



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

RAFAEL INÁCIO MARCONDES FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE FIBRAS
NATURAIS MODIFICADAS E HÍBRIDOS: FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/
POLIPROPILENO E FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/FIBRAS DE VIDRO/
POLIPROPILENO**

Guaratinguetá

2012

RAFAEL INÁCIO MARCONDES FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE FIBRAS
NATURAIS MODIFICADAS E HÍBRIDOS: FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/
POLIPROPILENO E FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/FIBRAS DE VIDRO/
POLIPROPILENO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de 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.

Orientadora: Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini

Coorientadora: Maria Odila Hilário Cioffi

Guaratinguetá

2012

F363
d
Fernandes, Rafael Inácio Marcondes
Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais
modificadas e híbridos: fibras da coroa do abacaxi/ polipropileno e fibras
da coroa do abacaxi/fibras de vidro/ polipropileno / Rafael Inácio
Marcondes Fernandes – Guaratinguetá : [s.n], 2012.
53 f. : il.

Bibliografia: f. 47-53

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientadora: Prof^a MSc Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini
Coorientadora: Prof^a Dr^a Maria Odila Hilário Cioffi

1. Materiais compostos 2. Fibras de vidro 3. Polipropileno I. Título

CDU 620.1

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE FIBRAS
NATURAIS MODIFICADAS E HÍBRIDOS: FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/
POLIPROPILENO E FIBRAS DA COROA DO ABACAXI/FIBRAS DE VIDRO/
POLIPROPILENO**

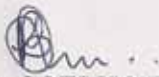
RAFAEL INÁCIO MARCONDES FERNANDES

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

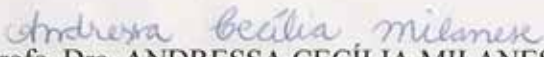
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE MATERIAIS

Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


KELLY CRISTINA COELHO DE CARVALHO BENINI
Orientadora/UNESP-FEG


Prof. MD SÉRGIO ROBERTO MONTORO
UNESP-FEG


Profa. Dra. ANDRESSA CECÍLIA MILANESE
UNESP-FEG

Novembro de 2012

DADOS CURRICULARES

RAFAEL INÁCIO MARCONDES FERNANDES

NASCIMENTO	03.02.1987 – GUARATINGUETÁ / SP
FILIAÇÃO	Antonio Carlos Marcondes Fernandes Alexandrina Inácio Fernandes
2008/2012	Curso de Graduação Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Alexandrina Inácio Fernandes e Antonio Carlos Marcondes Fernandes, por estarem sempre presentes me dando todo o apoio e carinho, pois sei que sem vocês meu caminho seria muito mais difícil. A minha querida irmã Mariana Inácio Marcondes Fernandes por estar sempre torcendo pelas minhas vitórias e me apoiando nas horas difíceis.

Agradeço a minha namorada Desirée de Moura Branco, pelo companheirismo em todos os momentos.

As minhas orientadoras *Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini* e *Prof. Maria Odila Hilário Cioffi*, pela paciência, conselhos e principalmente pela dedicação depositada em minha formação.

E por fim, a todos aqueles que não foram mencionados aqui, mas que fizeram e fazem parte do nosso sucesso pela conclusão desta etapa de minha vida.

"Todo o bem que eu puder fazer, toda a ternura que eu puder demonstrar a qualquer ser humano, que eu os faça *agora, que não os adie ou esqueça, pois não passarei duas vezes pelo mesmo caminho.*"

James Greene

FERNANDES, R. I. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos: Fibras da coroa do abacaxi/ Polipropileno e Fibras da Coroa do Abacaxi/ Fibras de Vidro/ Polipropileno.** 2012. 53f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

A preocupação com a preservação do meio ambiente tem feito com que pesquisadores bem como indústrias invistam na busca por materiais que sejam provenientes de fontes renováveis. As fibras naturais, por serem “ecologicamente corretas” e possuírem baixo custo, vêm sendo estudadas como possíveis substitutas, mesmo que parcial, das fibras sintéticas no desenvolvimento de compósitos poliméricos. Nesse contexto, os compósitos híbridos (natural/sintético) aumentam consideravelmente a gama de aplicação dos compósitos naturais. A indústria automobilística, em sua constante busca por materiais com boas propriedades mecânicas e que sejam desenvolvidos com sustentabilidade, tem nos compósitos com reforços híbridos uma alternativa bastante viável. No presente trabalho, as fibras da coroa do abacaxi *in natura* e tratadas com solução alcalina foram estudadas a fim de avaliar a influência do tratamento químico em suas propriedades. Para isso, foram utilizadas as técnicas de difratometria de Raios X, termogravimetria (TGA) e Espectroscopia de Infravermelho (FTIR). A partir das fibras tratadas, foram desenvolvidos compósitos poliméricos de polipropileno reforçados com fibras de abacaxi e híbridos fibras de abacaxi/fibras de vidro, ambos com teores de 5 e 10% de reforço. Esses compósitos foram analisados pelas técnicas de termogravimetria e ensaios de tração. A realização desse trabalho indicou que embora o tratamento químico não tenha afetado a estabilidade térmica das fibras, proporcionou um aumento no índice de cristalinidade das fibras e diminuição de seu carácter hidrofílico. Os ensaios realizados nos compósitos indicaram que o processamento dos compósitos foi adequado, pois proporcionou boa dispersão das fibras na matriz polimérica. A adição das fibras naturais provenientes da coroa do abacaxi, em uma proporção de 10%, proporcionou o maior aumento no módulo de elasticidade (27%) quando comparados ao polímero puro.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras da coroa do abacaxi, fibras de vidro, polipropileno, compósitos híbridos.

FERNANDES, R. I. M. **Development and characterization of natural fibers and hybrids composites: Pineapple Crown Fiber/ polypropylene and pineapple Crown Fiber/glass Fiber/ Polypropylene.** 2012. 53f. Graduate Work (Graduate in Materials Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The concern with the environment preservation has done with that researchers as well as industries invest in the search for materials that come from renewable sources. Natural fibers, because they are "ecologically correct" and have low cost, have been studied as a possible substitute, even if partial, of synthetic fibers in the development of polymeric composites. In this context, the hybrid composites (natural/synthetic) increase considerably the range of application of natural composites. The auto industry, in its constant quest for good mechanical properties materials which are developed with sustainability, has in composites with hybrid reinforcement a very viable alternative. In the present work, the nature Crown pineapple fibers and nature Crown pineapple fibers treated with alkaline solution were studied in order to evaluate the influence of chemical treatment in its properties. For this techniques were used x-ray diffractometry, Thermogravimetry and Infrared Spectroscopy (FTIR). Composites have been developed using polypropylene, reinforced with pineapple fibers and pineapple fibers hybrids/glass fibres, both with levels of 5 and 10%. These composites were analyzed by Thermogravimetry techniques and tested by traction. The realization of this work indicated that although the chemical treatment did not affect the thermal stability of the fibers, caused an increase in crystallinity index fibers and decreased its hydrophilic. The tests performed on composite indicated that the composites process was suitable because it provided good dispersion of the polymer matrix. The addition of natural fibers from the pineapple's Crown, in a proportion of 10%, provided the greatest increase in modulus of elasticity (27%) when compared to the pure polymer.

KEYWORDS: Crown pineapple fibers, glass fibers, polypropylene, hybrid composites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plantação de Abacaxi	19
Figura 2 - Gráfico tensão-deformação padrão	24
Figura 3 - Fluxograma da metodologia aplicada	26
Figura 4 – (a) Esquema utilizado para o tratamento de mercerização (b) imagem das fibras in natura e tratadas	27
Figura 5 - Detalhe da capsula bi partida do misturador termocinético	29
Figura 6 – Calandra.....	30
Figura 7 – Moinho Granulador	30
Figura 8 – Injetora	30
Figura 9 – Corpo de prova Ensaio de Tração.	31
Figura10 – Curvas termogravimétricas das fibras de abacaxi: fibras <i>in natura</i> e tratadas	32
Figura 11 – Curvas DTG das fibras de abacaxi: fibras <i>in natura</i> e tratadas.....	33
Figura 12 – Espectros na região do infravermelho ($500 - 4000\text{ cm}^{-1}$) das fibras de abacaxi <i>in natura</i> e tratadas.....	35
Figura 13 – Difrátogramas de Raios X das fibras de abacaxi in natura e tratadas..	36
Figura 14 – (a) Polipropileno, (b) fibras de coroa do abacaxi, (c) compósito granulado.....	38
Figura 15 – Corpos de prova de tração reforçados com fibras de abacaxi 5 e 10% e híbridos (fibras de abacaxi/ fibras de vidro) 5 e 10%.	38
Figura 16 – Corpo de prova compósito PP/ 10 fibras de abacaxi	39
Figura 17 – Gráficos comparativos dos valores de resistência a tração para os compósitos híbridos e com fibras de abacaxi tratadas..	40
Figura 18 – Curvas TG dos compósitos de PP com fibras de abacaxi e dos híbridos (fibras de abacaxi/ fibras de vidro).....	42
Figura 19 – Detalhe da primeira etapa da decomposição térmica dos compósitos.....	43
Figura 20 – Curvas DTG dos compósitos: 5% de reforço; 10% de reforço e polipropileno puro (PP).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos Compósitos Processados	29
Tabela 2 – Perda de massa e picos de degradação para as fibras de abacaxi in natura e modificadas.....	34
Tabela 3 - Principais bandas de absorção observadas nas fibras de abacaxi	34
Tabela 4 – Índice de cristalinidade das fibras de abacaxi.....	37
Tabela 5 – Propriedades mecânicas dos compósitos	41
Tabela 6 – Perda de massa e picos de degradação para os compósitos	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRX	Difratometria de Raios X
TG	Termogravimetria
DTG	Termogravimetria Derivada
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
DMT	Departamento de Materiais e Tecnologia
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
AMR	Divisão de Materiais
DCTA	Departamento de ciência e Tecnologia Aeroespacial
FTIR	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Módulo de elasticidade
T _g	Temperatura de transição vítrea
°C	Unidade de temperatura em graus Celsius
mg	Unidade de massa em miligrama
mm/s	Unidade de velocidade em milímetros por segundo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2.OBJETIVO.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Materiais Compósitos.....	17
3.2. Materiais Compósitos com reforço híbrido.....	17
3.3. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais.....	18
3.4. Disponibilidade de Matéria Prima: Abacaxi.....	19
3.5. Tratamento e modificação química das fibras.....	20
3.6. Utilização do PP como matriz polimérica.....	21
3.7. Processamento dos compósitos.....	22
3.8 Comportamento mecânico dos compósitos.....	23
3.9 Caracterização térmica dos compósitos.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1. Obtenção e tratamento das fibras de abacaxi.....	26
4.2. Difratomia de Raios X das fibras (DRX).....	27
4.3. Análise térmica das fibras e dos compósitos.....	28
4.4. Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier(FTIR).....	28
4.5. Processamento dos Compósitos.....	28
4.6. Ensaio de Tração.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1. Caracterização das Fibras.....	32
5.1.1. Termogravimetria.....	32
5.1.2. Infravermelho com transformada de Fourier(FTIR).....	34
5.1.3 Difratomia de Raios X.....	36
5.2. Compósito processado.....	37
5.2.1. Processo de Obtenção dos Compósitos.....	37
5.2.2. Ensaio de tração.....	39
5.2.3. Análise termogravimétrica dos compósitos.....	41
6. CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	

1. INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, a preocupação com a preservação do meio ambiente é uma questão global que tem feito com que pesquisadores e indústrias invistam no desenvolvimento de novos materiais e métodos de produção que sejam considerados ecologicamente corretos (MULINARI et al., 2009).

Atualmente, fibras sintéticas como as fibras de vidro e carbono ainda são bastante utilizadas em conjunto com agentes compatibilizantes, que melhoram a interface entre fibra/matriz, no desenvolvimento de compósitos poliméricos (KABIR et al., 2012; MADER et al., 1996).

Dentre as alternativas para o desenvolvimento de materiais ecologicamente corretos, existem disponíveis no mercado polímeros biodegradáveis, que vem sendo utilizados como matrizes em compósitos poliméricos, mas seu elevado custo em comparação aos materiais tradicionais dificulta sua utilização em escala industrial (GUTIÉRREZ, DE PAOLI, FELISBERTI, 2012).

As fibras naturais, por apresentarem características como baixo custo, baixa abrasividade, baixa toxicidade, biodegradabilidade e baixa densidade surgiram como uma ótima alternativa na substituição, mesmo que parcial, das sintéticas, no desenvolvimento de compósitos poliméricos. Entretanto, características como baixa temperatura de processamento e hidrofiliabilidade dificultam seu processamento (BENINI, 2011; CLEMONS, 2002; MULINARI, 2008).

Para viabilizar a utilização das fibras naturais como reforços em compósitos poliméricos existem tratamentos superficiais que visam minimizar o efeito dessas características, a fim de melhorar a adesão entre fibra/matriz e, portanto, as propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com estas fibras (KABIR et al., 2012; BHANU, GORIPATHI, SUMAN, 2012).

Dentre as fibras naturais disponíveis e atualmente utilizadas como reforço em compósitos poliméricos, as fibras de abacaxi, por serem produzidas em grande escala no Brasil e ao mesmo tempo serem, em sua grande parte, descartadas como resíduos são considerados uma boa alternativa como reforço em materiais compósitos (DEVI et al., 1997).

Nesse contexto, surgiram os compósitos híbridos, que são desenvolvidos a partir de dois ou mais tipos de reforços, a fim de melhorar as propriedades mecânicas do material, aumentando assim sua gama de aplicação (JOHN, THOMAS, 2008).

A fibra de vidro, por possuir boas propriedades mecânicas, baixo custo e atuar como uma barreira à passagem de água é considerada uma ótima alternativa para o processo de hibridização (DA SILVA et al., 2008). A indústria automobilística tem nesse material uma alternativa para substituição de materiais compósitos reforçados somente com fibras de vidro na fabricação de componentes internos porque eles possuem boas propriedades mecânicas aliadas ao forte apelo ambiental, que atualmente é uma preocupação mundial (JAWAID, KHALIL, 2011).

Portanto, a fim de avaliar a eficiência do tratamento superficial nas fibras naturais, as mesmas foram analisadas por meio das técnicas de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), termogravimetria (TGA) e difratometria de Raios X. As propriedades dos compósitos poliméricos foram analisadas por meio das técnicas de termogravimetria e ensaio de tração.

Para esse estudo foram desenvolvidos, com o uso do misturador termocinético e moldagem por injeção, compósitos poliméricos reforçados com fibras de abacaxi em proporções de 5 e 10% em massa, bem como compósitos com reforço híbrido de fibras de abacaxi e fibras de vidro nas mesmas proporções.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo principal desenvolver compósitos com matriz de polipropileno, reforçados com fibras de abacaxi e compósitos híbridos de fibras de abacaxi/fibras de vidro. Portanto visa à substituição de compósitos poliméricos reforçados somente com fibras de vidro, atualmente utilizados pela indústria.

Para atingir o objetivo principal alguns objetivos específicos devem ser alcançados:

- Avaliação da eficiência do tratamento químico superficial, com hidróxido de sódio (NaOH), realizado nas fibras de abacaxi;
- Desenvolvimento e avaliação, através de análises térmicas e mecânicas das propriedades dos compósitos de fibra de abacaxi /polipropileno e dos compósitos híbridos de fibra de vidro/fibra de abacaxi/polipropileno para definir as proporções e o reforço que proporciona as melhores propriedades mecânicas e térmicas aos compósitos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Materiais Compósitos

Os compósitos são materiais formados por pelo menos duas fases distintas (matriz/reforço), que atuando de forma sinérgica, fornecem propriedades adequadas a uma determinada necessidade. A matriz possui a função de distribuir e transmitir as cargas aplicadas no material, dar forma ao material e aglutinar as fibras, que por sua vez fornece grande parte da resistência mecânica ao material, principalmente com relação à resistência a tração. A grande vantagem no desenvolvimento de compósitos poliméricos está diretamente relacionada à capacidade de combinar as propriedades de dois ou mais materiais em sua confecção (CALLISTER, 2008).

Além dos compósitos naturais como madeira, encontrados na natureza, existem basicamente três tipos de compósitos: metálico, cerâmico e polimérico (DA SILVA, 2010). Os compósitos cerâmicos possuem elevada resistência ao calor, mas são extremamente frágeis, os metálicos possuem características como excelente condutibilidade e ductilidade e os poliméricos possuem características relacionadas a sua conformabilidade e baixa densidade (FONTAN, 2009). Outra classificação para compósito ocorre em relação ao tipo de reforço utilizado durante seu desenvolvimento. Dessa forma, os compósitos podem ser subdivididos em compósitos com reforço particulado, compósitos com fibras descontínuas e compósitos com fibras contínuas (BENINI, 2011).

Nos últimos anos, características como resistência, leveza, custo benefício, mas, sobretudo adaptabilidade, tem feito com que pesquisadores e a indústria invistam muito no desenvolvimento de compósitos, utilizando-o em novos projetos de engenharia (SILVA, 2010).

3.2. Materiais compósitos com reforço híbrido

Compósitos híbridos são materiais desenvolvidos a partir de dois ou mais tipos de reforços, onde a variação na proporção dos reforços fornece aos compósitos a possibilidade de variação em suas propriedades e aumento considerável em sua gama de aplicação. De uma forma geral, seu comportamento aparenta a média das propriedades dos componentes individuais, onde

o balanceamento adequado nas propriedades tende a minimizar as desvantagens inerentes aos reforços utilizados (MISHRA et al., 2003; ARAÚJO et al., 2007; NAYAK, MOHANTY, 2010).

Os compósitos híbridos podem ser desenvolvidos a partir da combinação de fibras sintéticas e naturais em uma matriz polimérica. Nesse contexto, as fibras de vidro, por serem impermeáveis, são consideradas uma boa alternativa no processo de hibridização, pois tendem a atuar como uma barreira à água e consequentemente à absorção de umidade, inerente às fibras naturais, o que melhora suas propriedades mecânicas (BARROS et al., 2006).

Segundo os pesquisadores Carvalho *et al.* (2004) que desenvolveram compósitos poliméricos com reforço híbrido de sisal/vidro, o desempenho mecânico desses compósitos aumentam, com o aumento do teor das fibras de vidro, indicando que a atuação de uma fibra sintética em sinergia com fibras naturais, em um compósito polimérico tende a melhorar consideravelmente suas propriedades.

3.3. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais

As fibras naturais, geralmente, obtidas a partir de fontes animais ou vegetais, são constituídos basicamente de hemicelulose, lignina e celulose, que é um homopolímero natural de cadeia linear, responsável pela resistência mecânicas das fibras (SAWPAN, PICKERING, FERNYHOUGH, 2012; GUTIERRES, DE PAOLI, FELISBERTI, 2012).

Segundo Yousif et al. (2012) as fibras naturais são consideradas uma boa alternativa na substituição, mesmo que parcial, de fibras sintéticas em indústrias automobilística, aeronáutica, aeroespacial, de construção mecânica e civil. Isso ocorre porque as mesmas apresentam boas propriedades de resistência à tração e módulo de elasticidade. Especificamente, para a indústria automobilística, há interesse na utilização desses materiais para aplicação em componentes de revestimentos internos de veículos, como por exemplo, laterais, teto, painel, e também para elevar o conforto e atuar como elemento de acabamento (ZAH et al., 2007).

Ao estudarem algumas propriedades mecânicas de fibras naturais como juta, sisal, coco, abacaxi, alguns autores perceberam que na maioria dos casos as fibras naturais possuem comportamento semelhante à fibra de vidro. Portanto compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais tem grande potencial para substituir as fibras de vidro, mesmo que parcialmente,

pois além de boas propriedades mecânicas as fibras naturais podem fornecer aos compósitos baixa densidade, elevada flexibilidade e baixo custo (WANBUA, IVENS, VERPOEST, 2003; SOBCZAK, LANG, HAIDER, 2012).

Um fator importante que favorece o emprego de fibras naturais como insumo renovável é a crescente perspectiva de economia de energia, por meio da redução de peso dos componentes, bem como os aspectos ligados à recuperação das matérias-primas e reaproveitamento dos materiais no final do ciclo de vida do produto. Entretanto, por serem higroscópicas, deve-se ser realizada uma criteriosa análise antes de utilizá-las como reforço em compósitos poliméricos, e dos locais de extração (clima, solo, etc) porque suas propriedades são determinadas de acordo com as condições em que foram produzidas e, portanto, podem-se obter diferentes propriedades para uma mesma fibra. Outros fatores que podem influenciar as propriedades mecânicas de um compósito reforçado com fibras naturais estão relacionados à orientação e distribuição dessas fibras (MULINARI, 2008).

3.4. Disponibilidade de matéria prima: Abacaxi

O abacaxizeiro, ilustrado na Figura 1, destaca-se como a mais importante espécie da família *Bromeliaceae*, uma planta de clima tropical, encontrada no Brasil desde antes da colonização (DANTAS, 2010). No cenário mundial de frutas, o abacaxi ocupou o sétimo lugar em produção, e desde 2005, quando foi o maior produtor mundial da fruta, o Brasil possui larga produção voltada para atender ao mercado interno (MATOS, REINHARDT, 2005; DANTAS, 2010).



Figura 1- Plantação de Abacaxi

O abacaxi é largamente utilizado pela indústria alimentícia, mas por não ser totalmente aproveitado é responsável por uma grande quantidade de resíduos. Dessa forma, a utilização de fibras de abacaxi como substitutas as fibras sintéticas, como reforço em compósitos poliméricos, é considerada bastante viável, pois são provenientes de fontes renováveis e possuem um custo potencialmente mais baixo (KENGKHETKIT, AMORNSAKCHAI, 2012).

As fibras de abacaxi, assim como as fibras naturais são constituídas basicamente de celulose, lignina, e hemicelulose (SAWPAN, PICKERING, FERNYHOUGH, 2012). Seu alto teor de celulose indica que essas fibras possuem boas propriedades mecânicas e, portanto, ao serem utilizadas como reforço em compósitos poliméricos tendem a melhorar as propriedades mecânicas do mesmo. Ao utilizá-la como reforço em matriz de polipropileno, Arib et al. (2006) obteve um aumento significativo de resistência à tração e flexão comparada à matriz pura.

3.5. Tratamento e modificação química das fibras

Um dos parâmetros mais importantes em materiais compósitos é a interface entre o reforço e a matriz, que por ser uma região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito, é responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão inadequada fibra/ matriz poderá provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho dos compósitos (SAHEB, JOG, 1999; BESSADOK et al., 2009).

As fibras naturais, por serem materiais lignocelulósicos e apresentarem características como alta hidrofiliabilidade, devido aos grupos hidroxila presentes em sua cadeia, geralmente são submetidas a tratamentos químicos superficiais, entretanto, deve-se sempre considerar qual tratamento é o mais adequado para o conjunto fibra/matriz estudado (D'ALMEIDA, 2006). De uma forma geral, esses tratamentos envolvem reações de esterificação, eterificação, copolimerização, acetilação, branqueamento, benzoilação e benzilação, que visam aumentar a interação entre fibra/matriz e melhorar as propriedades do compósito (ARAÚJO, WALDMAN, DE PAOLI, 2008).

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de avaliar os tratamentos, bem como sua influência no comportamento mecânico dos compósitos poliméricos MOHANTY *et al.* (2005) explica que tratamentos como o branqueamento, a acetilação e reações com álcalis são de

grande importância para melhorar o desempenho desses materiais. No trabalho desenvolvido por Rout et al. (2001) foram desenvolvidos compósitos reforçados com fibras de coco tratadas com hidróxido de sódio (NaOH) nas concentrações de 5 e 10%. A análise desses compósitos mostrou que após o tratamento houve uma melhora significativa nas propriedades mecânicas e na absorção de água.

No presente trabalho, foi proposto o tratamento de mercerização, realizado com hidróxido de sódio. Sua definição padrão, de acordo com a norma ASTM D 1965, diz que, ao submeter uma fibra vegetal a esse tratamento provoca-se o seu inchaço, além de alterações em sua morfologia e propriedades mecânicas. O tratamento também possui menor custo ao ser comparado a outros tratamentos químicos e promove a eliminação parcial de ceras, hemicelulose e lignina (HASHIM et al., 2012). Essas mudanças influem diretamente nas propriedades do material compósito, pois minimiza o carácter hidrofílico, melhora a aderência entre fibra/matriz por meio da criação de pontos de ancoragem e reduz o diâmetro das fibras, provocando um aumento da relação de aspecto (comprimento/ diâmetro) e consequentemente, aumentando a área da fibra responsável por uma boa adesão (KABIR et al., 2012).

3.6. Utilização do polipropileno (PP) como matriz polimérica

Uma das funções da matriz polimérica é transferir as cargas externas para os reforços, dar forma ao material e aglutinar as fibras, portanto sua escolha adequada é de fundamental importância para que o compósito polimérico possua as características e custos previstos durante o projeto (PICKERING, FARREL, LAY, 2007).

Os materiais poliméricos, de uma forma geral, são classificados em termoplásticos e termorrígidos. Os primeiros possuem a capacidade de serem moldados diversas vezes, pois ao serem aquecidos tornam-se fluidos novamente. Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (JOSEP et al., 2003).

As características mais atrativas oferecidas pelos compósitos termoplásticos são o potencial de produção a baixo custo, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de

microtrincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria-prima (SANTOS, 2006).

O polipropileno é um polímero termoplástico que pode ser utilizado tanto para uso geral, como na engenharia. É originado por um monômero chamado propileno (C_3H_6) e possui massa específica aproximada de $0.90 - 0.91 \text{ g/cm}^3$ (CALLISTER, 2008).

Segundo Tancrez et al. (1994) o grande interesse em utilizar esse material se deve as qualidades como fácil produção e boas características mecânicas quando comparadas a outros termoplásticos. Isso ocorre principalmente por sua natureza semicristalina e sua inércia química, que possibilita sua aplicação em ambientes corrosivos.

3.7. Processamento dos compósitos

As técnicas empregadas no processamento de compósitos reforçados com fibras naturais são bastante similares às empregadas no desenvolvimento de compósitos com fibras sintéticas. Essas técnicas levam em consideração fatores como comprimento, teor de fibras, orientação, secção transversal e tipo de reforço utilizado (ESMERALDO, 2006).

Entretanto, no caso das fibras naturais, existem problemas característicos de sua composição como: hidrofiliabilidade, incompatibilidade com termoplásticos hidrofóbicos e baixa temperatura de processamento. Essas características devem ter seus efeitos minimizados durante o processamento, a fim de melhorar as propriedades mecânicas do compósito (MULINARI, 2008). Portanto, seu processamento geralmente envolve duas etapas, a primeira relacionada à mistura e homogeneização das fibras na matriz polimérica e a segunda relacionada a moldagem do material (HILLIG et al., 2011).

Atualmente, existem vários processos que podem ser utilizados para o processamento de compósitos poliméricos termoplásticos, dentre eles destacam-se o processamento por extrusão, que promove a homogeneização fibra/matriz através de zonas de aquecimento, misturador termocinético, que utiliza alta rotação para fundir e dispersar as fibras na matriz e moldagem por compressão. (MULINARI, 2008; DOS SANTOS, 2006). Entretanto, deve-se ter bastante cuidado na escolha adequada do processamento, pois as propriedades físico-mecânicas

apresentadas pelos materiais compósitos irão depender diretamente desse processo (HILLIG et al., 2011).

Em um contexto geral, o processo de extrusão ainda é o mais utilizado para materiais termoplásticos por possuir características como flexibilidade para confecção da geometria das roscas, controle preciso de temperatura e de velocidade e de dosagem, realizado por alimentadores.

Segundo Costa (1994), que desenvolveu compósitos de polipropileno reforçados com fibras de madeira, a melhora na compatibilidade e na dispersão entre fibras e matriz ocorreu por meio do revestimento das fibras com anidrido maleico em orto-diclorobenzeno, e que as condições ideais de extrusão são: temperatura de 180°C, tempo de mistura de 10 minutos e velocidade do rotor de 60 rpm.

Nesse contexto, o misturador termocinético de alta intensidade também é considerado uma técnica muito efetiva para processar compósitos reforçados com fibras naturais. Isso ocorre, pois além de promover uma boa dispersão das fibras, o mesmo não as submete a temperaturas elevadas. Isso ocorre, pois não existe uma fonte de aquecimento, sendo o material simplesmente aquecido e fundido através do atrito provocado pela rotação das palhetas, evitando a degradação das fibras naturais (MULINARI, 2008).

3.8. Comportamento mecânico dos compósitos

Nos dias atuais, sabe-se que os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais podem apresentar as propriedades necessárias para aplicação estrutural, esse fato depende, sobretudo, da sinergia existente entre a matriz e o reforço utilizado (SANTOS, 2006).

Na avaliação das propriedades mecânicas, as propriedades de maior interesse são: resistência à tração, flexão e ao impacto. Entretanto, o ensaio de resistência à tração é geralmente o mais utilizado por ser relativamente simples e fornecer informações importantes, para avaliar sob quais condições um determinado material pode ser submetido (GARCIA, SPIM, SANTOS, 2000).

Nesse ensaio, o corpo de prova é submetido a uma carga de tração crescente que provoca sua deformação e na maioria das vezes sua ruptura. O equipamento fornece um gráfico que

mostra as relações entre a tensão aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, conhecido como gráfico tensão-deformação (Figura 2).

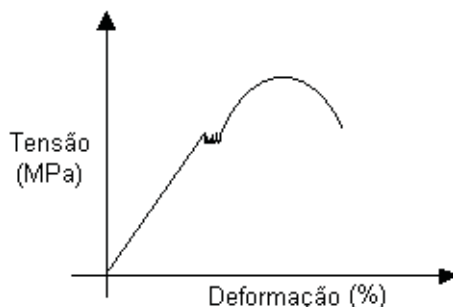


Figura 2- Gráfico tensão-deformação padrão

Os materiais poliméricos quando submetidos ao ensaio de tração podem apresentar diferentes comportamentos, sendo eles: frágil, plástico e altamente plástico. O primeiro se fratura quando deformado elasticamente, o segundo apresenta uma tensão de escoamento quando a deformação passa de elástica para plástica e o terceiro apresenta o comportamento semelhante a elastômeros (BENINI, 2011).

3.9. Caracterização térmica dos compósitos

Um material pode ser caracterizado termicamente por diferentes técnicas que avaliam suas propriedades, a partir do controle de temperatura e atmosfera. Dentre as técnicas utilizadas destacam-se a Termogravimetria (TGA), a Análise Térmica Diferencial (DTA), a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e a Análise Dinâmico-Mecânica (DMA).

De uma forma geral, o equipamento de análise é constituído basicamente por um forno, um transdutor, uma unidade controladora, responsável por receber e transferir as informações da célula de medida a um computador que controla a operação e é responsável por gerar a curva termo analítica (CANEVAROLO, 2003).

Nesse contexto, a caracterização térmica dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais é um parâmetro muito importante a ser determinado, pois a quantidade de reforço na matriz poderá influenciar diretamente sobre as propriedades finais do compósito.

Dentre as técnicas utilizadas para caracterização térmica, a termogravimetria (TGA), que é a técnica que mede a variação da massa do material em função da temperatura ou do tempo, permite conhecer a temperatura de degradação dos compósitos bem como dos materiais modificados quimicamente (MOTHÉ, 2002). Três formas podem ser realizadas para se obter a curva termogravimétrica: a isotérmica, onde a temperatura é mantida constante, a quasi-isotérmica, onde a temperatura é aumentada linearmente até que ocorra uma variação na massa e a dinâmica, onde a temperatura é variada.

Portanto, ao analisar as curvas de termogravimetria (TGA) e sua derivada (DTG) pode-se ter conhecimento sobre a perda de massa do material em cada estágio e da extensão de degradação do material (CANEVAROLO, 2003).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma representado na Figura 3 exemplifica todas as etapas realizadas no desenvolvimento deste trabalho.

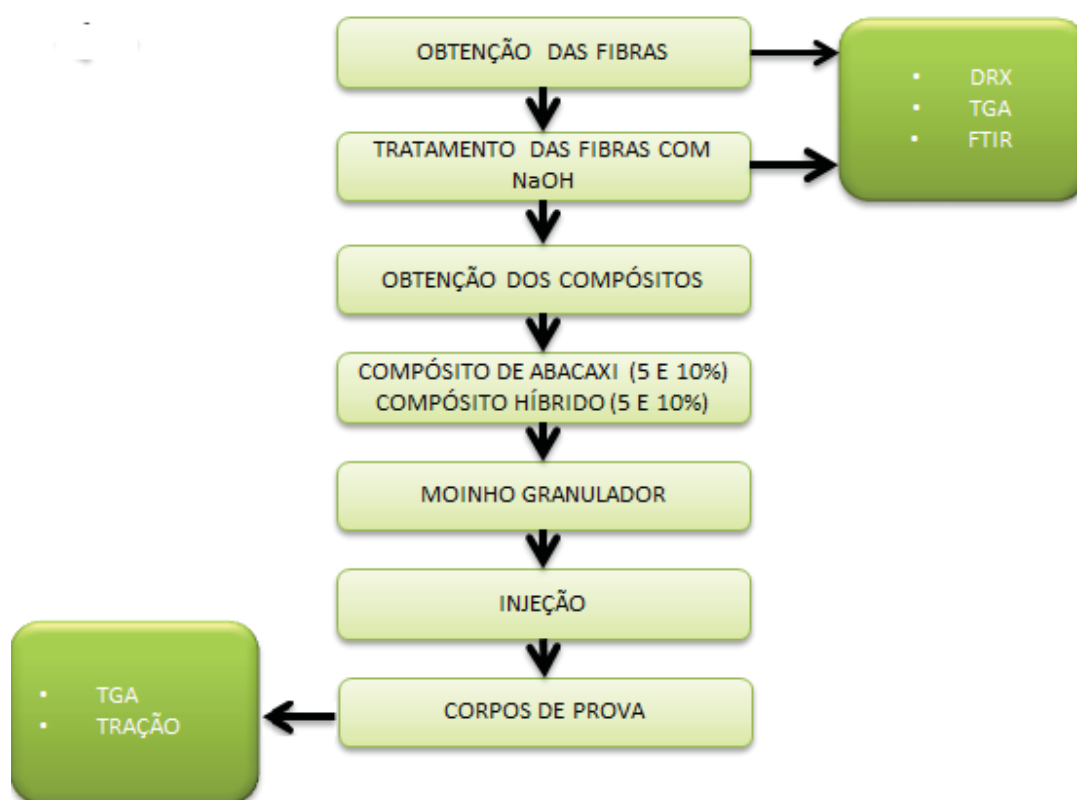


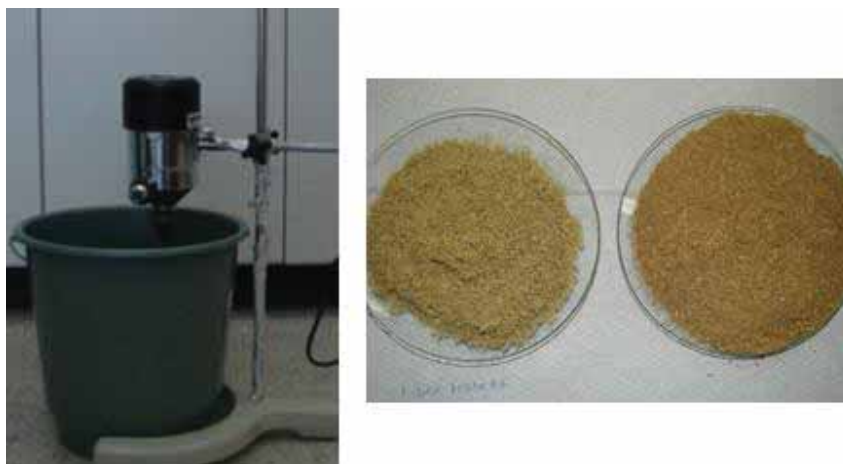
Figura 3 – Fluxograma das principais etapas realizadas na confecção dos compósitos

4.1. Obtenção e tratamento das fibras de abacaxi

As fibras naturais provenientes da coroa do abacaxi foram preparadas no laboratório de preparação de amostras do Grupo de Fadiga e Materiais Aeronáuticos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG/UNESP). As fibras, primeiramente, foram secas em estufa a 80°C durante 48 horas, em seguida foram submetidas a processos físicos de moagem e peneiramento com o auxílio de uma peneira de 35 mesh. Posteriormente, as fibras com granulometria menor que 35 mesh foram submetidas a um tratamento de mercerização com uma solução alcalina de NaOH 5% m/v à temperatura ambiente por 1 hora (Figura 4a). As fibras,

então, foram lavadas em temperatura ambiente com água deionizada em filtro de vácuo até que o pH do filtrado se tornasse neutro.

Por fim, às fibras tratadas (Figura 4b) foram secas em estufa a 80°C durante 72 horas.



(a)

(b)

Figura 4 – a) Esquema utilizado para o tratamento de mercerização, (b) imagem das fibras *in natura* e tratadas, respectivamente

4.2. Difractometria de Raios X das fibras (DRX)

Os difratogramas de Raios X das fibras de abacaxi foram obtidos através de um difratômetro de Raios X da Shimadzu modelo XDR-6000, disponível no Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de Lorena/USP. Os resultados obtidos permitiram calcular o índice de cristalinidade por meio do método empírico de Segal et al. (1959), representado na equação (1).

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

na qual:

I_c → índice de cristalinidade em porcentagem;

I_{002} → pico de intensidade de difração que representa o material cristalino perto de $2\theta = 22^\circ$;

I_{am} → vale de intensidade de difração que representa o material amorfo perto de $2\theta = 17^\circ$.

4.3. Análise térmica das fibras e dos compósitos

As fibras de abacaxi *in natura* e tratadas, assim como os compósitos obtidos, foram analisados por meio da técnica de Termogravimetria (TGA/DTG) com uma razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ em fluxo de nitrogênio no intervalo de temperatura de 25°C a 600°C , visando determinar a temperatura de degradação e a perda de massa em cada evento térmico. Foi utilizada uma termobalança Seiko (modelo TGA-50), disponível no DMT/FEG/UNESP. A T_i de degradação foi obtida segundo a norma ASTM E2550.

4.4. Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Com o intuito de avaliar o efeito do tratamento químico nas fibras de abacaxi, utilizou-se a técnica de FTIR para as amostras de fibra *in natura* e tratadas. Para tanto, foi utilizado um espectrofotômetro, disponível no Departamento de Física da FEG/UNESP, da marca Perkin Elmer e modelo Spectrum 100, utilizando o método de transmitância, sendo os valores medidos no intervalo de 600 a 4000 cm^{-1} , com 8 varreduras.

4.5. Processamento dos compósitos

O processamento dos compósitos com as proporções indicadas na Tabela 1 foi realizado a partir de um homogeneizador de plásticos de laboratório, fabricado pela MH Equipamentos (modelo MH-50H), disponível na Divisão de Materiais (AMR) do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (DCTA) em São José dos Campos/ SP.

Tabela 1 - Composição dos compósitos processados

<i>Compósito</i>	<i>Matriz</i>	<i>Reforço</i>
FN5%	PP	5 % Fibras de Abacaxi
FN10%	PP	10 % Fibras de Abacaxi
HB5%	PP	2,5% Fibras de Abacaxi/ 2,5% Fibras de vidro
HB10%	PP	5% Fibras de Abacaxi/5% Fibras de Vidro
FN-Fibras naturais		HB- Híbridos

Primeiramente, as fibras naturais tratadas e/ ou as fibras de vidro contínuas tipo E, previamente cortadas manualmente com dimensões de 1,5 cm foram homogeneizadas com Polipropileno CP 442 XP, fabricado pela Braskem, em bateladas de 50 gramas dentro da cápsula bipartida do misturador termocinético (Figura 5). Após o material ser colocado em proporções pré-definidas na cápsula, as palhetas de homogeneização foram acionadas e giraram a uma velocidade capaz de gerar atrito entre os materiais e fundir o polímero, misturando assim os materiais.



Figura 5– Detalhe da capsula bi partida do misturador termocinético

Após a mistura, o compósito formado foi passado por entre rolos de inoxn (calandra), a fim de facilitar sua granulação (Figura 6). Os compósitos foram então moídos em moinho granulador modelo RONE (Figura 7) e secos em estufa a 50°C por 1 h.



Figura 6 - Calandra



Figura 7- Moinho granulador

Os compósitos moídos previamente secos foram injetados em molde contendo cavidades com dimensões específicas para ensaios mecânicos, utilizando uma Injetora Jasot 300/130 (Figura 8), disponível na Divisão de Materiais (AMR) do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA).



Figura 8 - Máquina Injetora de Plásticos

4.6. Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado segundo a norma ASTM D638, a uma velocidade 8 mm.min^{-1} com célula de carga de 50KN. Para isso utilizou-se um equipamento SHIMADZU do Laboratório de Propriedades Mecânicas do DMT/FEG/UNESP.

A fim de avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos, foram realizados cinco ensaios para cada amostra, onde os corpos de prova tinham dimensões especificadas pela norma ASTM D – 638 (Figura 9).

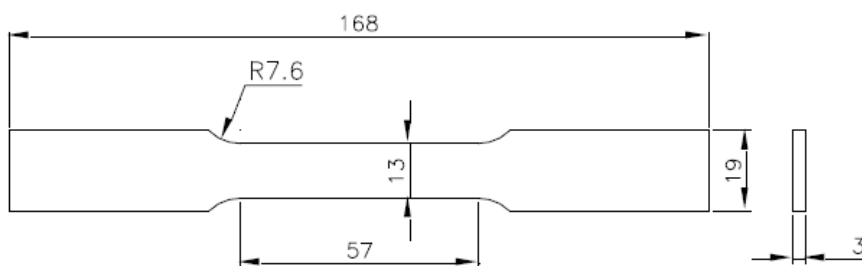


Figura 9- Corpo de prova ensaio de tração

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das fibras

5.1.1. Termogravimetria

A termogravimetria das fibras de abacaxi *in natura* e tratadas com NaOH foi realizada para avaliar a influência do tratamento químico com hidróxido de sódio nas propriedades térmicas das fibras. As curvas termogravimétricas (TGA e DTG) das fibras podem ser observadas nas Figuras 10 e 11.

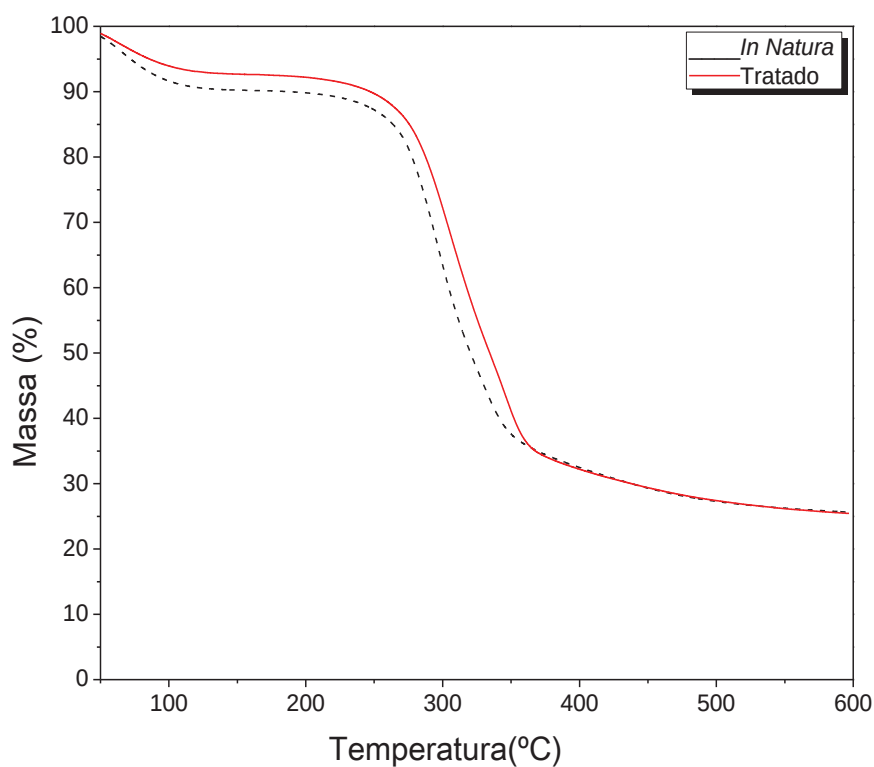


Figura 10 – Curvas termogravimétricas das fibras de abacaxi: *in natura* e tratadas

Analisando as curvas termogravimétricas foi possível verificar que as fibras naturais ficaram estáveis até 175°C, quando inicia-se sua decomposição.

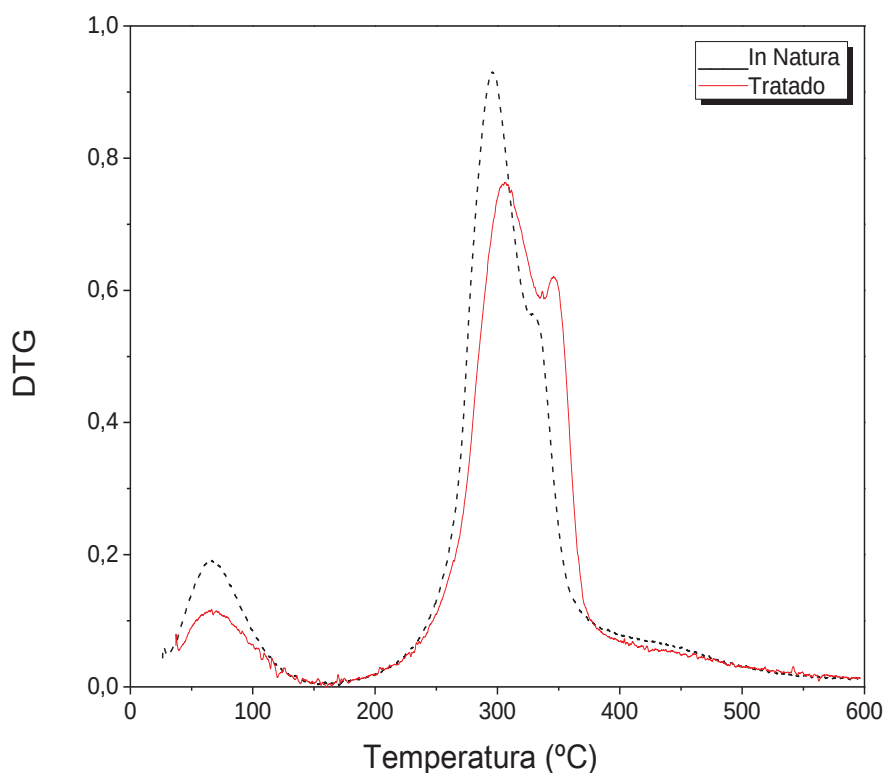


Figura 11 – Curvas DTG das fibras de abacaxi: *in natura* e tratadas

As curvas DTG das fibras *in natura* e tratadas (Figura 11) apresentaram perfis semelhantes entre si e indicaram mais claramente a presença dos três estágios distintos de perda de massa. O primeiro, relacionado à perda de água, ocorreu até 100°C. O segundo ocorreu entre 230 e 300°C pela degradação térmica do material e o terceiro que ocorreu entre 300 e 600°C está relacionado à decomposição completa do material. A Tabela 2 mostra a perda de massa em diferentes temperaturas e os picos de degradação das fibras *in natura* e tratadas.

Analisando a Tabela 2 pode ser observado que não houve alteração na temperatura inicial de degradação das fibras após o tratamento. Entretanto ao analisar a perda de massa percebeu-se que as fibras tratadas apresentaram menor perda de massa comparada às fibras *in natura*. Dessa forma, pode-se afirmar que o tratamento realizado nas fibras não afetou a estabilidade térmica das mesmas.

Tabela 2- Perda de massa e picos de degradação para as fibras de abacaxi in natura e tratadas

<i>Amostras</i>	<i>Perda de Massa (%)</i>						<i>Degradação (°C)</i>
	<i>100 °C</i>	<i>200 °C</i>	<i>300 °C</i>	<i>400 °C</i>	<i>500 °C</i>	<i>580 °C</i>	
AN	8,38	10,2	36,59	67,53	72,70	74,16	175
AT	6,06	7,79	27,81	67,79	72,59	74,32	175

*Degradação (°C) representa o início da degradação das fibras.

Esse comportamento não era esperado, pois segundo Esmeraldo (2006), que realizou o tratamento alcalino em concentrações de 5 e 10% de NaOH em fibras naturais de juta o tratamento superficial com 5% de NaOH promoveu uma melhora na estabilidade térmica das fibras e o tratamento com 10% de NaOH provocou uma maior perda de massa.

5.1.2. Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros obtidos na região do infravermelho para as fibras de abacaxi *in natura* e tratadas possibilitaram observar o efeito do tratamento nas fibras através dos grupos funcionais presentes nas mesmas.

As principais bandas observadas nos espectros de FTIR das fibras naturais, de acordo com a literatura, estão sumarizadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais bandas de absorção observadas nas fibras de abacaxi (MULINARI, 2008)

<i>Número de onda (cm⁻¹)</i>	<i>Vibrações</i>	<i>Fonte</i>
3309	O-H deformação axial	Polissacarídeos
2927	C-H estiramento simétrico	Polissacarídeos
1644	C=O estiramento	Xilanas
1017	C-O-C estiramento assimétrico	Celulose

Esmeraldo (2006), estudou as bandas apresentadas pelas fibras de coco e juta com e sem tratamento com NaOH, e encontrou bandas correspondentes. Os resultados de FTIR encontrados

para as fibras de abacaxi tratadas forneceram evidências de que a reação entre os grupos hidroxila das fibras e o hidróxido de sódio ocorreu devido à diminuição da intensidade dos picos. A análise comparativa dos espectros de FTIR entre as fibras de abacaxi *in natura* e tratadas revelou características relevantes quanto ao tratamento.

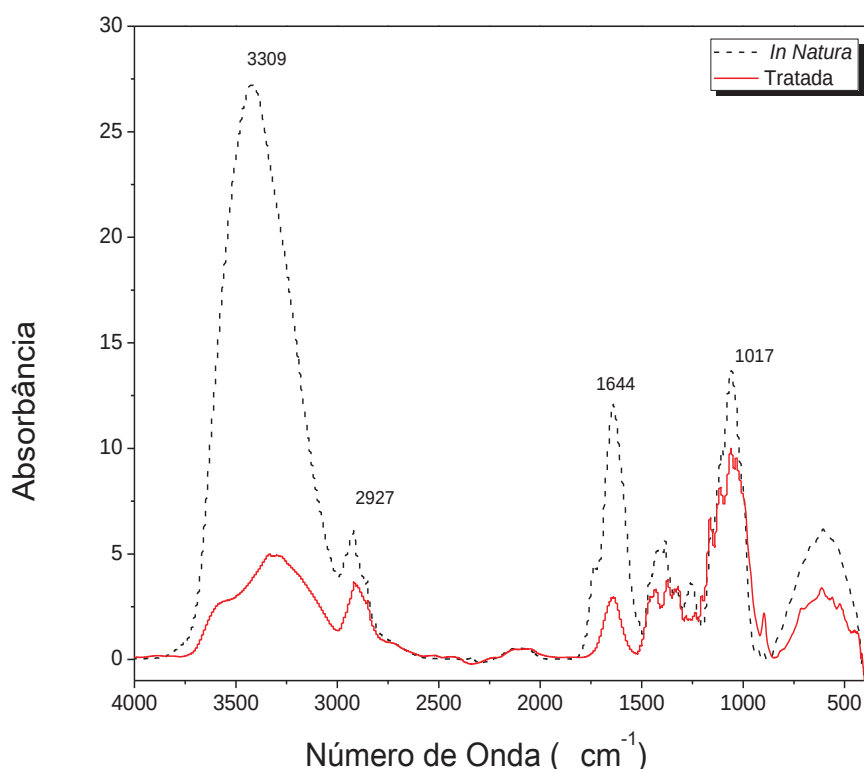


Figura 12 – Espectros na região do infravermelho (500 – 4000 cm^{-1}) das fibras de abacaxi *in natura* e tratadas

Na região de frequência 1644 cm^{-1} , característico da frequência de estiramento dos grupos C=O, ocorreu uma diminuição no pico caracterizada pela eliminação da lignina após o tratamento. Na região de 2927 cm^{-1} a diminuição está relacionada à presença de grupos C-H.

Entretanto, a alteração mais significativa para essa análise está relacionada à frequência 3309 cm^{-1} , representante do estiramento da hidroxila (O-H) (SAHA et al., 2010). A diminuição representativa nessa frequência mostra que o tratamento promoveu uma diminuição na hidrofiliabilidade apresentada pelas fibras naturais, o que melhora significativamente suas

propriedades mecânicas por promover uma melhor interface entre fibra/matriz, que é a região responsável pela transferência de esforços mecânicos (BENINI, 2011).

5.1.3. Difratometria de Raios X (DRX)

Ao analisar os difratogramas correspondentes da fibra de abacaxi (Figura 13), observou-se para as fibras *in natura* valores de picos de difração (2θ) em $19,2^\circ$ e $22,1^\circ$. Valores semelhantes foram encontrados para os picos de difração das fibras modificadas ($18,9^\circ$ e $22,2^\circ$). Há também uma variação na intensidade dos picos com a modificação das fibras. As fibras de abacaxi *in natura* possuem menor intensidade dos picos quando comparadas as fibras tratadas. Pode-se observar que após o tratamento houve um aumento de intensidade dos picos 101 e 102, relacionado ao aumento do empacotamento das microfibrilas e da cristalinidade do material (BENINI, 2011).

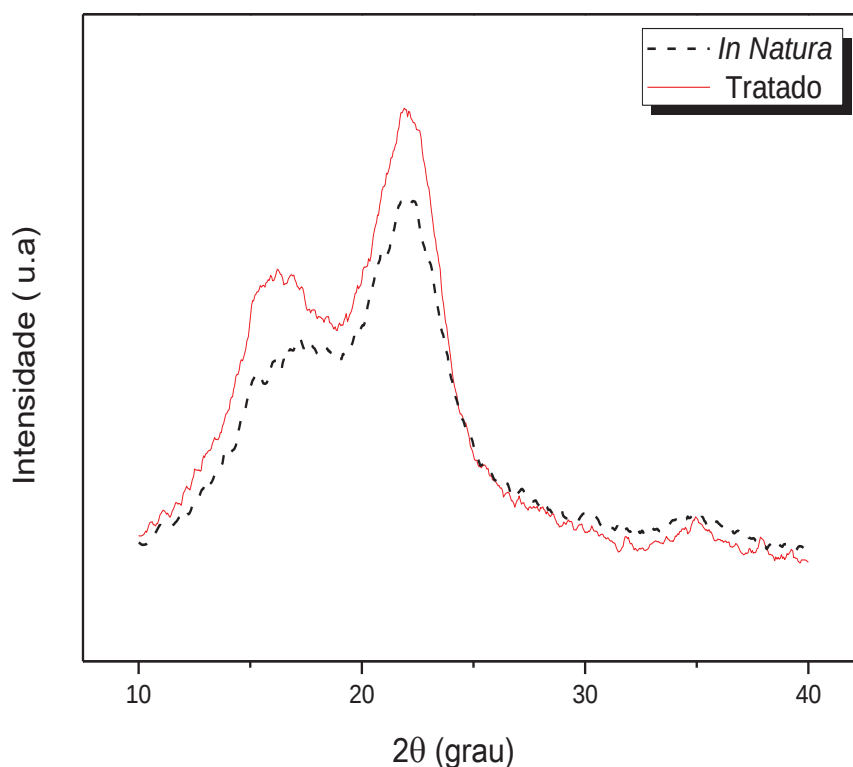


Figura 13- Difratomogramas de Raios X das fibras de abacaxi in natura e tratadas

Os dados da Tabela 4 mostram que após o tratamento das fibras *in natura* houve um aumento de aproximadamente 10,4% no índice de cristalinidade. Isso ocorreu devido a remoção de material amorfo e ao aumento no grau de empacotamento das cadeias de celulose pelo inchaço das fibras, proporcionado pelo tratamento alcalino.

Tabela 4- Índice de cristalinidade das fibras de abacaxi

Material	$I_{(002)}$	$I_{(am)}$	I_c (%)
Fibras de Abacaxi <i>in natura</i>	913,9	659,4	27,8
Fibras de Abacaxi Tratadas	1133,6	781,7	31,0

Em concordância com os dados obtidos e com a literatura, pode-se dizer que o tratamento químico com NaOH realizado nas fibras promoveram modificações através da remoção parcial de alguns de seus constituintes como a lignina que é bastante solúvel em meio alcalino. A lignina e a celulose são, portanto os principais constituintes na verificação da cristalinidade, uma vez que essa característica é obtida pela razão entre as áreas amorfas e cristalinas do material (ESMERALDO, 2006; KABIR et al., 2012). O aumento no índice de cristalinidade encontrado após o tratamento com NaOH também pode ser explicado pela remoção de lignina das fibras de abacaxi e consequente exposição de sua estrutura celulósica cristalina (BENINI, 2011).

5.2. Compósito Processado

5.2.1. Processo de Obtenção dos Compósitos

O processamento dos compósitos ocorreu em duas etapas. A primeira, relacionada à mistura entre fibra/ matriz ocorreu em um misturador termocinético e sua fusão deu-se pela alta rotação das palhetas do equipamento. Observou-se durante o processamento que o tempo necessário para que ocorresse a mistura foi bastante diferente de um material para outro, e está relacionado ao teor de reforço utilizado no processamento.

A Figura 14 indica através da observação macroscópica que o processamento em homogeneizador termocinético fornece boa homogeneidade aos compósitos.

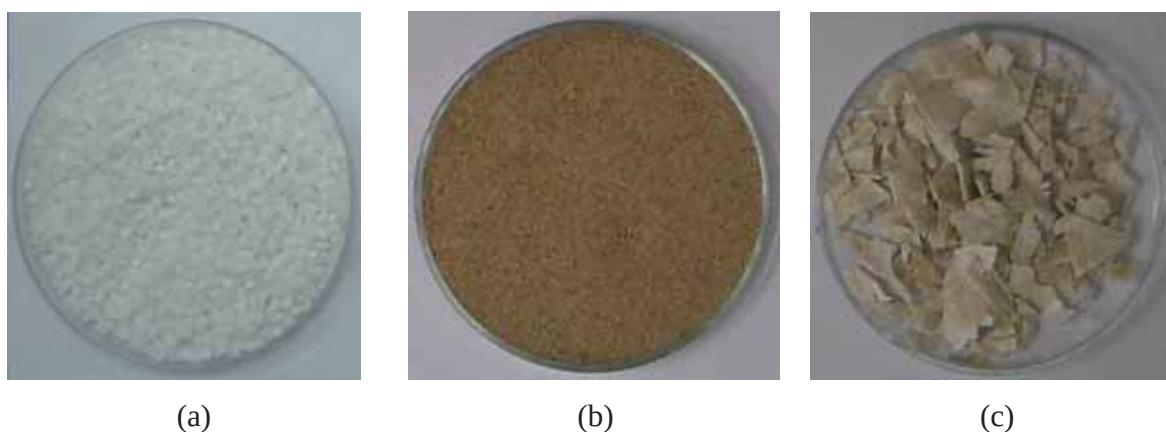


Figura 14- (a) Polipropileno; (b) fibras de coroa do abacaxi e (c) compósito granulado

A segunda etapa do processamento está relacionada a injeção dos compósitos previamente triturados em moinho granulador em moldes específicos para ensaio de tração segundo a norma ASTM D 638 (Figura 15).



Figura 15- Corpos de prova de tração reforçados com fibras de abacaxi 5% (a) e 10% (b) e híbridos (fibras de abacaxi/ fibras de vidro) 5% (c) e 10% (d), em massa, sem escala

Ao analisar os compósitos pode-se observar que a variação do tipo e do teor de fibras provocou uma mudança significativa em sua coloração. Para todos os compósitos, o aumento do teor de fibras promoveu um escurecimento. Entretanto, pode-se observar que a adição de fibras de vidro provocou uma alteração na coloração para um tom acinzentado (d).

Embora a proporção e os tipos de reforço tenham sido variados, todos os corpos de prova apresentaram boa homogeneização das fibras na matriz polimérica, que pode ser observado macroscopicamente na Figura 16.

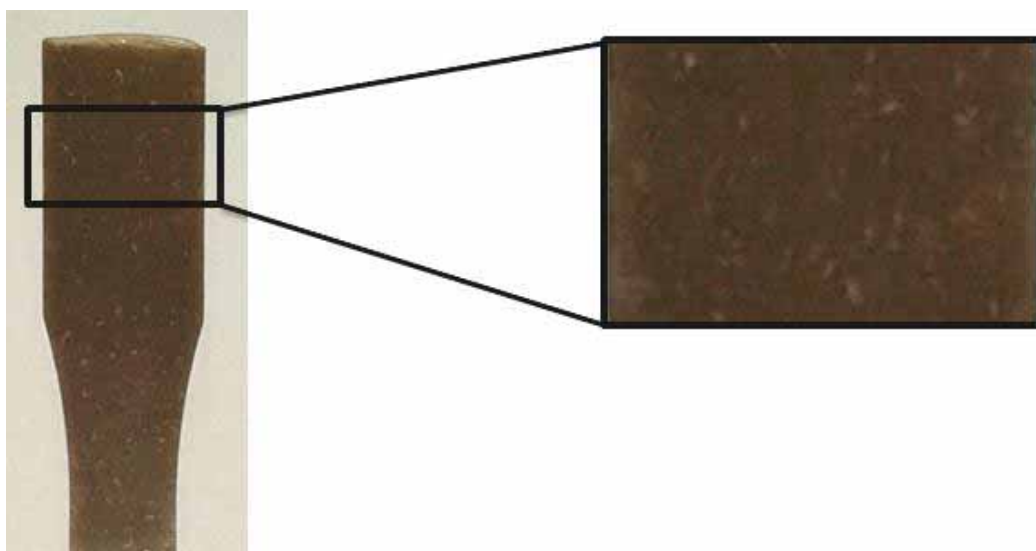


Figura 16 - Corpo de prova compósito PP/ 10% fibras de abacaxi (b), com destaque para a distribuição das fibras

5.2.2. Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados a partir de amostras formadas com quatro composições de compósitos poliméricos em proporções de 5 e 10% de reforço de fibras naturais e híbridos de fibras de vidro/ fibras naturais, conforme indicado na Tabela 1.

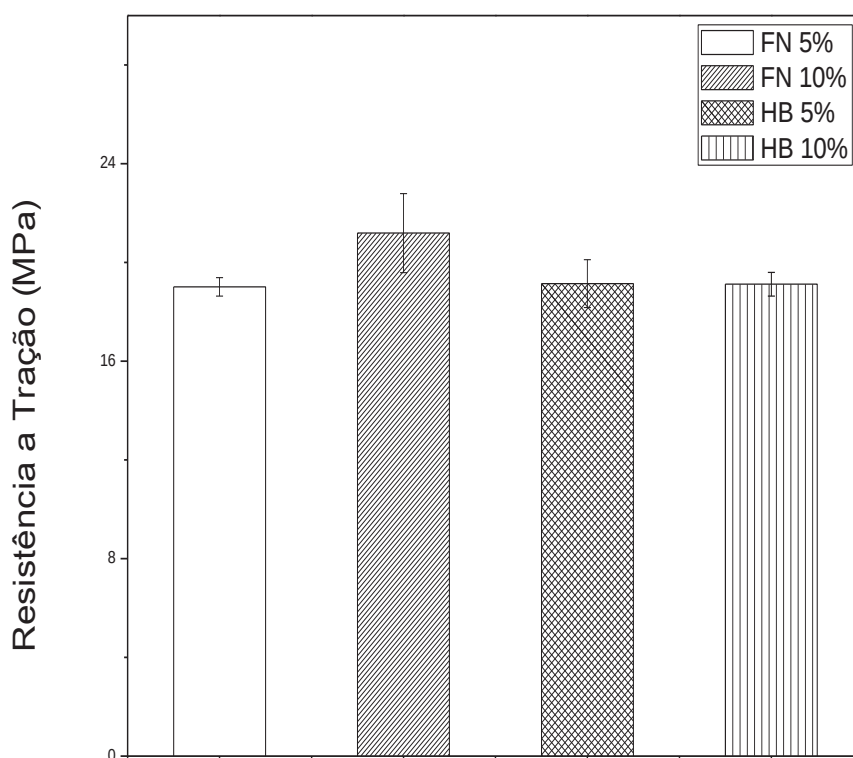


Figura 17- Gráfico comparativo dos valores de resistência à tração para os compósitos híbridos e com fibras de abacaxi tratadas

Ao compararmos os valores de resistência à tração do PP puro, obtidos por Gasparin (2004), que é de $21,39 \pm 0,2$ MPa aos compósitos poliméricos obtidos neste trabalho, pode-se observar que embora não tenham ocorrido grandes variações, os compósitos reforçados com 5% de fibras naturais e os híbridos 5% e 10% apresentaram resistência à tração ligeiramente menores, e o compósito reforçado com 10% de fibras de abacaxi apresentou um valor semelhante ao PP puro (Figura 17). De forma geral, não houve grandes variações na resistência à tração dos compósitos.

Esse resultado não era esperado, pois segundo trabalhos realizados por Fontan Júnior (2009), a adição de reforço híbrido de fibras naturais/ fibras de vidro tendem a melhorar a resistência à tração do compósito. Entretanto, essa diferença pode ter ocorrido pelo tipo de reforço utilizado, visto que em seu trabalho o autor fez uso de mantas de vidro e tramas de fibra vegetal para formação de laminas, que segundo Fernandes (2004) permitiu confeccionar materiais com propriedades mais isotrópicas e, portanto com melhores propriedades mecânicas.

Outro fator que pode explicar à diminuição na resistência a tração está relacionado ao baixo teor de fibras e ao processamento empregado na confecção dos compósitos. O processamento do material pode alterar o comprimento das fibras nos compósitos, que segundo Fu (2000), tende a prejudicar principalmente as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com teor de reforço menores que 30%.

Tabela 5- Propriedades mecânicas dos compósitos

Amostras	Alongamento (%)	Resistência a Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
FA 5%	5,03±0,85	19,02±4,11	443,37±26,71
FA10%	3,78±0,65	21,20±4,96	517,81±31,60
HB 5%	4,06±0,74	19,14±3,96	483,01±78,85
HB 10%	3,69±0,31	19,11±3,67	509,96±47,24

FA 5% - Compósitos PP/Fibras de Abacaxi 5%;

FA10% - Compósitos PP/ Fibras de Abacaxi 10%;

HB 5% - Compósitos PP/ Fibras de Abacaxi 2,5%/ Fibras de Vidro 2,5%;

HB 10% - Compósitos PP/ Fibras de Abacaxi 5%/ Fibras de Vidro 5%.

Ao analisarmos os valores de módulo elástico, foi possível notar que com o aumento do teor de fibras tanto nos compósitos naturais, como nos híbridos ocorreu um aumento no módulo de elasticidade de aproximadamente 9%, 27%, 18% e 25%, respectivamente para os compósitos FA5%, FA 10%, HB 5% e HB 10% (Tabela 5), em comparação ao valor do polímero puro obtido na literatura que é de $407,10 \pm 8,67$ MPa.

Observou-se também uma diminuição na deformação total dos compósitos, que está relacionado à diminuição na ductilidade do material. Portanto, embora a adição de reforço nos compósitos não tenha melhorado consideravelmente a resistência à tração, obteve-se um aumento no módulo de elasticidade para todos os compósitos. O compósito reforçado com 10% de fibras naturais apresentou o maior aumento no valor do módulo (27%). Dessa forma, sua utilização em maior escala torna-se viável visto que reduzirá a quantidade de material proveniente de fontes não renováveis utilizados.

5.2.2. Análise termogravimétrica dos compósitos

A termogravimetria possibilitou analisar o efeito da adição das fibras na estabilidade térmica dos compósitos. As curvas termogravimétricas do polipropileno e dos compósitos reforçados com fibras naturais e dos híbridos podem ser observadas nas Figuras 18, 19 e 20.

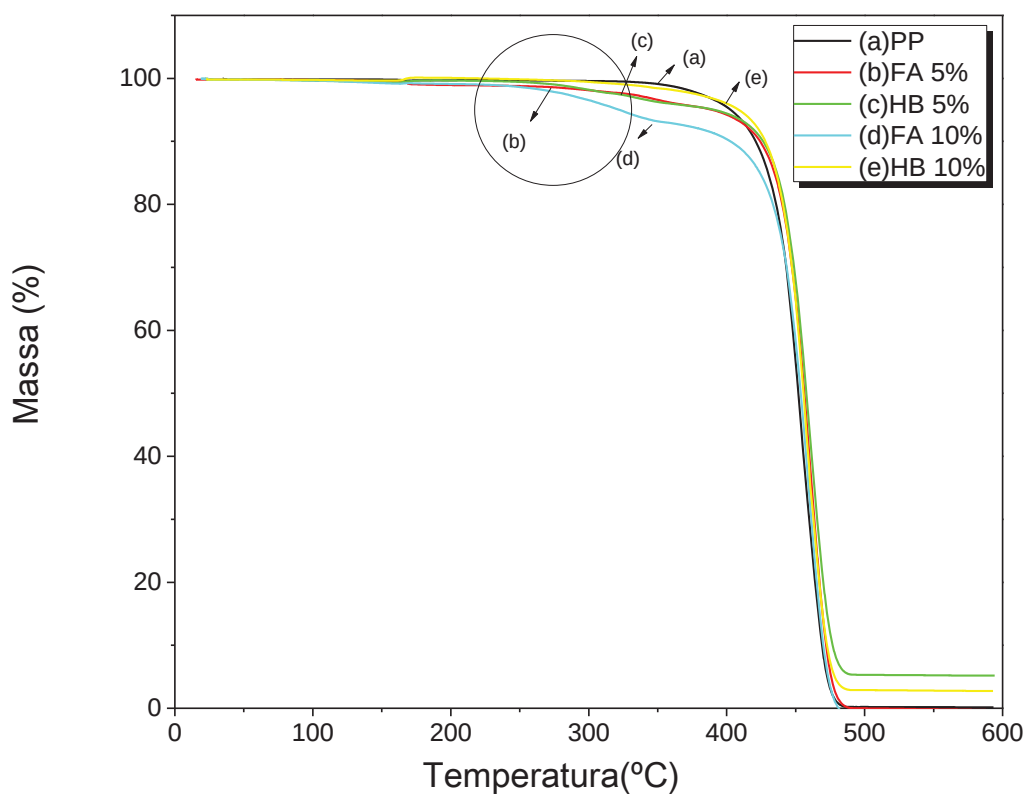


Figura 18- Curvas TGA dos compósitos de PP com fibras de abacaxi e dos híbridos (PP/ fibras de abacaxi/ fibras de vidro)

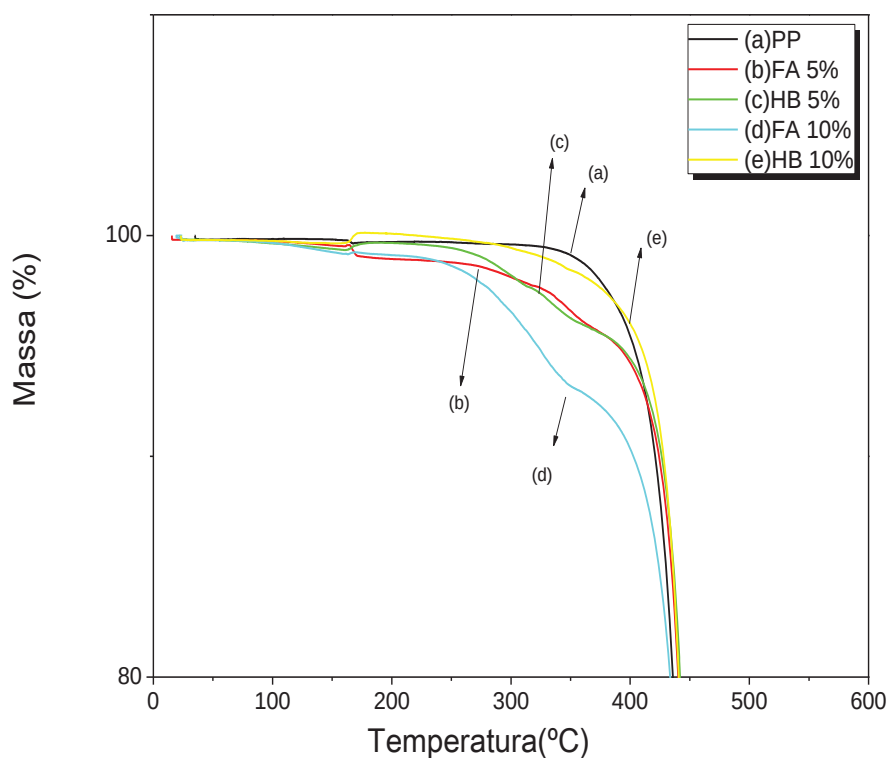


Figura 19- Detalhe da primeira etapa da decomposição térmica dos compósitos

A análise das curvas de TGA mostrou que o polipropileno puro foi termicamente estável até a temperatura de aproximadamente 327°C, a partir dessa temperatura iniciou-se o processo de decomposição térmica, que ocorreu em apenas uma etapa.

Ao comparar os compósitos reforçados com fibras naturais ao PP puro, observou-se que com o aumento do teor de fibras de abacaxi tratadas houve uma diminuição na estabilidade térmica do material e que o processo de decomposição térmica passou a ocorrer em duas etapas, a primeira relacionada ao início da degradação térmica das fibras que ocorreu em aproximadamente 281°C (Figura 19) para os compósitos reforçados com 5% de fibras modificadas e a 240°C para os compósitos reforçados com 10% de fibras modificadas.

A segunda etapa, relacionada à decomposição térmica do polipropileno, o início da degradação térmica ocorreu a 380°C para os compósitos reforçados com 5% de fibras tratadas e a 350°C para os compósitos reforçados com 10% de fibras tratadas.

Para os compósitos poliméricos com reforço híbrido (fibras de abacaxi/ fibras de vidro), a TGA mostrou que a decomposição térmica iniciou-se a aproximadamente 272°C, para os compósitos com 5% de reforço híbrido. Para os compósitos com 10% de reforço híbrido a decomposição das fibras iniciou-se aproximadamente a 300°C.

As temperaturas iniciais de degradação foram determinadas pelas curvas de DTG, considerando a primeira inflexão da linha de base, conforme recomenda a norma ASTM E2550.

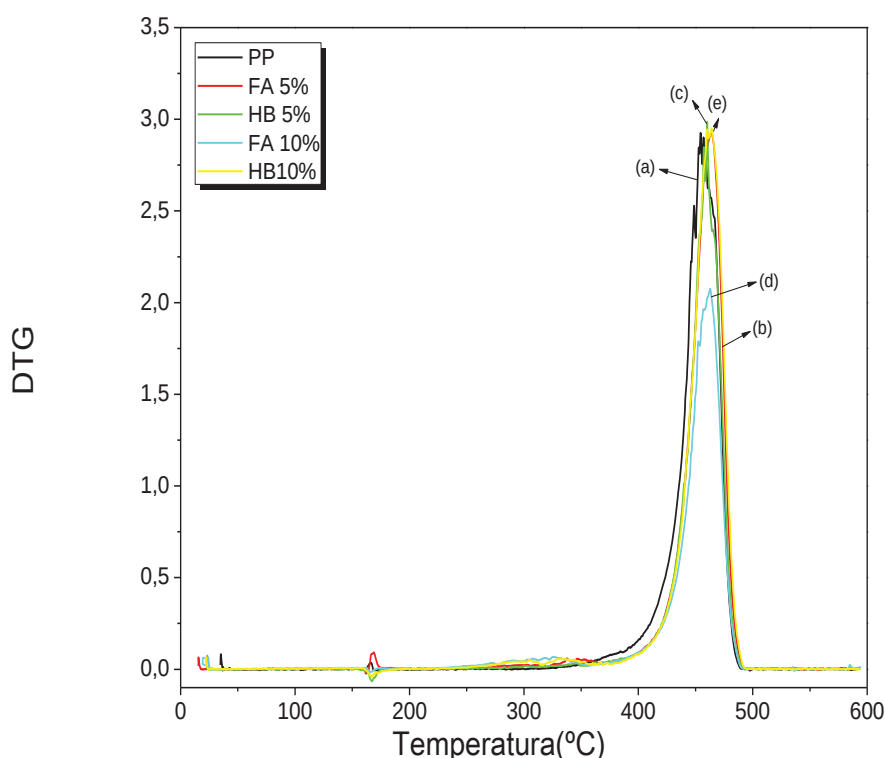


Figura 20- Curvas DTG dos compósitos: 5% de reforço (5%); 10% de reforço (10%) e polipropileno puro (PP)

Ao comparar os compósitos FN 5% e HB5% com FN 10% e HB 10% foi possível observar que as temperaturas de degradação dos compósitos híbridos foram maiores que as dos compósitos com fibras naturais (Tabela 6). Segundo Fontan Junior (2009), que desenvolveu compósitos híbridos com fibras de pupunheira/ fibras de vidro, quanto menor a quantidade de fibras de vidro, mais a temperatura de degradação se torna próxima à do polímero puro. O autor concluiu também que para se obter as melhores propriedades é mais viável hibridizar compósitos com até 19% de fibras naturais, desde que a temperatura de trabalho seja inferior a 300 °C.

Registrou-se também que à medida que a quantidade de fibras naturais é aumentada, maior é a perda de massa do compósito. Esse fato foi observado tanto para os compósitos reforçados somente com fibras naturais como para os híbridos, que ao final da análise apresentaram uma quantidade maior de resíduo que são relacionados às fibras de vidro que não se degradaram até a temperatura de 600°C.

Tabela 6- Perda de massa e picos de degradação para os compósitos

<i>Amostras</i>	<i>% de Massa</i>		<i>Ti Degradação (°C)</i>
	<i>300 °C</i>	<i>400 °C</i>	
PP	95	99	340
FA5%	94	98	326
FA 10%	89	95	306
HB 5%	94	98	335
HB 10%	96	99	320

Ti degradação - Temperatura inicial de degradação

6. CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho, observou-se através das análises de difratometria de Raios X que o tratamento com hidróxido de sódio realizado nas fibras de abacaxi foi eficiente. Essa técnica indicou um aumento no índice de cristalinidade das fibras após o tratamento.

Através da espectroscopia de infravermelho, observou-se que após o tratamento houve uma diminuição significativa na intensidade de alguns picos característicos de materiais lignocelulósicos, indicando que as fibras tornaram-se menos hidrofílicas.

Os compósitos e seus processamentos também foram analisados macroscopicamente, indicando que o método utilizado foi adequado porque forneceu ao material um bom aspecto e boa homogeneidade na distribuição das fibras na matriz polimérica.

Após a análise dos dados de termogravimetria dos compósitos percebeu-se que ao aumentar a quantidade de fibras naturais, a perda de massa do compósito ocorre mais rapidamente. Isso ocorreu para os compósitos reforçados com fibras naturais e para os reforçados hibridamente, indicando que para seu desenvolvimento devem-se utilizar matrizes poliméricas e métodos de processamento que possam ser trabalhados a temperaturas inferiores a 175°C.

Embora os compósitos de uma forma geral não tenham mostrado uma melhora significativa na resistência a tração, conforme esperado, o ensaio de tração indicou um aumento no módulo de elasticidade de todos os compósitos. Esse ensaio mostrou também que o compósito reforçado com 10% de fibras naturais foi o que apresentou o maior aumento no valor de módulo elástico (27%), quando comparado ao polímero puro. Portanto este compósito apresenta um grande potencial de aplicação viável para a indústria, visto que proporcionará uma possível redução de custos, da mesma forma que reduzirá a utilização de material proveniente de fontes não renováveis.

Quanto aos reforços híbridos pode-se concluir que com a adição de fibras de vidro em pequenas proporções, como as utilizadas neste trabalho, não foram obtidas mudanças significativas nas propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos quando comparados aos compósitos reforçados apenas com fibras naturais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. G.; COSTA, A. F.; DIAS, M. B.; FELIPE, R. C. T. S. Comparação entre as propriedades mecânicas de um compósito híbrido formado por um tecido reciclado de PET/Fibra de vidro e/ poliéster com um compósito constituído por poliéster/ fibras de vidro E. In Congress: **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, 2007.

ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W, R.; DE PAOLI, M. A. Thermal properties of high density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect. **Polymer Degradation and Stability**, v.93, p.1170-1175, 2008.

ARIB, R.M.N.; SAPUAN, S,M.; AHMAD, M. M. H. M.; PARIDAH, M.T.; KHAIRUL Z. H. M. D. Mechanical properties of pineapple leaf fiber reinforced polypropylene composites. **Materials & Design**, v.27, p. 391-396, 2006.

BARROS, A. R. F.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; DA SILVA, R. V. Laminados compósitos a base de fibras naturais e sintéticas: Efeito de condições ambientais adversas. In Congress: **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, 2006.

BENINI, K. C. C.C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/ Fibra da casca do coco verde**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) – Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, São Paulo, 2011.

BHANU, K.; GORIPATHI, K. N. S.; SUMAN, N. Effect of fiber surface treatments on mechanical and abrasive wear performance of polylactide/jute composites. **Composites: Part A**, v.43, p. 1800-1808, 2012.

BESSADOK, A.; ROUDESLLI, S.; MARAIS, S.; FOLLAIN, N.; LEBRUN, L. Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties. **Composites: Part A**, v.40, p. 184–195, 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. LTC, 2008.

CANEVAROLO, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003.

CARVALHO, L. H. E.; CAVALCANTI, W. S.; Tensile properties of unsaturated polyester/hybrid sisal-glass fabric reinforced composites. **4º ISNaPol – International symposium on Natural polymers and Composites**, p. 170-172, 2004.

CLEMONS, C.; Wood-plastics composites in the United States: the interfacing of two industries. **Journal Forest Products**, v.52, p.10-18, 2002.

COSTA, P. Plástico para toda obra. **Ecologia e Desenvolvimento**, v35, p. 25-27, 1994.

DANTAS, S. C. M. **Desidratação de polpas de frutas pelo método foam-mat**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, 2010.

D´ALMEIDA, A. L. F. S.; BARRETO, D. W.; CALADO, V.; D´ALMEIDA, J. R. M. **Efeito de Tratamentos Superficiais em Fibras de Piaçava sobre o Comportamento Dinâmico-Mecânico de Compósitos de Matriz Poliéster Isoftálica**. In 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006.

DA SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. **Revista Matéria**, v.13, p. 154 – 161, 2008.

DA SILVA, H. P.; **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

DEVI, L.; BHAGAWAN, S.S.; THOMAS, S. Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v.64, 1739-1748, 1997.

DOS SANTOS, A. M.; **Estudo de Compósitos híbridos polipropileno/ fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia.** Dissertação (Mestrado Engenharia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2006.

ESMERALDO, M, A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal /natural. Dissertação.** Dissertação (Mestrado em Química inorgânica) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2006.

FERNANDES, M. R. F. **Avaliação do processamento e propriedades de compósito de poliuretano termoplástico reforçados com fibras silexil, em comparação com outras fibras/ cargas comercialmente utilizadas.** Dissertação (Mestrado em engenharia metalúrgica e de minas)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2004.

FONTAN, O. J. **Aplicação de tramas de fibras de pupunheira (Bactris Gasipaes, H.B.K) em compósitos híbridos com fibra de vidro em matriz de risina poliéster insaturado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, Santa Catarina, 2009.

FU S. Y.; LAUKE, B.; MADER, E.; YUE CY; HU, X. Tensile properties of short-glassfiber and short -carbon-fiber-reinforced polypropylene composites, **Composites: Part A**, v.31, p.1117-1125, 2000.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaaios dos Materiais**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2000.

GASPARIN, A. L. **Comportamento mecânico de polímero termoplástico para aplicação em engrenagem automotiva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004.

GUTIÉRREZ, M. C.; DE PAOLI, M. A.; FELISBERTI, M. I.; Biocomposites based on cellulose acetate and short curauá fibers: Effect of plasticizers and chemical treatments of the fibers. **Composites: Part A** , v.43, p. 1338-1346, 2012.

HASHIM, M. Y.; ROSLAN, M. N.; AMIN, A. M.; ZAIDI, A. M. A.; ARIFFIN, S. Mercerization Treatment Parameter Effect on Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite: A Brief Review. **Engineering and Technology**, V.68, p.1638-1644, 2012.

HILLIG, E.; IWAKIRI, S.; HANSELEIN, C. R.; BIANCHI, O.; HILLIG, D. M. Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (HDPE) e serragem da indústria moveleira – Parte II – Extrusão em Dupla Rosca. **Ciência Florestal**, v. 21, p.335-347, 2011.

JAWAID, M.; KHALIL, A, H, P, S. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, v86, p.1-18, 2011.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibers and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v.71, p.343-364, 2008.

JOSEP, P. V.; JOSEPH, K.; THOMAS, S.; PILLAI, C. K. S.; PRASAD, V. S.; GROENINCKX, G. The thermal and crystallisation studies of short sisal fibre reinforced polypropylene composites Prediction of tensile properties of hybrid-natural fiber composites, **Composites: Part A**, v. 34, p. 253–256, 2003.

KABIR, M.M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. Chemical treatments on plant-based natural fiber reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v.43 , p. 2883-2892, 2012.

KENGKHETKIT, N.; AMORNSAKCHAI, T. Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: A novel extraction method for short pineapple leaf fiber. **Industrial Crops and Products**, v 40, p.55-61, 2012.

MADER, E.; JACOBASCH, H. J.; GRUNDKE, K.; GIETZELT, T. Influence of Optimized Interphase on the Properties of Polypropylene/glass fibre Composites. **Composites Part A**, v. 27, p.907-912, 1996.

MATOS, A. P.; REINHARDT, D. H. Pineapple in Brazil: Characteristics, Research and Perspectives. **Embrapa Cassava & Tropical Fruit**, 2005.

MISHRA, S.; MOHANTY, A.; DRZAL, L.; PARIJA, S.; NAYAK, S.; THIPATHY, S. Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites. **Composites Science and Technology**, v63, p.1377-1385, 2003.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposites. Taylor & Francis Group, LLC, cap 2, 39-97, 2005.

HASHIM, M. Y.; ROSLAN, M. N.; AMIN, A. M.; ZAIDI, A. M. A.; ARIFFIN, S. Mercerization Treatment Parameter Effect on Natural Fiber Reinforced Polymer Matrix Composite: A Brief Review. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v68, p.1638-1644, 2012.

MOTHÉ, C. G. **Análise Térmica de Materiais**. São Paulo: iEditora, 2002.

MOTHÉ, C. G.; ARAUJO, C. R. Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 4, p. 274-278, 2004.

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**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo, 2008.

MULINARI, D. R.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H.; DA SILVA, M. L. C.P.; CRUZ, T. G.; SARON, C. Sugarcane bagasse cellulose/HDPE composites obtained by extrusion. **Composites Science and Technology**, v.69, p. 214-219, 2009.

NAYAK, S. K., MOHANTY, S., Sisal Glass Fiber Reinforced PP Hybrid Composites: Effect of MAPP on the Dynamic Mechanical and Thermal Properties, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, V.29, p. 1551–1568, 2010.

PICKERING, K. L.; FARREL, R. L.; LAY, M. Interfacial modification of hemp fibre reinforced composites using fungal and alkali treatment. **J Biobased Mater Bioenergy**, v.1, p. 109-117, 2007.

ROUT, J.; MISRA, M.; TRIPATHY, S. S.; NAYAK, S. K.; MOHANTY, A. K. The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. **Composites Science and Technology**, v.61, p.1303-1310, 2001.

SAHA,P.; MANNA, S.; CHOWDHURY, S, R.; SEN, R.; ROY, D.; ADHIKARI, B. Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment. **Bioresource Technology**, v.101, p. 3182 – 3187, 2010.

SAHEB, D. N.; JOG, J. P. Natural fiber polymer composites: A Review. **Advances in Polymer Technology**, v.18, p.351–363, 1999.

SANTOS, A. M.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMICO, S. C. **The study of Hybrid Polypropylene / Glass and Coir Fiber Composites for Engineering Applications**. In: 41^o International Symposium on Macromolecules, 2006.

SAWPAN, A. M.; PICKERING, K. L.; FERNYHOUGH, A. Flexural properties of hemp fibre reinforced polylactide and unsaturated. **Composites: Part A**, v43, p.519-526, 2012.

SEGAL, L.; CREELY, J.; MARTIN, A.E., CONRAD, C. M. **Textile Research Journal**, v.29, p. 786-794, 1959.

SILVA, S. P. S. **Desenvolvimento de Compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

SOBCZAK, L.; LANG, R. W.; HAIDER, A. Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles. **Composites Science and Technology**, v72, p.550-557, 2012.

TANCREZ, J. P; RIETSCH, F; PABIOT, J. Characterization of fiber length in different types of short-glass-fiber-reinforced polypropylene composites. Methodology, study on materials before injection. **European Polymer Journal**, V30, p 803 - 808, 1994.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L.; BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry, a sustainability assessment. **Journal of Clear Production**, v.15, p.1032-1040, 2007.

YOUSIF, B., F.; SHALWAN, A.; CHIN, C. W.; MING, K. C. Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites. **Materials and Design**, v40, p378-385, 2012.

WANBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?. **Composites Science and Technology**, v.63, p.1259-1264, 2003.