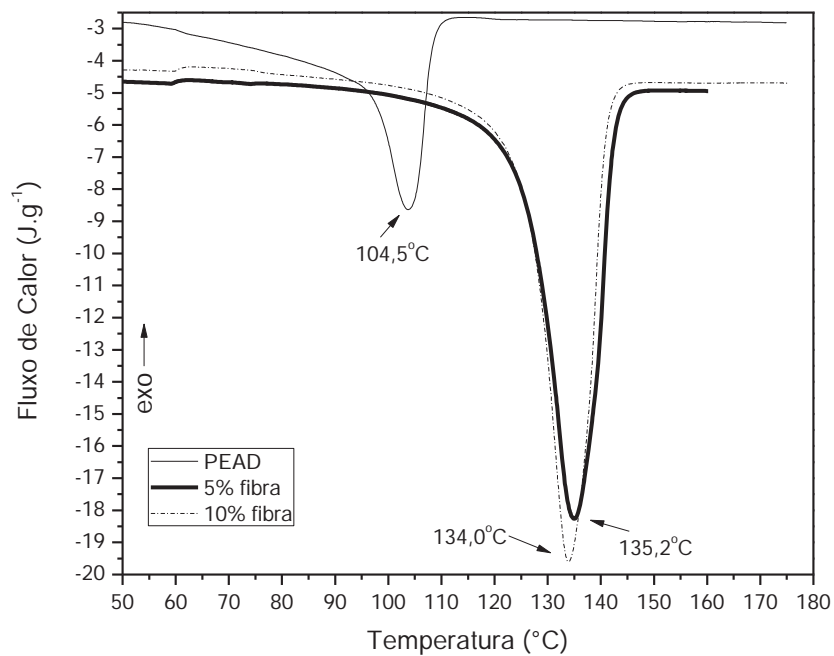


Figura 19 - Curva DSC segunda varredura de aquecimento do PEAD e compósitos de 5 e 10%

A partir da Figura 18 foi possível determinar a temperatura de início, de fim e de pico da cristalização. E com a Figura 19 foram determinadas as temperaturas de início, de fim e pico da fusão.

A partir da Figura 19, as temperaturas de transição vítrea foram determinadas utilizando a norma ASTM D 3418-08. O método utilizado foi de extrapolação, traçando duas retas paralelas às curvas antes e depois do aumento do fluxo de calor a temperaturas entre 60 e 70°C.

Ao comparar a curva DSC dos compósitos reforçados com fibras de casca de banana com o polímero puro é observado que a temperatura de fusão diminuiu com a inserção do reforço.

É possível calcular a porcentagem de cristalização do PEAD através da Equação 2.

$$X_c = \frac{\Delta H_f \cdot 100}{\Delta H_f^0 \cdot w} \quad (2)$$

Sendo:

$X_c$ : índice de cristalinidade;

$\Delta H_f$ : entalpia de fusão

$\Delta H_f^0$ : entalpia de fusão padrão

w: fração em massa do PEAD

O valor de  $\Delta H_f^0$  para o PEAD puro é 293 J.g<sup>-1</sup>, w é a fração em massa do PEAD no compósito e  $\Delta H_f$  é a entalpia de fusão da amostra. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos por meio das curvas DSC dos compósitos e do PEAD.

Analisando os dados da porcentagem de cristalização observou-se um aumento na cristalinidade dos compósitos quando comparado ao polímero puro.

A temperatura de transição vítrea, temperatura de cristalização, fusão e a cristalinidade aumentaram em relação ao PEAD puro com adição de fibra na matriz, pois a fibra possibilitou maior ordenação da estrutura interna no compósito.

Tabela 9- Dados da curva DSC para PEAD e compósitos de 5 e 10%

<b>Amostras</b>	<b>T<sub>g</sub></b> (°C)	<b>T<sub>c</sub></b> <b>inicial</b> (°C)	<b>T<sub>c</sub></b> <b>pico</b> (°C)	<b>T<sub>c</sub></b> <b>final</b> (°C)	<b>T<sub>f</sub></b> <b>inicial</b> (°C)	<b>T<sub>f</sub></b> <b>pico</b> (°C)	<b>T<sub>f</sub></b> <b>final</b> (°C)	<b>ΔH<sub>f</sub></b> (J.g <sup>-1</sup> )	<b>X<sub>c</sub></b> (%)
<b>PEAD</b>	59,5	90,5	86,7	81,6	97,8	104,5	108,4	188,3	64,3
<b>Compósito 5%</b>	60,3	119,7	116,5	111,6	121,3	135,2	143,4	183,1	65,8
<b>Compósito 10%</b>	61,4	119,4	116,3	105,5	121,4	134,0	142,2	183,9	69,7

\* T<sub>g</sub>: temperatura de transição vítrea; T<sub>c</sub><sup>i</sup>: temperatura inicial de cristalização; T<sub>c</sub><sup>pico</sup>: temperatura de pico de cristalização; T<sub>c</sub><sup>f</sup>: temperatura final de cristalização; T<sub>f</sub><sup>i</sup>: temperatura inicial de fusão; T<sub>f</sub><sup>pico</sup>: temperatura de pico de fusão; T<sub>f</sub><sup>f</sup>: temperatura final de fusão; ΔH<sub>f</sub>: Entalpia de fusão; X<sub>c</sub>: índice de cristalinidade

#### 5.4 Difração de Raios X

Os difratogramas de raios X das fibras da casca de banana *in natura* e lavada com água destilada estão representados na Figura 20. Com os resultados obtidos e baseado no método empírico de Segal (PEREIRA, 2010), foi possível calcular o índice de cristalinidade das fibras lignocelulósicas, utilizando a Equação 1.

Os resultados obtidos mostraram que para a fibra *in natura* obteve-se 21,4% de grau de cristalinidade, enquanto que para a fibra lavada foi obtido 33,3 % de cristalinidade, ou seja, o tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>destilada</sub> melhorou o grau de cristalinidade da fibra em 11,9%. Esse aumento da cristalinidade se deve a remoção das substâncias solúveis em água que foram retiradas durante o processo de lavagem.

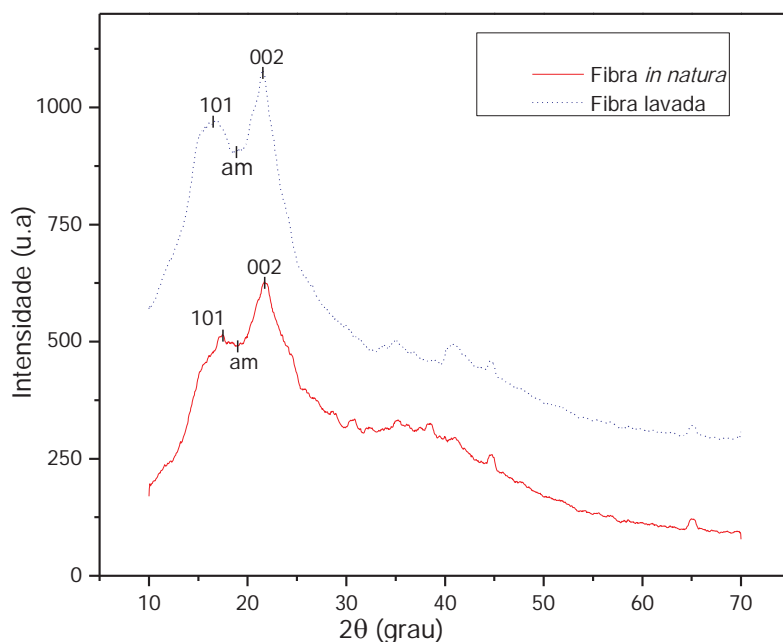


Figura 20 - Curva DRX para fibra *in natura* e lavada

Podem ser observados dois picos mais intensos em ambas as amostras, o primeiro pico ocorre a aproximadamente  $2\theta = 16^\circ$ , que corresponde ao plano (101). O segundo pico em  $2\theta = 22^\circ$  e corresponde ao plano (002), esses picos cristalográficos são características de fibras lignocelulósicas (ARAÚJO et al., 2010). Segundo Benini (2011) fibras com alto teor de celulose apresentam dois picos próximos a  $2\theta = 16^\circ$ , porém para as fibras analisadas foi notado apenas um pico, isso ocorre devido a presença do material amorfo que encobrem um dos picos referente à celulose.

Os picos da fibra lavada são mais definidos e intensos quando comparados à fibra *in natura*, isto indica que a lavagem conseguiu remover solúveis em água, permitindo melhor empacotamento das microfibrilas de celulose e melhorando o grau de cristalinidade (BENINI, 2011).

### 5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) teve como objetivo determinar as características das fibras antes e após a lavagem com  $H_2O_{\text{destilada}}$ , quanto a morfologia e aspecto superficial.

A micrografia da fibra de banana lavada e *in natura* estão dispostas nas Figuras 21 e 22 respectivamente com ampliação de 100 e 1000 vezes, evidenciando mudança na morfologia da fibra após o processo de lavagem.

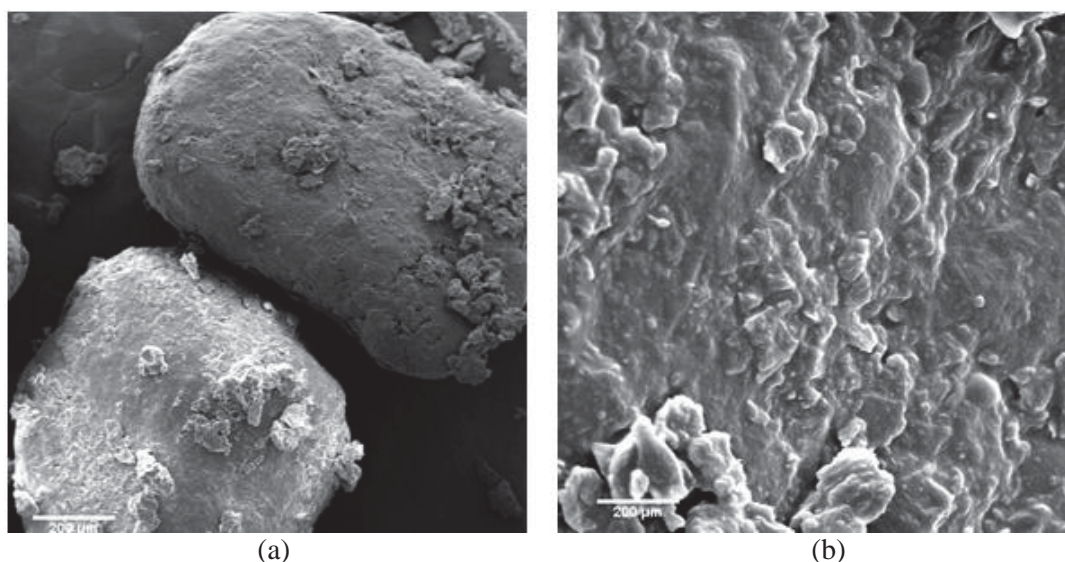


Figura 21 - Microscopia eletrônica de varredura da casca de banana *in natura* (a) ampliada 100 x (b) ampliada 1000x

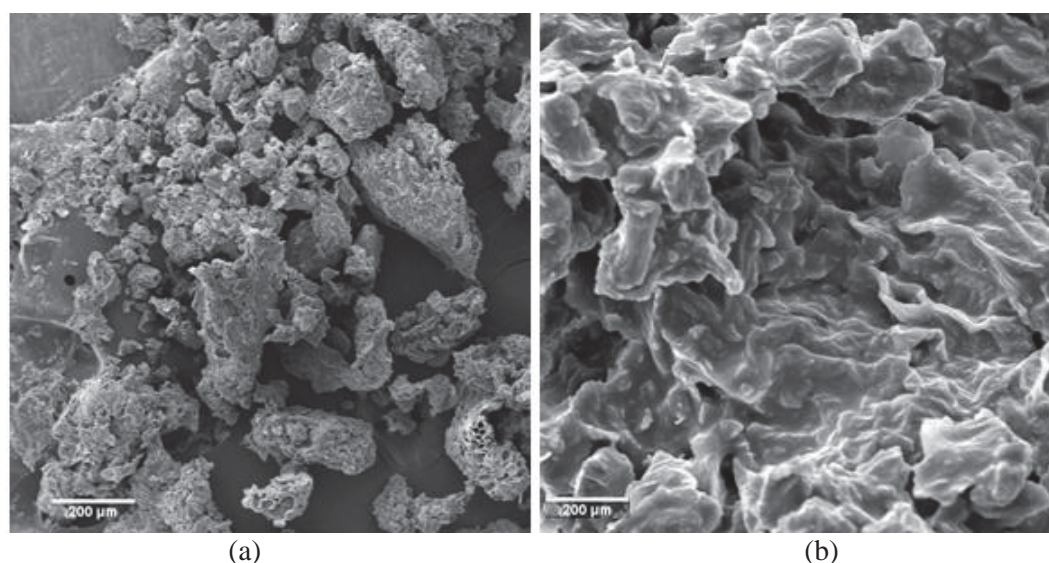


Figura 22 - Microscopia eletrônica de varredura da casca de banana lavada (a) ampliada 100x (b) ampliada 1000x

Na fibra da casca da banana *in natura* com ampliação de 100 vezes, as partículas têm um formato mais oval, enquanto que a fibra lavada não segue um formato, e o tamanho das partículas é menor. Para ampliação de 1000 vezes a fibra *in natura*, apresenta uma superfície com menos rugosidade quando comparada com a fibra

lavada, e, quanto maior a área superficial melhor a possibilidade de aderência entre fibra e matriz, aumentando assim as propriedades mecânicas do compósito.

## 5.6 Caracterização Mecânica

### 5.6.1 Ensaio de Tração

A resistência à ruptura, o módulo de elasticidade e o alongamento obtidos a partir do ensaio de tração para a matriz e para os compósitos de PEAD reforçados com teores de fibra da casca da banana lavadas são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Alongamento, Resistência à Tração e Módulo de Elasticidade do PEAD, compósito 5% e 10%

<b>Material</b>	<b>Alongamento (%)</b>	<b>Resist. à Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elast. (MPa)</b>
<b>PEAD<sup>1</sup></b>	2,1 ± 0,1	15,7 ± 1,1	732,5 ± 90,6
<b>Compósito 5% fibra</b>	2,1 ± 0,1	19,1 ± 0,6	814,5 ± 8,5
<b>Compósito 10% fibra</b>	2,4 ± 0,3	18,2 ± 0,4	760,5 ± 5,4

<sup>1</sup> Dados de Mulinari (2009)

Analisando os resultados da Tabela 10, foi observado que os compósitos reforçados com diferentes teores de fibras apresentam melhor resistência à tração quando comparado ao PEAD puro. Os compósitos reforçados com 5% (m/m) de fibras apresentaram resistência superior ao compósito reforçado com 10%. Isto pode ter ocorrido, a fibra imersa no polímero ao invés de atuar como reforço, passa a atuar como concentrador de tensão, prejudicando as propriedades mecânicas do compósito.

#### 5.6.1.1 MEV na área útil dos corpos de prova dos compósitos ensaiados em tração

Com o MEV foram obtidas as imagens dos compósitos de 5% e 10% de fibra com ampliação de 100x, 1000x e 5000x (Figura 25).

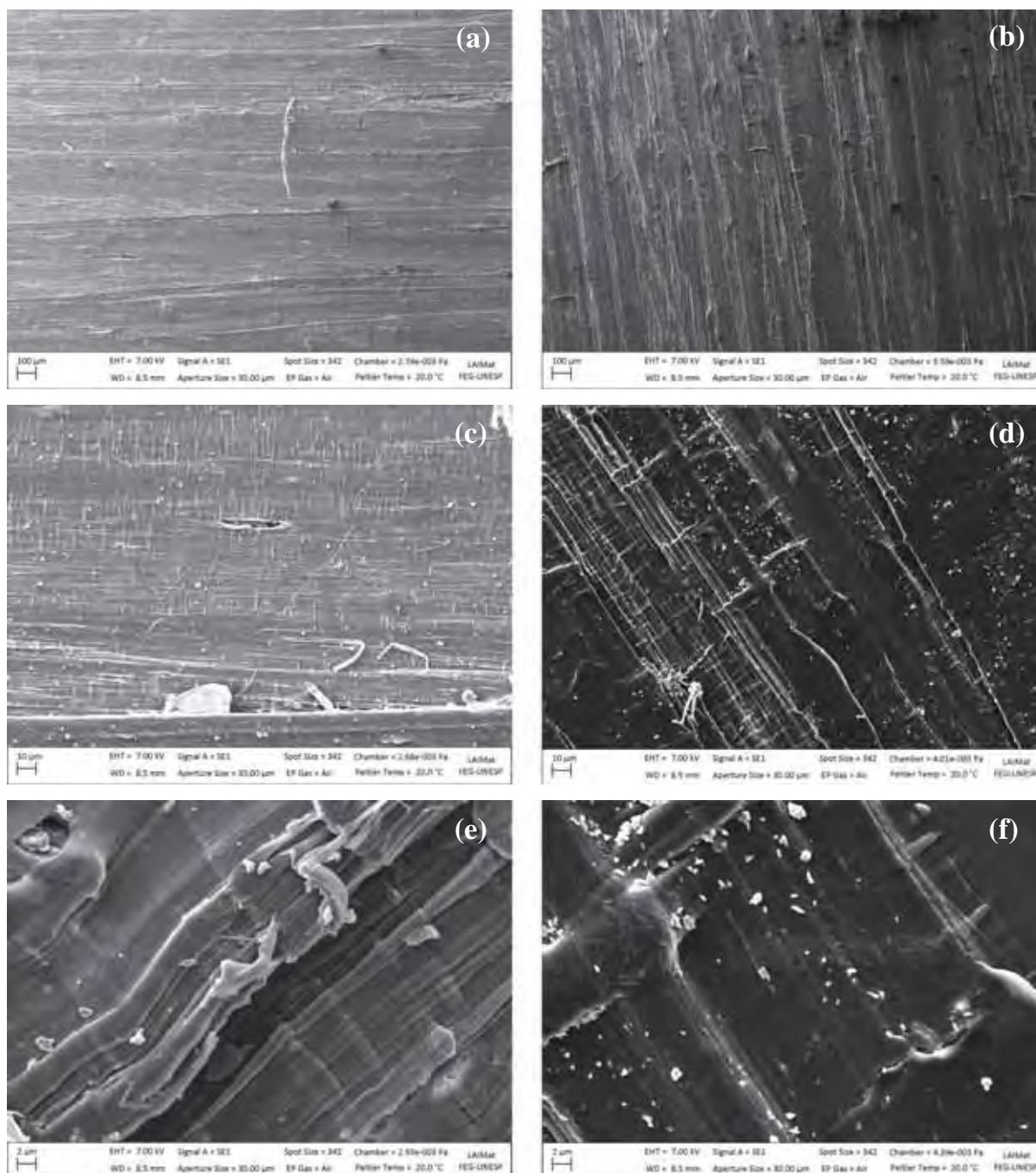


Figura 23 - Microscopia eletrônica de varredura da superfície da área útil dos compósitos após ensaio de tração (a) 5% de fibra ampliado 100x (b) 10% de fibra ampliado 100x (c) 5% de fibra ampliado 1000x (d) 10% de fibra ampliado 1000x (e) 5% de fibra ampliado 5000x (f) 10% de fibra ampliado 5000x

Os corpos de prova ensaiados não chegaram a fraturar por dois motivos: o ensaio foi realizado na Instron 8801, que possui deslocamento para o ensaio longo o suficiente para materiais de caráter mais frágeis; e a grande capacidade de alongação do polímero (PEAD). Porém foi feita a análise por MEV da região central do corpo de prova que sofreu deformação plástica.

Com as imagens obtidas, Figura 25, é possível notar a diferença na quantidade de fibra dispersa na matriz polimérica dos compósitos de 5% e 10%.

Observa-se uma orientação do polímero para um sentido, que obedece a direção do em que a carga de tração foi aplicada.

## 6 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados térmicos, mecânicos e morfológicos obtidos neste trabalho foi possível analisar a influência do tratamento com  $H_2O_{\text{destilada}}$  nas fibras de casca de banana e estudar as propriedades dos compósitos reforçados com diferentes teores de fibra dispersas na matriz, utilizando a fibra lavada:

- O processo de lavagem com  $H_2O_{\text{destilada}}$ , realizado nas fibras de casca de banana prata *in natura*, melhorou a estabilidade térmica da fibra significativamente;
- O índice de cristalinidade das fibras lavadas com  $H_2O_{\text{destilada}}$  melhorou 11,9% em relação à fibra *in natura*. A remoção dos componentes solúveis em água permite melhor empacotamento das cadeias de celulose;
- A interação fibra/matriz aumentou após o tratamento com  $H_2O_{\text{destilada}}$ ;
- As propriedades mecânicas dos compósitos preparados apresentaram melhorias em relação ao polímero puro;
- Com a adição das fibras naturais, a estabilidade térmica do polímero diminuiu, pois a fibra possui estabilidade térmica menor em relação ao polímero puro. A quantidade de fibra imersa na matriz é inversamente proporcional à estabilidade térmica do compósito;
- A temperatura de transição vítrea, temperatura de fusão e temperatura de cristalização aumentaram com a adição da fibra de casca de banana lavada. O aumento na temperatura de fusão aumentou o grau de cristalinidade do compósito possibilitando melhor propriedade mecânica do compósito;
- O grande diferencial dos compósitos naturais é que possui propriedades mecânicas semelhantes ao polímero puro, porém com menor custo, pois necessita de menos polímero (que é mais caro), e é sustentável, pois provém de fontes renováveis;

A utilização de fibras de casca de banana na preparação do compósito natural é uma alternativa, que pode ser aplicada em situação que exigem as mesmas propriedades mecânicas e propriedades térmicas um pouco inferiores, quando

comparado com o PEAD puro. Sendo assim uma opção de redução de custos em aplicações industriais e também ajudando na preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHAK, M.; HADIFI, A.; OUAZZANI, N.; SAYADI, S.; MANDI, L. Low cost biosorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: kinetic and equilibrium studies. **Journal of Hazardous Material**, v. 166, p. 117-125, 2009.

AKHLAGHI, S.; SHARIF, A.; KALAEI, M.; ELAHI, A.; PIRZADEH, M.; MAZINANI, S.; AFSHARI, M. Effect of stabilizer on the mechanical, morphological and thermal properties of compatibilized high density polyethylene/ethylene vinyl acetate copolymer/organoclay nanocomposites. **Materials and Design**, v. 33, p. 273-283, 2011.

ALBARELLI, J. Q.; RABELO, R. B.; SANTOS, D. T.; BEPPU, M. M.; MEIRELES, A. A. Effects os supercritical carbon dioxide on waste banana peels for heavy metal removal. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 58, p. 343-351, 2011.

ALMEIDA, G. C.; SILVA, T. Avaliação de perdas na cadeia comercial de banana nanica, banana prata e tomate longa vida. Belo Horizonte: CEASAMINAS/FAEMG/SEBRAE-MG, 2008.

ALVES, C.; FERRÃO, P. M. C.; SILVA, A. J.; REIS, L. G.; FREITAS, M.; RODRIGUES, L. B.; ALVES, D. E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 313-327, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. United States of America, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3418 - 08 Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 2550: Standard Test Method for Thermal Stability by Thermogravimetry. United States of America, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 473: Standard Terminology Relating to Thermal Analysis and Rheology. United States of America, 2010.

ANWAR, J.; SHAFIQUE, U.; ZAMAN, W. U.; SALMAN, M.; DAR, A.; ANWAR, S. Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by absorption on peels of banana. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1752-1755, 2010.

ARAUJO, J. R.; MANO, B.; TEIXEIRA, G. M.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Biomicrofibrillar composites of high density polyethylene reinforced with carauá fibers: Mechanical, interfacial and morphological properties. **Composites Science and Technology**, v. 70, p. 1637-1644, 2010.

AWAL, A.; CESCUTTI, G.; GHOSH, S. B.; MÜSSIG, J. Interfacial studies of natural fibre/polypropylene composites using single fibre fragmentation test (SFFT). **Composites: Part A**, v. 42, p. 50-56, 2011.

AYOUB, G.; ZAÏRI, F.; ABDELAZIZ, M. N.; GLOAGUEN, J. M. Modelling large degradation behaviour under loading-unloading of semicrystalline polymers: Application to a high density polyethylene. **International Journal of Plasticity**, v. 26, p. 329-347, 2010.

BAJPAI, P. K.; SINGH, I.; MADAN, J. Joining of natural fiber reinforced composites using microwave energy: Experimental and finite element study. **Material and Design**, v. 35, p. 596-602, 2012.

BENINI, K. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibra lignocelulósicas HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 122f. Tese (Mestrado em Engenharia mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

BRAZILIANFRUIT, Informações Nutricionais e Dietéticas. Disponível em: <[www.brazilianfruit.org](http://www.brazilianfruit.org)>. Acessado em: 30 de outubro 2011.

CEPEA, Banana: mercado atual e perspectivas do setor. Disponível em: <[www.cepea.esalq.usp.br](http://www.cepea.esalq.usp.br)>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

CITEVE; 2009 o "Ano internacional das fibras naturais". Disponível em: <[www.citeve.pt](http://www.citeve.pt)>. Acessado em: 09 de novembro de 2011.

COMIM, S. R. R.; MADELLA, K.; OLIVEIRA, J. V.; FERREIRA, S. R. S. S. Supercritical fluid extraction from dried banana peel (*Musa* spp., genomic group AAB): Extraction yield, mathematical modeling, economical analysis and phase equilibria. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 54, p. 30-37, 2010.

DOUMINGE, L; MALLARINO, S.; COHENDOZ, S.; FEAUGAS, X.; BERNARD, J. Extrinsic fluorescence as a sensitive method for studying photo-degradation of high density polyethylene part I. **Current Applied Physics**, v. 10, p. 1211-1215, 2010.

DUC, A. L.; VERGNES, B.; BUDTOVA, T. Polypropylene/natural fibres composites: Analysis of the fibre dimensions after compounding and observations of fibre rupture by rheo-optics. **Composites: Part A**, v. 42, p. 1727-1737, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Banana Fonte: FAO 2011. Disponível em: <[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Banana Fonte: IBGE - Produção Agrícola Mundial, 2009. Disponível em: <[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

FABIYI, J. S.; MCDONALD, A. G. Effect of wood species on property and weathering performance of wood plastic composites. **Compositites: Part A**, v. 41, p. 1434-1440, 2010.

FIGUEIREDO, J. O. G. **Comportamento mecânico de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco verde para aplicação na indústria automobilística**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá/SP, 2009.

FOLHA, Casca de banana transformada em pó pode despoluir água. Disponível em: <[www1.folha.uol.com.br](http://www1.folha.uol.com.br)>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

FOUAD, H.; ELLEITHY, R.; AL-ZAHRANI, S. M.; ALI, M. A-H. Characterization and processing of High density polyethylene/carbon nano-composites. **Materials and Design**, v. 32, p. 1974-1980, 2010.

GLOBO, Jornal hoje: Pesquisa revela que casca de frutas têm mais vitaminas do que as polpas. Disponível em: <[www.g1.globo.com](http://www.g1.globo.com)>. Acessado em: 05 de dezembro de 2011.

GOULART, S. A. S.; OLIVEIRA, T. A.; TEIXEIRA, A.; MILÉO, P. C.; MULINARI, D. R. Mechanical behaviour of polypropylene reinforced palm fibers composites. **Procedia Engeneering**, v. 10, p. 2034-2039, 2011.

GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M. Validação da metodologia para caracterização química do bagaço de cana-de-açúcar. **Quimica Nova**, v. 32, p. 1500-1503, 2009.

GUIMARÃES, J. L.; FROLLINI, E.; SILVA, C. G.; WYPYCH, F.; SATYANARAYANA, K. G. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. **Industrial Crops and Product**, v. 30, p. 407-415, 2009.

HIZOUM, K.; BELOUETTAR, S. Uniaxial tensile cyclic behavior of high density polyethylene: Experimentation and modeling. **International Journal of Solids and Structures**, in press, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Agosto 2011. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acessado em: 30 de outubro de 2011.

IBRAHIM, M. M.; DUFRESNE, A.; ZAWAWY, W. K. E.; AGBLEVOR, F. A. Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcements in polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, p. 811-819, 2010.

IZIDORO, D. R.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; SOUZA, C. F.; SCHEER, A. P. Physical and chemical properties of ultrasonically, spray-dried green banana (*Musa cavendish*) starch. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 639-648, 2011.

JAN, M. R.; SHAH, J.; GULAB, H. Catalytic degradation of waste high-density polyethylene into fuel products using BaCO<sub>3</sub> as a catalyst. **Fuel Processing Technology**, v. 91, p. 1428-1437, 2010.

KU, H.; WANG, H.; PATTARACHAIYAKOOP, N.; TRADA, M. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composite. **Composites: Part B**, v. 42, p. 856-873, 2011.

LEI, Y.; WU, Q. Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate). **Bioresource Technology**, v. 101, p. 3665-3671, 2010.

LIU, S. P.; XU, J. F. Characterization and mechanical properties of high density polyethylene/silane montmorillonite nanocomposites. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 38, p. 734-741, 2011.

LOMBARDI, R.; HARAKAVA, R.; COLARICCIO, A. Clonagem e purificação de fragmento da proteína capsidial da Banana streak OL virus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 881-817, 2010.

MANO, B.; ARAÚJO, J. R.; SPINACÉ, M.S.A; DE PAOLI, M. A. Polyolefin composite with curaua fibres: Effect of the processing conditions on mechanical properties, morphology and fibres dimensions. **Composite science and technology**, v. 70, p. 29-35, 2010.

MARTINS, C. R.; FARIAS, R. M. Food of production x loss: types, causes and production agricultural how to reduce losses. **Uruguiana**, v. 9, p. 20-32, 2002.

MERLINI, C.; SOLDI, V.; BARRA, G. M. O. Influence of fiber surface treatment and length on physico-chemical properties of short random banana fiber-reinforced castor oil polyurethane composites. **Polymer Testing**, v. 30, p. 833-840, 2011.

MOIGNE, L. N.; OEVER, M. V. D.; BUDTOVA, T. A statistical analysis of fibre size and shape distribution after compounding in composites reinforced by natural fibres. **Composites: Part A**, v. 42, p. 1542-1550, 2011.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Materiais e Tecnologia - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - SP, 2009.

MURILLO, C. G.; ANSELL, M. P. Co-cured in-line joints for natural fibre composites. **Composites Science and Technology**, v. 70, p. 442-449, 2009.

PEREIRA, P. H. F., CIOFFI, M. O. H. ; VOORWAD, H. J. C. ; SILVA, M.L.C.P., Novel Cellulose/NbOPO<sub>4</sub>.nH<sub>2</sub>O Hybrid Material From Sugarcane Bagasse. **Bioresources**, v. 6, p. 867-878, 2011

PETTARIN, V.; CHURRUCA, M. J.; FELHÖS, D.; KOCSIS, J. K.; FRONTINI, P. M. Changes in tribological performance of high molecular weight high density polyethylene induced by the addition of molybdenum disulphide particles. **Wear**, v. 269, p. 31-45, 2010.

PRASAD, A. V. R.; RAO, K. M. Mechanical properties of natural fibre reinforced polyester composite: Jowar, sisal and bamboo. **Materials and Design**, v. 32, p. 4658-4663, 2011.

RAO, K. M. M.; RAO, K. M.; PRASAD, A. V. R. Fabrication and testing of natural fibre composites: Vakka, sisal, bamboo and banana. **Materials and Design**, v. 31, p. 508-513, 2010.

ROCHA, G. J. M.; SILVA, F. T.; CURVELO, A. A. S.; ARAÚJO, G. T. In Congress: Resumos do 5th Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components, Paraná, Brasil, 1997.

ROSA, I. M.; SANTULLI, C.; SARASINI, F. Acoustic emission for monitoring the mechanical behaviour of natural fibre composites: A literature review. **Composites: Part A**, v. 40, p. 1456-1469, 2009.

SEBRAE, Estudo de mercado SEBRAE/ESPM 2008. Disponível em: <[www.biblioteca.sebrae.com.br](http://www.biblioteca.sebrae.com.br)>. Acessado: 11 outubro de 2011.

SEGAL, L.; CREELY, J.; MARTIN, F. A. E.; RUBIRA, A. F. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, p. 786-794, 1959.

SEVER, K.; ERDEN, S.; GÜLEC, H. A.; SEKI, Y.; SARIKANAT, M. Oxygen plasma treatments of jute fibers in improving the mechanical properties of jute/HDPE composites. **Materials Chemistry and Physics**, v. 129, p. 275-280, 2011.

SILVA NETO, S. P. da; GUIMARÃES, T. G. Evolução da cultura da banana no Brasil e no mundo Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/287/>>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

SU, R.; WANG, K.; NING, N.; CHEN, F.; ZHANG, Q.; WANG, C.; FU, Q.; NA, B. Orientation in high-density polyethylene/inorganic whisker composite fibers as studied via polarized Fourier transform infrared spectroscopy. **Composites Science and Technology**, v. 70, p. 685-691, 2010.

TVCULTURA, Programa sobre desperdício (São Paulo-SP). Disponível em: <[www2.tvcultura.com.br](http://www2.tvcultura.com.br)>. Acessado em: 30 de outubro, 2011.

VENKATESHWARAN, N.; ELAYAPERUMAL, A.; ALAVUDEEN, A.; THIRUCHITRAMBLAM, M. Mechanical and water absorption behaviour of banana/sisal reinforced hybrid composites. **Materials and Design**, v. 32, p. 4017-4021, 2011.

VENKATESHWARAN, N.; ELAYAPERUMAL, A.; SATHIYAG. K. Prediction of tensile properties of hybrid - natural fiber composites. **Composites: Part B**, In press, 2011.

VIEIRA, L. M., Síntese annual da agricultura de Santa Catarina 2009-2010. Santa Catarina: EPAGRI/CEPA, 2010.

XIE, Y.; HILL, C. A. S.; XIAO, Z.; MILITZ, H.; MAI, C. Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composite: A review. **Composites: Part A**, v. 41, p. 806-819, 2010.

YUAN, Q.; YANG, Y.; CHEN, J.; RAMUNI, V.; MISRA, R. D. K.; BERTRAND, K. J.. The effect of crystallization pressure on macromolecular structure, phase evolution, and fracture resistance of nano-calcium carbonate-reinforced high density polyethylene. **Materials Science and Engineering A**, v. 527, p. 6699-6713, 2010.

ZHANG, L.; MIAO, M. Commingled natural fibre/polypropylene wrap spun yarns for structured thermoplastic composites. **Composites Science and Technology**, v. 20, p. 130-135, 2010.