

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**

**Curso de Engenharia de Materiais**



**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Influência da modificação química de fibras vegetais em compósitos  
sustentáveis de polipropileno reciclado**

**Alexandra Augusta Reichert**

Pelotas, 2018

Alexandra Augusta Reichert

**Influência da modificação química de fibras vegetais em compósitos sustentáveis de polipropileno reciclado**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial para a obtenção do título em Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira

Pelotas, 2018

Influência da modificação química de fibras vegetais em compósitos sustentáveis de polipropileno reciclado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Data da Defesa: 18 de dezembro de 2018

Banca examinadora:

---

Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira (Orientadora)  
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos

---

Prof. Dr. André Ricardo Fajardo  
Doutor em Química pela Universidade Estadual de Maringá

---

MSc. Jonas Eichelberger Granada  
Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, à minha mãe Anelise, que me ensinou a ser em primeiro lugar uma pessoa de caráter, e sempre me incentivou a correr atrás dos meus sonhos, e por todo amor e esforço para que eu pudesse estar aqui. Aos meus avós, Ernita e Verno, por todo o suporte e carinho que recebi ao longo de minha criação e por continuarem torcendo muito pelo meu sucesso.

Ao meu namorado Thales, por ser um exemplo para mim de dedicação e persistência em tudo que faz. Pelo companheirismo, amor e incentivo nesta etapa.

À minha orientadora Profa. Dra. Amanda Dantas, por ser um exemplo de profissional, por compartilhar todo o conhecimento e a paixão pelos polímeros. E por todo o incentivo, amizade e carinho durante este período.

Aos colegas do laboratório LabCom, pelas dúvidas sanadas, sugestões e companheirismo. Principalmente, à minha colega Mariana, por fazer parte deste trabalho, e à colega Gabriela pela ajuda durante o processamento.

Aos laboratórios Novonano, CDC-Bio, ao Laboratório de materiais poliméricos do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar (DEMa/ UFSCar), à Engenharia Industrial Madeireira pelas caracterizações realizadas.

Aos meus colegas de graduação, por terem se tornado minha família de Pelotas, por tornar a faculdade muito mais divertida e ter feito amigos que levarei para a vida toda.

*“Seja a mudança que você quer ver no mundo.”*  
*(Mahatma Gandhi)*

## Resumo

REICHERT, Alexandra Augusta. **Influência da modificação química de fibras vegetais em compósitos sustentáveis de polipropileno reciclado**. 2018. 49f. Trabalho de conclusão de curso, Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Tendo em vista a grande quantidade de fibras vegetais disponíveis, o uso delas para produção de compósitos poliméricos representa uma alternativa ao uso de fibras sintéticas. As fibras vegetais além de serem de baixo custo, são de fonte renovável, diversificada e biodegradáveis, portanto, neste trabalho foram utilizados resíduos de coroa de abacaxi e palha de milho, com o objetivo de avaliar o efeito de reforço das fibras *in natura* e modificadas, nas propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos sustentáveis, utilizando como matriz o polipropileno reciclado. Entretanto, para que um compósito polimérico tenha um bom desempenho é necessário que haja boa adesão entre a fibra e a matriz. A fim de melhorar esta interação, foi feita a modificação da superfície das fibras (mercerização), com solução alcalina de hidróxido de sódio, utilizando uma temperatura de 80 °C sob agitação, durante 1h. As fibras *in natura* e modificadas foram caracterizadas por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), difração de raios-x (DRX) e análise termogravimétrica (TGA), os dados obtidos a partir destas análises revelaram que o tratamento de modificação se mostrou mais efetivo para a fibra de coroa de abacaxi em relação à fibra de palha de milho. Termicamente, ambas as fibras modificadas apresentaram aumento em sua estabilidade térmica quando comparadas com as fibras *in natura*. Os compósitos foram preparados com uma matriz de polipropileno (PP) reciclado obtido a partir de copos descartáveis. A quantidade de reforço utilizada foi de 5% em massa, tanto para fibras de coroa de abacaxi quanto para as de palha de milho, *in natura* e modificadas. O compósito foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaio de tração. Os ensaios de tração mostraram que não houve diferenças significativas na tensão máxima suportada por todos os tipos de materiais, mas houve um aumento no módulo elástico nos compósitos em relação ao polipropileno reciclado puro, destacando o compósito de fibra de coroa de abacaxi modificado, que apresentou o melhor resultado em relação às demais amostras. As imagens obtidas a partir de MEV da fratura dos corpos de prova corroboraram com o ensaio de tração, mostrando que houve uma melhor adesão da fibra com a matriz nos compósitos de fibra de coroa de abacaxi modificado.

**Palavras chave:** compósitos; polipropileno; fibras naturais; modificações químicas; reciclagem.

## Abstract

REICHERT, Alexandra Augusta. **Influence of the chemical modification of plant fibers on sustainable composites of recycled polypropylene**. 2018. 49f.

Trabalho de conclusão de curso, Graduação em Engenharia de materiais, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Considering the large amount of plant fibers available, the use of them for the production of polymeric composites represents an alternative to the use of synthetic fibers. In addition to being inexpensive, the plant fibers are of a renewable, diversified and biodegradable source. In this work, pine and crown straw residues were used in order to evaluate the reinforcement effect of the *in natura* and modified fibers, on the mechanical and morphological properties of sustainable composites, using recycled polypropylene as the matrix. However, for a polymeric composite to perform well it is necessary that there is good adhesion between the fiber and the matrix. In order to improve this interaction, the fiber surface (mercerization) was modified with alkaline sodium hydroxide solution using a temperature of 80° C under stirring for 1h. The *in natura* and modified fibers were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD) and thermogravimetric analysis (TGA), the data obtained from these analyzes revealed that the modification treatment was shown more effective for pineapple crown fiber in relation to corn straw fiber. Thermally, both modified fibers showed an increase in their thermal stability when compared to *in natura* fibers. The composites were prepared with a recycled polypropylene (PP) matrix obtained from disposable cups. The amount of reinforcement used was 5% by mass, for both pineapple and maize straw fibers, *in natura* and modified. The composite was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and tensile test. The tensile tests showed that there were no significant differences in the maximum stresses supported by all types of materials, but there was an increase in the elastic modulus in the composites in relation to the pure recycled polypropylene, highlighting the modified pineapple crown fiber composite, which presented the best result in relation to the other samples. The SEM images of the fracture of the test specimens corroborated with the tensile test, showing that there was a better adhesion of the fiber to the matrix in the modified pineapple crown fiber composites.

**Key words:** composites; polypropylene; natural fibers; chemical modifications; recycling.

## Lista de figuras

Figura 1 Classificação dos compósitos de acordo com o reforço.....	16
Figura 2 Tipos de reforços.....	17
Figura 3 Estrutura química do PP.....	18
Figura 4 Classificação das fibras vegetais .....	20
Figura 5 Produção mundial de polímeros.....	24
Figura 6 Simbologia para a identificação de embalagens. ....	25
Figura 7 Fluxograma das principais etapas para a obtenção dos compósitos. ....	26
Figura 8 Moinho de facas.....	27
Figura 9 Imagens de A) coroa do abacaxi, B) fibras obtidas a partir da coroa .....	27
Figura 10 Imagens de A) palha de milho, B) fibras obtidas a partir da palha .....	28
Figura 11 Solução Alcalina de fibras de coroa de abacaxi .....	28
Figura 12 Imagens de A) Fibras de coroa de abacaxi modificadas, B) Fibras de palha de milho modificadas.....	29
Figura 13 Reciclagem dos copos descartáveis, em A) copo de PP descartável, B) copo moído.....	29
Figura 14 Corpos de prova dos compósitos, A) PP+FMIN, B) PP+FMM, C) PP Puro, D) PP+FAIN, E) PP+FAM.....	31
Figura 15 Espectros de FTIR das fibras de abacaxi in natura e modificado .....	33
Figura 16 Espectros de FTIR das fibras de milho in natura e modificado.....	34
Figura 17 Imagem de DRX das fibras de coroa de abacaxi in natura e modificado...	35
Figura 18 Imagem de DRX das fibras de palha de milho in natura e modificado .....	35
Figura 19 Curvas de TGA das fibras de coroa de abacaxi in natura e modificado....	36
Figura 20 Curvas de DTG das amostras de coroa de abacaxi in natura e modificados. ....	36
Figura 21 Curvas de TGA das fibras de palha de milho in natura e modificado.....	37
Figura 22 Curvas de DTG das amostras de palha de milho in natura e modificados. ....	37
Figura 23 Módulo elástico e desvio padrão dos corpos de prova.....	39
Figura 24 Imagens de MEV da fratura dos compósitos. A) PP+FMIN, B) PP+FMIN, C) PP+FMM, D) PP+FMM, E) PP+FAIN, F) PP+FAIN, G) PP+FAM, H) PP+FAM....	41



## **Lista de tabelas**

Tabela 1	Módulo elástico e tensão máxima dos corpos de prova .....	38
----------	---	----

## Lista de abreviaturas

FTIR	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier
DRX	Difração de raios-x
TGA	Análise termogravimétrica
NaOH	Hidróxido de sódio
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PP+FMIN	Compósito reforçado com fibra de palha de milho <i>in natura</i>
PP+FMM	Compósito reforçado com fibra de milho modificado
PP+FAIN	Compósito reforçado com fibra de coroa de abacaxi <i>in natura</i>
PP+FAM	Compósito reforçado com fibra de coroa de abacaxi modificado
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
KOH	Hidróxido de potássio
LiOH	Hidróxido de lítio

## Sumário

1.	Introdução.....	13
2.	Objetivos.....	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos .....	15
3.	Revisão Bibliográfica .....	16
3.1	Compósitos.....	16
3.1.1	Compósitos de matriz polimérica termoplástica .....	18
3.1.1.1	Polipropileno (PP) .....	18
3.2	Fibras naturais como materiais de reforço.....	19
3.2.1	Coroa de abacaxi.....	20
3.2.2	Palha de milho .....	21
3.3	Modificações químicas .....	22
3.4	Reciclagem de polímeros .....	23
4.	Materiais e Métodos.....	26
4.1	Obtenção das fibras.....	26
4.2	Modificação da fibra.....	28
4.3	Reciclagem de polipropileno.....	29
4.4	Processamento dos compósitos.....	29
4.4.1	Extrusão dos compósitos.....	29
4.4.2	Injeção dos corpos de prova.....	30
4.5	Técnicas de caracterização .....	31
4.5.1	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.....	31
4.5.2	Difração de raio x.....	31
4.5.3	Termogravimetria .....	31
4.5.4	Ensaio de tração.....	32
4.5.5	Microscopia eletrônica de varredura.....	32
5.	Resultados e Discussão .....	32
5.1	Caracterização do reforço .....	33
5.1.1	Espectroscopia com transformada de Fourier .....	33
5.1.2	Difração de raio x.....	34
5.1.3	Termogravimetria .....	35
5.2	Caracterização do compósito .....	38

5.2.1	Ensaio de tração.....	38
5.2.2	Microscopia eletrônica de varredura.....	40
6.	Considerações finais .....	42
	Referências Bibliográficas .....	43
	ANEXOS .....	47

## 1. Introdução

Vivemos em um período muito preocupante quando se fala em sobrecarga da terra, pois utilizamos um conjunto maior de recursos do que a natureza pode renovar. A produção de bens de consumo está muito voltada para o uso de matérias-primas não renováveis o que nos últimos anos vem sendo um problema, devido ao aumento populacional e ao consumo exacerbado (PEREIRA et al, 2017).

Portanto, é preciso que haja uma conscientização mundial em relação ao uso e consumo consciente de materiais e que seja priorizada a busca por soluções sustentáveis. Algumas dessas alternativas vêm sendo diminuir o consumo de energia e a geração de novos resíduos, reciclagem de materiais, otimização de processos e desenvolvimento de produtos sustentáveis (MARCON et al, 2009).

Para Iozzi et al. (2010), o uso de fibras naturais para produção de compósitos poliméricos representa uma alternativa ao uso de fibras sintéticas. Além de serem de baixo custo, são de fonte renovável, abundante e diversificada, devido à agricultura consolidada do Brasil. Segundo Jawaid;Khalil (2011), elas são tão importantes, que a Organização das Nações Unidas da Agricultura e Alimentação criou o Ano Internacional das Fibras Naturais, em 2009, com o objetivo de conscientização global e incentivo a demanda de fibras naturais. Sendo assim o uso das mesmas como reforço se torna uma importante contribuição para pesquisa de novas matérias primas com a capacidade de agregar valor a um novo produto.

Entretanto, para que as fibras e a matriz polimérica atuem em conjunto com eficácia em determinado produto é necessário que a aderência entre as mesmas seja eficaz. A incompatibilidade que existe entre a fibra e o polímero se dá devido às características hidrofílicas das fibras, contrária à apolaridade dos polímeros, que enfraquece a interação interfacial do compósito, convertendo-se em uma baixa capacidade de transferência de tensão da matriz para as fibras. Dessa forma, é relevante fazer modificações químicas ou físicas na superfície da fibra para aumentar a adesão com a matriz polimérica, assim influenciando as propriedades mecânicas do compósito resultante (ALMEIDA et al, 2005; MULINARI, 2015).

Para Pereira et al. (2015), o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais vem crescendo e aumentando o emprego de polímeros termoplásticos, geralmente, os polímeros convencionais como polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP). Uma matriz

polimérica termoplástica bastante utilizada em compósitos naturais é o polipropileno (PP), devido a sua processabilidade e baixo custo.

Conhecidos também como grandes vilões ambientais, os polímeros quando descartados incorretamente, se acumulam no meio ambiente, uma vez que alguns deles demoram séculos para se decompor. Sua reciclagem é uma alternativa atraente e viável para diminuir este impacto ambiental, além de também preservar matérias primas não renováveis, economia de energia, redução de custos no produto final, como também criação de empregos e renda (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Assim sendo, compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas, em geral, são utilizados para mudar as propriedades e aumentar o desempenho de produtos, como também, para a diminuição de custos e de marketing. Compósitos reforçados com fibras vegetais são utilizados em diferentes aplicações como no setor automotivo, aeroespacial, em artefatos esportivos e na construção civil (JAWAID; KHALIL, 2011). Uma aplicação mais específica desta tecnologia é a Ecofibra Automotiva da empresa Artecologia Química, matéria-prima que mescla polímeros com fibras naturais sendo aplicada nas tampas removíveis sobre o porta-malas, visando diminuir o peso final do carro e o consumo de combustível (FROEHLICH; BITENCOURT, 2016).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o efeito de reforço das fibras *in natura* e modificadas de coroa de abacaxi e palha de milho, nas propriedades mecânicas e morfológicas de compósitos sustentáveis com matriz de polipropileno reciclado.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Obtenção das fibras vegetais a partir da coroa do abacaxi e da palha de milho;
- Modificação química da superfície das fibras com tratamento alcalino;
- Caracterização das fibras vegetais *in natura* e modificadas;
- Obtenção de pellets a partir de copos descartáveis;
- Produção dos compósitos através de mistura no estado fundido por extrusão e moldagem por injeção;
- Avaliação das propriedades finais dos compósitos reforçados através de caracterizações mecânicas e morfológicas;
- Comparação do efeito dos diferentes tipos de reforços nos compósitos.

### 3. Revisão Bibliográfica

#### 3.1 Compósitos

Compósitos são materiais que combinam de forma sinérgica pelo menos duas fases distintas separadas por uma interface, em que suas propriedades e performance são superiores às dos elementos integrantes quando atuam isoladamente. São constituídos de uma matriz (fase contínua) e o reforço (fase dispersa). Basicamente, as propriedades finais do compósito dependem das propriedades individuais da matriz e do reforço, da interação da interface, das concentrações dos constituintes e da geometria do reforço (CALLISTER; RETHWISCH 2012).

De acordo com Callister; Rethwisch (2012), tipicamente, uma forma de classificar os compósitos é com relação ao material que forma a matriz, sendo assim existem três tipos de matrizes de compósitos: metálicas, cerâmicas e poliméricas, em que a matriz tem a incumbência de envolver a outra fase e de transmitir as tensões aplicadas para o reforço. A fase dispersa (reforço), por sua vez, fornece a resistência mecânica ao material, e são classificados segundo a Figura 1 e exemplificados na Figura 2.

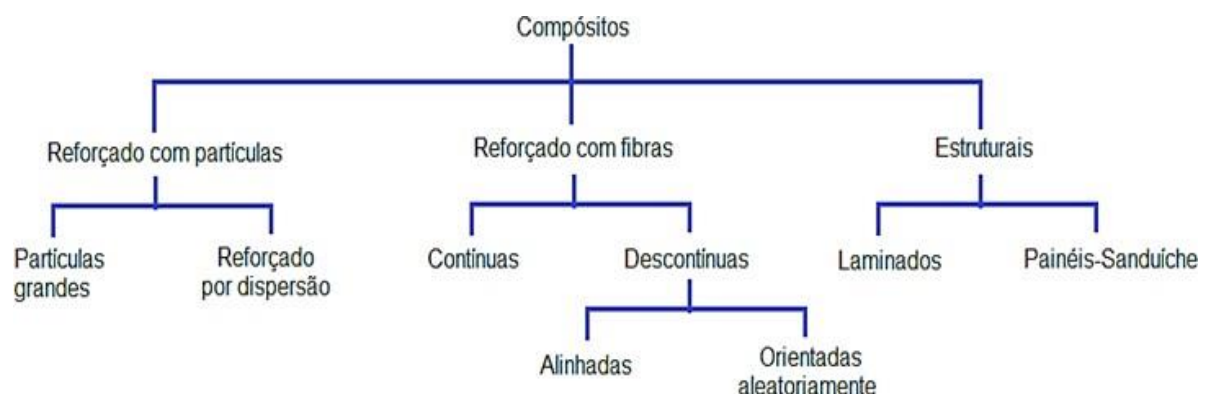


Figura 1 - Classificação dos compósitos de acordo com o reforço. Fonte: CALLISTER;RETHWISCH, 2012.



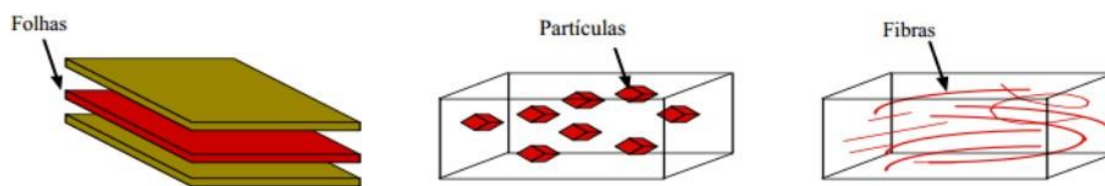


Figura 2 - Tipos de reforços. Fonte: adaptado de CALLISTER;RETHWISCH, 2012.

Dentre os três elementos de reforço destacaremos o utilizado neste trabalho que foram as fibras, formando o que chamamos de compósitos fibrados. As fibras apresentam um pequeno diâmetro e um grande comprimento em seu aspecto geométrico, o que lhe possibilita elevado valor na relação volume/área superficial e em decorrência disso ocorre o aumento da área de interface da fibra/matriz. Sua eficácia é resultado do menor número de defeitos apresentados devido a sua forma, onde sua resistência tende a se aproximar da resistência teórica do material (NETO; PARDINI, 2006).

O comprimento e a orientação destas fibras é diretamente associada aos esforços aplicados. Para fibras contínuas e alinhadas na direção da solicitação mecânica o reforço é máximo, já na direção perpendicular é minimizado. Em fibras descontínuas e alinhadas a resistência e a rigidez são consideráveis longitudinalmente. E em fibras descontínuas com orientação aleatória, as propriedades físicas independem da direção (CALLISTER; RETHWISCH 2012).

Para Neto;Pardini (2006), muitas aplicações de materiais requerem que haja uma boa interface entre seus constituintes, é por isso que é tão importante que a matriz e o reforço sejam aderentes. Portanto, dois parâmetros são essenciais na eficiência da região interfacial: Uma eficiente molhabilidade da fibra pela matriz e uma boa adesão interfacial.

Aplicações relacionadas à áreas como aeronáutica, automobilística, bioengenharia e artigos esportivos, em que há a necessidade de alcançar características como resistência, leveza, relação custo-benefício, adaptabilidade, tem feito com que os materiais compósitos se destaquem e sejam alvo de novas pesquisas e tecnologias (NETO; PARDINI, 2006).

### 3.1.1 Compósitos de matriz polimérica termoplástica

De acordo com Neto; Pardini (2006), apesar dos termorrígidos serem mais aplicados em compósitos poliméricos as matrizes termoplásticas também tem seu espaço garantido, principalmente nos casos que exigem uma maior resistência ao impacto, maior escala de produção e maior tenacidade à fratura. Polímeros termoplásticos exibem a capacidade de serem remodelados inúmeras vezes, pois quando submetido à ação de calor se fundem novamente e endurecem ao serem resfriados. Portanto, são polímeros fusíveis e recicláveis.

Matrizes de poliamida e PP vêm sendo usadas a muito tempo, quando estas matrizes são utilizadas com reforços particulados ou fibrados encontram aplicação em automóveis. No processamento deste tipo de compósitos geralmente métodos tradicionais são empregados, como a extrusão e injeção, depois de ter uma composição de matriz com reforço estabelecida (NETO; PARDINI, 2006).

#### 3.1.1.1 Polipropileno (PP)

O polipropileno (Figura 3) foi introduzido no mercado em 1954 e se trata de um polímero termoplástico, semi-cristalino, do grupo das poliolefinas, que é originado pelo monômero propileno ( $C_3H_6$ ) e é polimerizado por um processo de reação de poliadição, podendo também ser identificado para reciclagem pelo número “5” (CANEVAROLO, 2010).

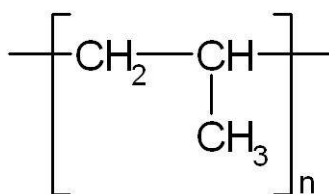


Figura 3 - Estrutura química do mero do PP. Fonte: CANEVAROLO, 2010.

De acordo com Callister; Rethwisch (2012), entre suas características, podemos destacar uma densidade aproximada de  $0.90 \text{ g/cm}^3$  e a massa molar apresenta-se entre 80.000 e 500.000 g/mol. Respectivamente, a sua temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão estão em torno de  $-18^\circ\text{C}$  e  $175^\circ\text{C}$ .

Dentre suas aplicações podemos destacar para-choques de carros, carcaças de eletrodomésticos, brinquedos, recipientes, copos descartáveis e material hospitalar devido a sua atoxicidade (DA SILVA RODRIGUES et al, 2017).

Para Ishizaki et al. (2006), o PP é um material muito utilizado na indústria devido às inúmeras qualidades, tais como, a facilidade no processamento, flexibilidade, baixo custo e propriedades mecânicas moderadas, sendo altamente resistente a substâncias químicas. Devido as suas características atrativas apresenta grande potencial para uso em matrizes termoplásticas de compósitos, tornando-o assim capaz de estar no mesmo nível de plásticos de engenharia.

### **3.2 Fibras naturais como materiais de reforço**

As fibras naturais são muito utilizadas em compósitos com o intuito de melhorar suas propriedades mecânicas, baratear sua produção, substituir fibras de fonte não renovável, sua atoxicidade, maciez e abrasividade reduzida, baixa massa específica e biodegradabilidade. São extremamente valorizadas por algumas empresas automotivas como é o caso da Mercedes Benz que utilizam fibras naturais na fabricação de assentos e encostos de alguns de seus carros, conferindo características de maciez da peça e segurança, pois na ocorrência de incêndios não liberam gases tóxicos (MARCON et al, 2009).

São classificadas de acordo com sua origem, podendo ser animais, minerais e vegetais e podem ser provenientes da madeira ou de outras fontes (Figura 4). As fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço geralmente são fibras de sisal, coco, juta, banana, fibras de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e bambu, onde é preciso destacar a extrema importância do uso de fibras que são subprodutos agrícolas (CALEGARI; OLIVEIRA, 2016).

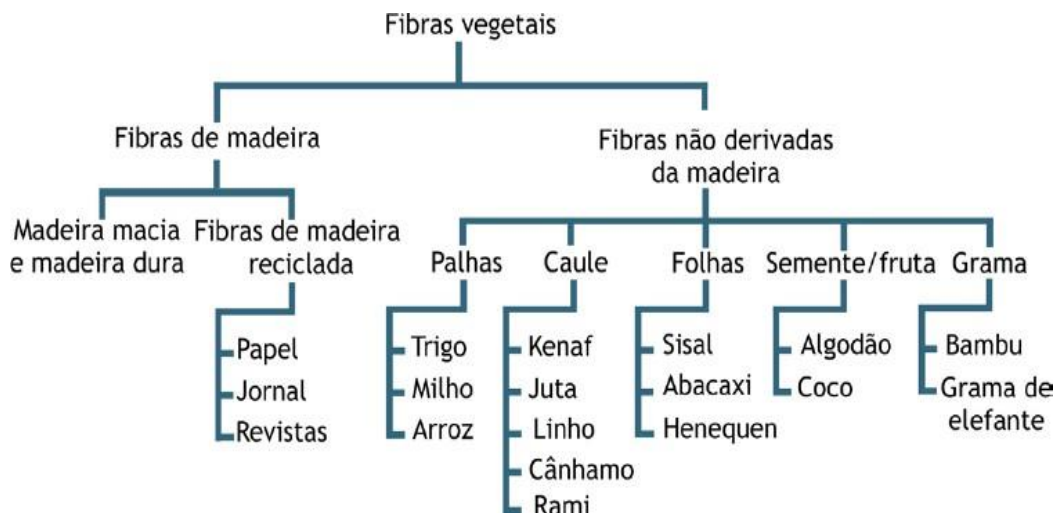


Figura 4 - Classificação das fibras vegetais. Fonte: CALEGARI & OLIVEIRA, 2016.

Segundo Pereira et al. (2015), as fibras vegetais possuem compostos bem variados em sua estrutura, desde pectinas, ácidos graxos, ceras entre outros, sendo as três principais constituintes a celulose, hemicelulose e a lignina, por esse motivo as fibras vegetais também são chamadas de fibras lignocelulósicas.

De acordo com Siqueira (2006), a celulose (40 a 90% em massa da fibra) estruturalmente é um polissacarídeo integrada de unidades de  $\beta$ -D-glicopirranose unidas por ligações glicosídicas entre os carbonos 1 e 4, onde, suas moléculas apresentam alta massa molecular. É um dos compostos orgânicos mais numerosos disponíveis na natureza e o principal componente estrutural das fibras vegetais.

Conforme Sanchez et al. (2010), a hemicelulose é considerada um polissacarídeo que apresenta baixa massa molar. Sua estrutura complexa é encarregada de atribuir propriedades de alta absorção de água e ausência de cristalinidade, sendo muito sensível ao contato com soda cáustica. A lignina se trata de um complexo molecular reticulado que tem uma estrutura amorfa. É encarregada de dar rigidez à planta, pois é ela que faz o acoplamento das células das fibras e fibrilas formando a parede celular, resultando em um sistema resistente à compressão e impacto (PEREIRA et al, 2015).

### 3.2.1 Coroa do abacaxi

O abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) é um fruto originário da América do Sul, de clima tropical, e por ter uma “coroa” é reconhecido como rei dos frutos.

Largamente utilizado pela indústria alimentícia se destaca pelo consumo *in natura*, cristalizado, em calda, utilizado em bolos, sorvetes e doces (MUNIZ et al, 2018). Segundo o IBGE (2010), o Brasil é o segundo maior produtor mundial de abacaxi, respondendo por 8% da produção mundial, equivalente a 1.801.415 toneladas e área plantada de 69.565 Ha, sendo uma grande fonte de renda do país.

Pela elevada produção da fruta e por não ser totalmente aproveitado, algumas de suas partes acabam se tornando um resíduo. A coroa do abacaxi apresenta grande potencial para obtenção de fibras mas ainda é muito limitado principalmente à aplicação na indústria textil e artesanal. A fibra apresenta propriedades mecânicas notáveis e custo baixo, sendo atraente para uso como reforço em compósitos poliméricos, agregando valor à um resíduo (KENGKHETKIT; AMORNSAKCHAI, 2012).

Marcon et al. (2009), estudou a viabilidade de fibras de coroa de abacaxi *in natura* e modificadas como reforço em compósitos poliméricos para o desenvolvimento de um material que apresentasse características promissoras para ser aplicado na indústria automobilística, obtendo resultados efetivos nas caracterizações das fibras.

### **3.2.2 Palha de milho**

Segundo De Souza et al. (2018), a produção de milho no Brasil vem ganhando destaque e se mostra como uma das principais fontes de renda do agronegócio brasileiro, chegando a exportar em 2016 o equivalente a US\$ 85,0 bilhões. Em 2016, o Brasil ocupou o terceiro lugar no ranking de maiores produtores do grão, perdendo apenas para os Estados Unidos e a China. Trata-se do segundo grão mais produzido no país ficando logo atrás da soja (DE SOUZA et al, 2018).

De acordo com Reis et al. (2016), pode-se notar que a produção do milho tem duas destinações significativas, uma delas é a fabricação de rações para nutrição animal e a outra para o consumo humano sendo natural, enlatado, na forma de óleos, biscoitos, entre outros. Desta forma, assim como milhares de toneladas deste grão são produzidas, teremos toneladas de resíduo provenientes de suas palhas.

Esse resíduo agrícola já vem sendo utilizado geralmente para alimentação de gado, produção de silagem, como cama em aviários, para cobertura dos solos e também para a produção de artesanatos. A exploração deste subproduto tão versátil

apresenta relevância também na produção de fibras naturais para aplicação em compósitos, devido a sua grande abundância e tendo potencial para gerar novas fontes de renda (MOREIRA; SEO, 2016).

Um exemplo de sua aplicação como reforço em compósitos foi um estudo feito por Moreira; Seo (2016), que teve como objetivo fabricar um produto para aplicações em construção civil, mostrando resultados promissores para este uso tecnológico.

### **3.3 Modificações químicas**

Para Faruk et al. (2014), alguns tratamentos vêm sendo propostos para tentar sanar problemas de alta absorção de umidade e adesão interfacial entre as fibras naturais e o polímero. Isso acontece pois as fibras vegetais são hidrofílicas, sendo incompatíveis com a matriz polimérica, que se mostra hidrofóbica. Estes tratamentos dependem muito da fibra em questão principalmente em relação à quantidade de celulose presente, dentre os tratamentos são empregados métodos químicos ou físicos, os quais vão reagir com a fibra, essas estruturas apresentam grupos funcionais reativos que podem se ligar à outros grupos reativos na matriz do polímero, também podem remover alguns constituintes e/ou alterar características da mesma.

Segundo Pereira et al. (2015), entre os métodos físicos utilizados para tratamento superficial das fibras pode-se destacar a descarga elétrica (plasma à frio) e tratamento corona, onde ocorre a oxidação da fibra, modificando sua energia superficial, mas ainda são pouco utilizados nesta aplicação. Já nos métodos químicos podemos enumerar diversos tratamentos superficiais como o alcalino, acetilação, tratamento com silano e com peróxido.

De acordo com Albinante et al. (2013), o tratamento alcalino é o método de modificação mais comum para a produção de fibras vegetais. Também chamado de mercerização consiste em um tratamento alcalino, que depende da concentração e da temperatura da solução e do tempo que a fibra fica exposta ao tratamento. A mercerização prevê a solubilização de hemicelulose e lignina, alterando sua cristalinidade, também modifica a rugosidade da fibra e melhora a adesão mecânica.

Os tratamentos químicos alcalinos com KOH, LiOH e NaOH, incham as fibras e removem parcialmente alguns compostos, o que propicia melhor empacotamento das cadeias de celulose, aumentando sua cristalinidade. Na existência de água essa estrutura pode sofrer um inchamento, o que leva à alteração de sua cristalinidade que passa de monoclinica para polimórfica, sendo o grau de inchamento dependente do tipo e concentração da solução alcalina (ALBINANTE et al 2013). O tratamento alcalino com NaOH viabiliza a fragmentação das fibras, aumentando sua área superficial e deixando-a mais rugosa, melhorando assim a molhabilidade da fibra pela matriz (SIQUEIRA, 2006).

Em um estudo feito por Moreira; Seo (2016), o tratamento de mercerização com NaOH de fibras vegetais das folhas do milho, independente da matriz utilizada, aumenta os valores de resistência à tração em comparação às fibras *in natura*, chegando a elevar a resistência à tração 20% acima do obtido com a fibra sem tratamento. No trabalho de Sanchez et al. (2010), a modificação química de fibras de bagaço de cana-de-açúcar melhorou as propriedades de impacto do compósito e mostrou o aumento da estabilidade térmica das fibras do bagaço tratados em relação aos não tratados.

### **3.4 Reciclagem de polímeros**

No momento atual, a poluição do meio ambiente é uma das principais preocupações da sociedade. A acelerada evolução da tecnologia, o aumento populacional, o descarte indevido, a praticidade e descartabilidade, vêm colaborando para uma deterioração desenfreada dos ecossistemas. Nestas circunstâncias os materiais poliméricos vêm sendo protagonistas dessa realidade, em que é verificado um aumento de produção descomunal destes materiais com o passar dos anos (Figura 5), podendo ser atribuído ao seu baixo custo e à versatilidade de aplicações, mas em contrapartida, devido a sua durabilidade seus resíduos não se decompõem facilmente no ambiente (DA SILVA RODRIGUES et al, 2017).

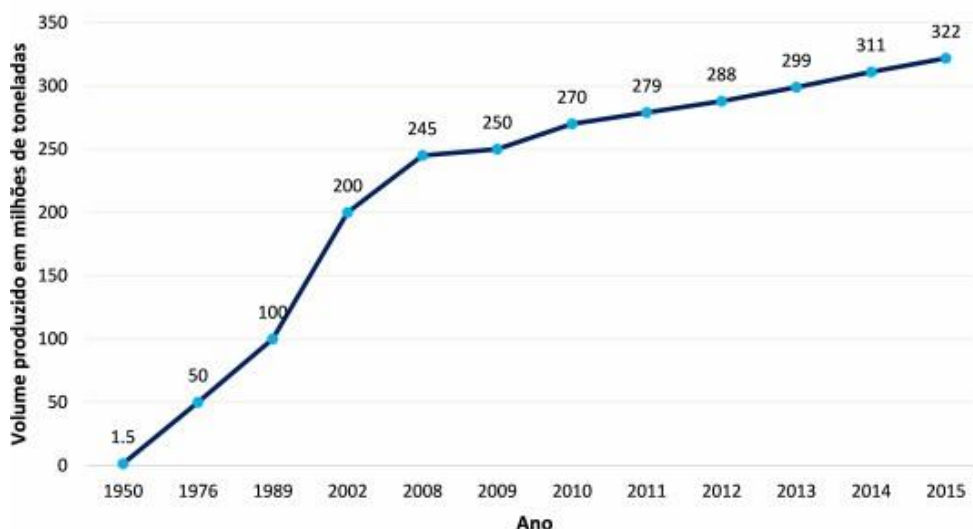


Figura 5 - Produção mundial de polímeros. Fonte: DE FIGUEIREDO PESSÔA, 2018.

Uma das soluções para este problema é a reciclagem de materiais, que consiste no processo de modificação de resíduos, podendo envolver mudança em suas propriedades com o intuito de fabricar novos produtos. No cenário atual, o Brasil recicla em média apenas 13% dos resíduos sólidos que são gerados, em contrapartida, países da Europa apresentam uma taxa de 35% gerando empregabilidade e um faturamento expressivo (DE FIGUEIREDO PESSÔA, 2018).

De acordo com Spinacé; De Paoli (2005), a reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias:

- Reciclagem primária ou mecânica: consiste em converter os resíduos industriais em produtos com características parecidas com a dos produtos de origem como, por exemplo, reutilizar as rebarbas produzidas em um processo em um outro processamento;
- Reciclagem secundária ou mecânica: é a conversão de polímeros pós consumo procedentes de resíduos urbanos em produtos que tenham requisitos menores do que os produzidos com o polímero virgem;
- Reciclagem terciária ou química: método tecnológico de produzir insumos químicos ou combustíveis a partir dos polímeros reciclados;
- Reciclagem quaternária ou energética: é a recuperação de energia através da queima controlada dos resíduos.



Para fazer uma reciclagem de qualidade é necessária uma separação correta dos plásticos. Com o intuito de ajudar na identificação dos diferentes tipos de polímeros foi criada uma simbologia padrão a qual é apresentada na Figura 6.

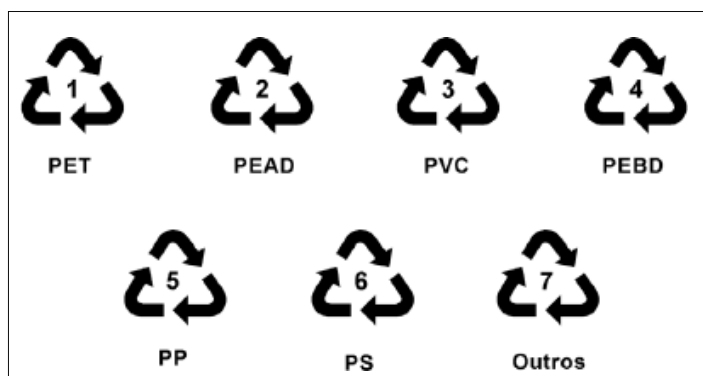


Figura 6 - Simbologia para a identificação de embalagens. Fonte: SPINACÉ; DE PAOLI, 2005.

Da Silva Rodrigues et al. (2017), cita diversas aplicações para polímeros reciclados como é o caso de placas para isolamento térmico, caixas de baterias, bandejas, vassouras, sacolas, caixas de ovos, acessórios de escritório, entre outros. São indiscutíveis as vantagens que a reciclagem oferece, a cada resíduo que se aproveita teremos economia de energia, água, extração de matéria prima natural, redução de custos, além da criação de empregos e renda e um incentivo na conscientização mundial.

#### 4. Materiais e Métodos

Nesta seção serão apresentados os materiais e as metodologias utilizadas para o desenvolvimento dos procedimentos experimentais, bem como suas caracterizações. Um fluxograma com as etapas do trabalho é apresentado na Figura 7.

Para obtenção das fibras foram utilizados resíduos de coroa de abacaxi e palha de milho, cedidos pelo Restaurante Escola da UFPel e Embrapa Clima Temperado, respectivamente. E para a modificação da fibra foi utilizado o hidróxido de sódio (NaOH),

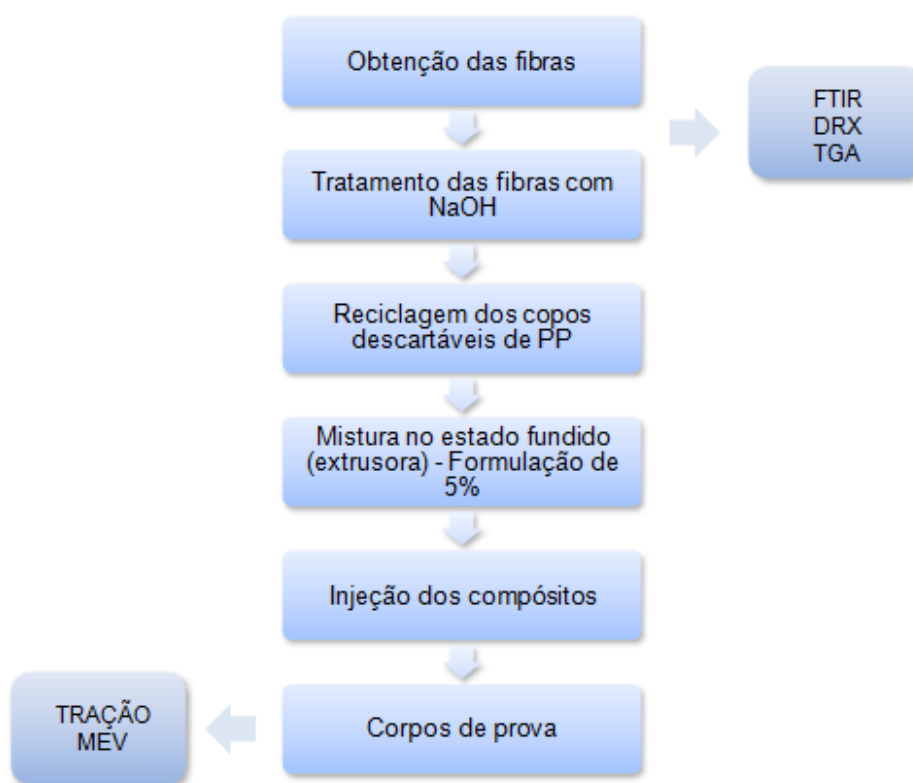


Figura 7 - Fluxograma das principais etapas para a obtenção dos compósitos.

##### 4.1 Obtenção das fibras

As folhas de coroa de abacaxi e palha de milho obtidas foram desbastadas, lavadas e secas em estufa a 65°C durante 48 horas. Após a secagem, que tem por objetivo remover a umidade, as folhas foram moídas em um moinho de facas da marca Marconi, modelo MA 340, indicado na figura 8.



Figura 8 - Moinho de facas.

Em seguida, as fibras passaram por um peneiramento utilizando a peneira de mesh 32, com o objetivo de obter uma granulometria uniforme. Nas Figuras 9 e 10 podemos observar o andamento do processo que mostra a matéria-prima e as fibras obtidas.

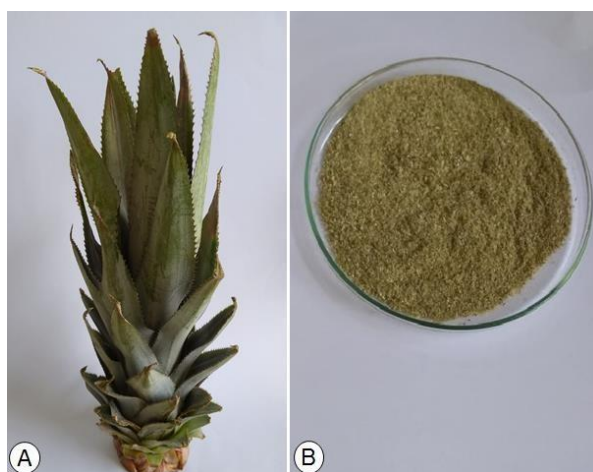


Figura 9 - Imagens de A) coroa do abacaxi, B) fibras obtidas a partir da coroa.



Figura 10 - Imagens de A) palha de milho, B) fibras obtidas a partir da palha.

#### 4.2 Modificação da fibra

A modificação química da superfície das fibras resultantes, também chamada de mercerização, foi feita por solução alcalina de NaOH, com o objetivo de melhorar a adesão entre a fibra e a matriz, mostrado na Figura 11.



Figura 11 - Solução Alcalina de fibras de coroa de abacaxi.

Foram utilizadas 20g de fibra para cada 200ml de solução de NaOH, com concentração de 10%. As fibras ficaram em contato com a solução durante 1h, a 80°C sob agitação mecânica. Em seguida, foram lavadas e filtradas em água destilada, até que a solução final atingisse o pH 7, removendo qualquer resíduo de NaOH. As fibras modificadas foram secas em estufa a 65°C durante 16h, com rendimento de 6g de fibras modificadas, o material resultante após as modificações é apresentado na Figura 12.

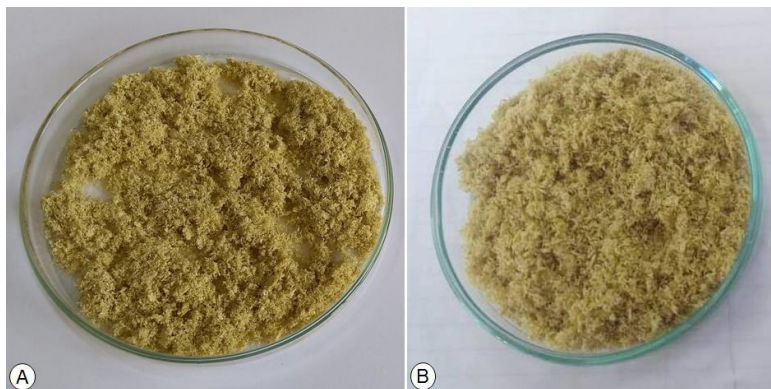


Figura 12 - Imagens de A) Fibras de coroa de abacaxi modificadas, B) Fibras de palha de milho modificadas.

### 4.3 Reciclagem de polipropileno

Para a reciclagem do polímero, a fim de utilizá-lo como matriz polimérica, foram coletados copos transparentes de polipropileno (PP) encontrados na via urbana do centro de Pelotas. Os copos (Figura 13. A) foram higienizados, secos à temperatura ambiente e cortados em pedaços menores. Para que o polímero ficasse com uma granulometria próxima à das fibras, facilitando com isso o processo de mistura na extrusora, os pedaços menores foram moídos no moinho de facas (Figura 13. B).



Figura 13 - Reciclagem dos copos descartáveis, em A) copo de PP descartável, B) copo moído.

### 4.4 Processamento dos compósitos

#### 4.4.1 Extrusão dos compósitos

Os compósitos foram obtidos através do método de mistura no estado fundido com o intuito de promover uma boa homogeneização do compósito. A mistura foi feita através de uma extrusora monorosca da marca Eco Soluções, foi empregado um perfil de temperatura de 190°C/204°C/221°C para o polímero puro e as fibras modificadas e um perfil de 166°C/190°C/189°C para os compósitos reforçados com as fibras *in natura* para que não ocorresse degradação do material devido a menor estabilidade térmica das mesmas.

A proporção utilizada para a formulação do compósito foi de 5% de fibra em massa, numa razão polímero reciclado:fibras de 95:5, esta formulação foi utilizada igualmente para todos os tipos de fibras.

#### **4.4.2 Injeção dos corpos de prova**

Após processo de extrusão o material foi novamente peletizado e seco em estufa a 60°C por 24h. Foi feita a moldagem por injeção utilizando uma injetora de bancada da AX Plásticos, modelo AXINJET. A temperatura utilizada no cachimbo foi de 210°C para os compósitos e de 190°C para o PP reciclado. A temperatura do molde foi de 80°C e a pressão utilizada foi de 0,6 MPa. A fim de avaliar as propriedades mecânicas do compósitos os corpos de prova foram produzidos de acordo com dimensões especificadas da norma ASTM D – 638.

Uma imagem dos corpos de prova obtidos para as diferentes amostras pode ser observada na Figura 14. Foram atribuídos nomes para cada corpo de prova, na qual o compósito reforçado com fibra de palha de milho *in natura* é chamado de PP+FMIN e da fibra de palha de milho modificado de PP+FMM. Já o polímero reciclado puro é chamado de PP Puro, para os compósitos de fibra de coroa de abacaxi *in natura* são denominados de PP+FAIN e os modificados de PP+FAM.

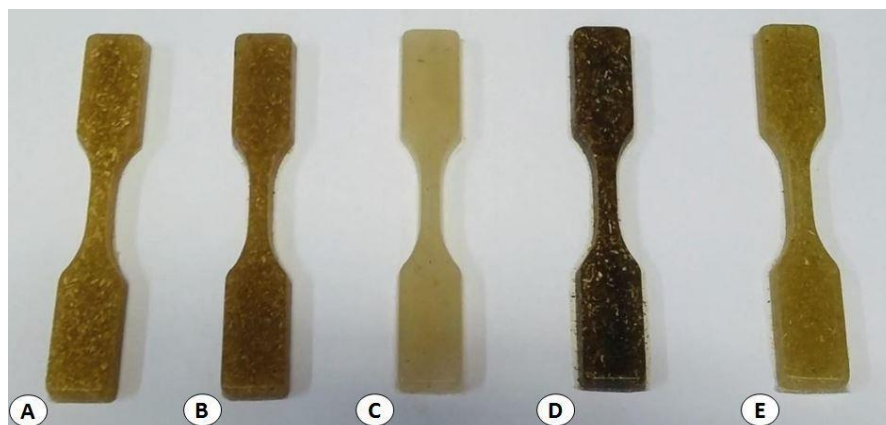


Figura 14 - Corpos de prova dos compósitos, A) PP+FMIN, B) PP+FMM, C) PP Puro, D) PP+FAIN, E) PP+FAM.

## 4.5 Técnicas de caracterização

### 4.5.1 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

A caracterização das fibras *in natura* e modificadas foi feita por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O espectrofotômetro utilizado para as análises se encontra no Centro de Desenvolvimento e Controle de Biomateriais (CDC-Bio), na Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Pelotas. O equipamento é da marca Shimadzu, modelo Prestige-21. Os parâmetros de transmitância utilizados foram de 400 – 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

### 4.5.2 Difração de raios-x

A difração de raios-x (DRX) das fibras *in natura* e tratadas foi realizada no Laboratório de Nanotecnologia (Novonano), do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas. O equipamento é da marca Shimadzu, modelo XDR-6000. As análises foram realizadas a partir das fibras obtidas, utilizando uma velocidade de varredura de 0,5°/ min, para valores de  $2\theta$  entre 10 e 90°.

### 4.5.3 Termogravimetria

A estabilidade térmica das fibras *in natura* e modificadas foi avaliada através de ensaios de análise termogravimétrica (TGA), utilizou-se uma taxa de

aquecimento de 20°C/min, a partir da temperatura ambiente até 800°C, em atmosfera inerte de nitrogênio. O equipamento utilizado é da marca TA Instruments, modelo Q50, do Laboratório de materiais poliméricos da Universidade Federal de São Carlos (DEMa/ UFSCar).

#### **4.5.4 Ensaio de tração**

Os ensaios de tração seguiram os parâmetros especificados pela norma ASTM D – 638 e foram realizados em uma máquina de ensaios universal da marca EMIC, modelo DL30000N, com célula de carga de 300 kN. Os ensaios foram realizados na Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Federal de Pelotas.

#### **4.5.5 Microscopia eletrônica de varredura**

A caracterização morfológica dos materiais compósitos foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um equipamento da marca Shimadzu, modelo SSX-550 Superscan, após recobrimento com ouro das mesmas. As análises foram realizadas no laboratório de nanotecnologia (Novonano) do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas.



## 5. Resultados e Discussão

### 5.1 Caracterização do reforço

#### 5.1.1 Espectroscopia com transformada de Fourier

As Figuras 15 e 16 apresentam os espectros de infravermelho das fibras da coroa do abacaxi e palha de milho *in natura* e modificado, que apresentam bandas características de materiais lignocelulósicos.

De acordo com Pires et al. (2012), em  $1738$  e  $1639\text{ cm}^{-1}$  observa-se bandas relativas ao estiramento dos grupos carbonila presentes na hemicelulose e lignina. As bandas  $2921$  e  $2847\text{ cm}^{-1}$  são associadas ao estiramento C-H alifático dos grupos metila e metileno. Em  $1017\text{ cm}^{-1}$  é possível prever o estiramento C-O-C assimétrico da celulose. A banda  $1158\text{ cm}^{-1}$  é referente à deformação assimétrica do grupo metila.

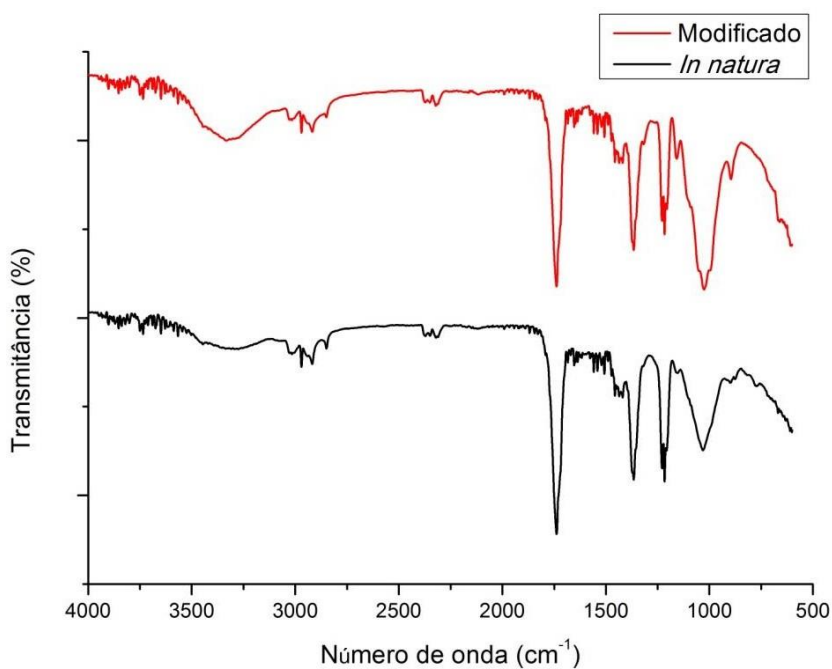


Figura 15 - Espectros de FTIR das fibras de abacaxi *in natura* e modificado.

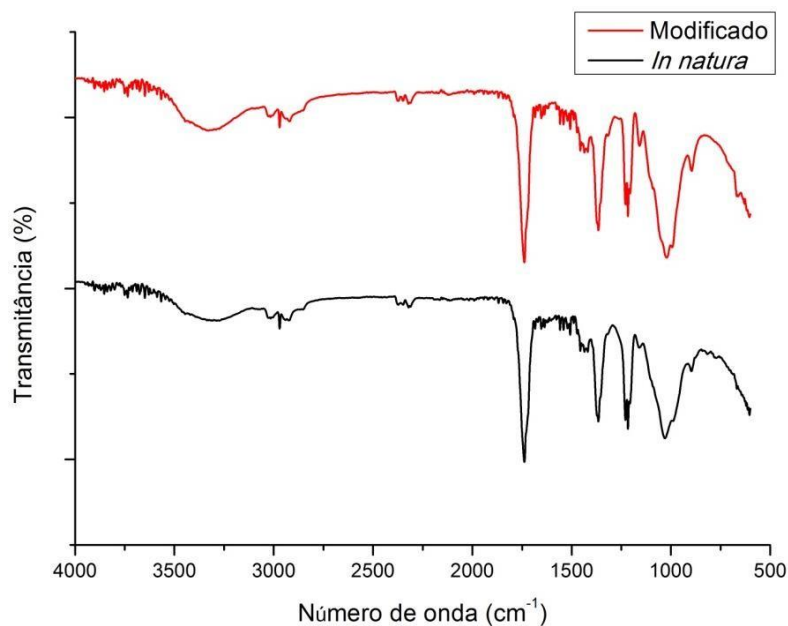


Figura 16 - Espectros de FTIR das fibras de milho in natura e modificado.

### 5.1.2 Difração de raios-x

As fibras também foram caracterizadas por DRX e os resultados estão apresentados nas Figuras 17 e 18. Os difratogramas mostram características de materiais semicristalinos com intensidade dos picos de difração.

Observa-se que as fibras modificadas da coroa de abacaxi apresentaram um aumento significativo dos picos de difração em relação as fibras *in natura* indicando o aumento da cristalinidade das fibras após a mercerização. Já as fibras modificadas de palha de milho apresentam picos um pouco mais definidos em relação aos *in natura*, mas sem apresentar um aumento significativo na cristalinidade. O que pode justificar esta condição seria algum fator durante o preparo de amostra ou a necessidade de aumento da concentração de solução para uma remoção mais eficaz de alguns componentes (MULINARI, 2015; MOREIRA; SEO, 2016).

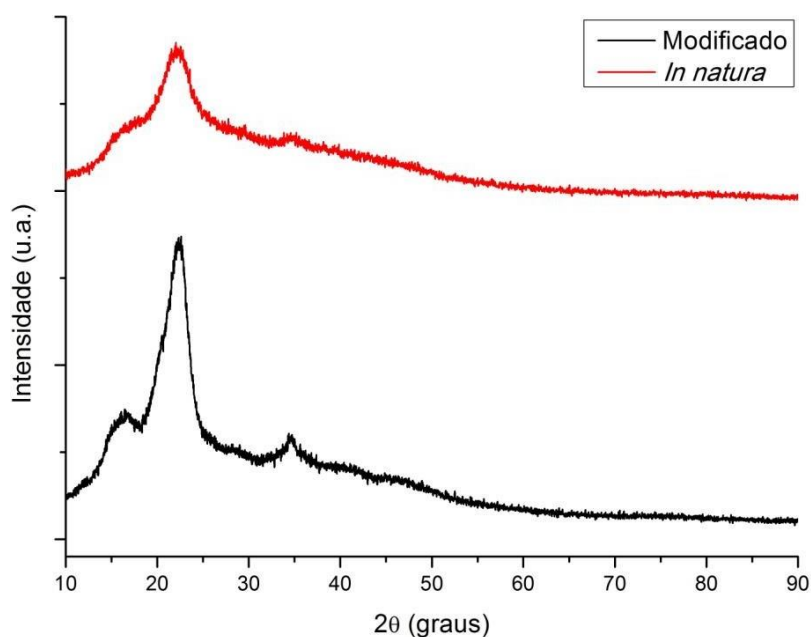


Figura 17 - Imagem de DRX das fibras de coroa de abacaxi in natura e modificado.

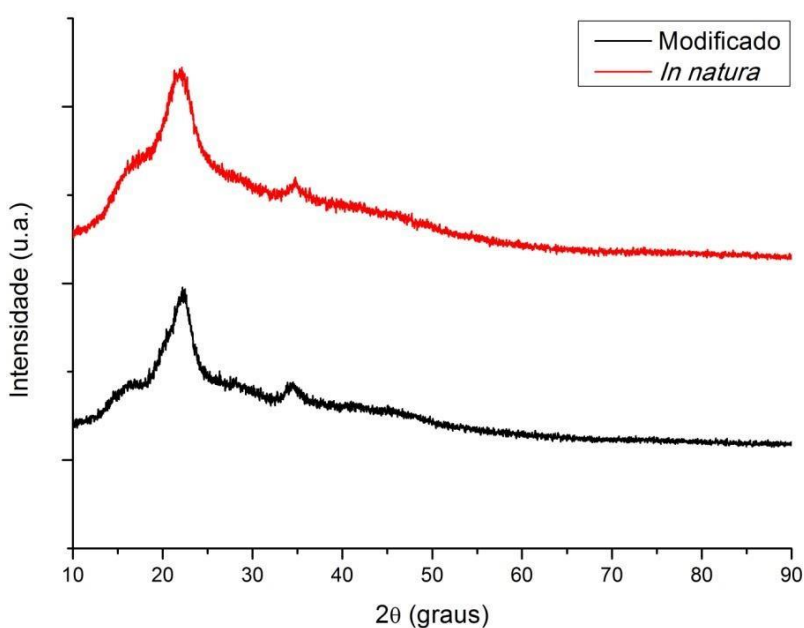


Figura 18 - Imagem de DRX das fibras de palha de milho in natura e modificado.

### 5.1.3 Termogravimetria

A análise de termogravimetria foi realizada para avaliar a influência do tratamento químico nas propriedades térmicas das fibras. As curvas de perda de massa em função da temperatura e da derivada da variação de massa (DTG) das fibras de coroa de abacaxi podem ser observadas nas Figuras 19 e 20,

respectivamente. Já as curvas das fibras de palha de milho estão apresentadas nas Figuras 21 e 22.

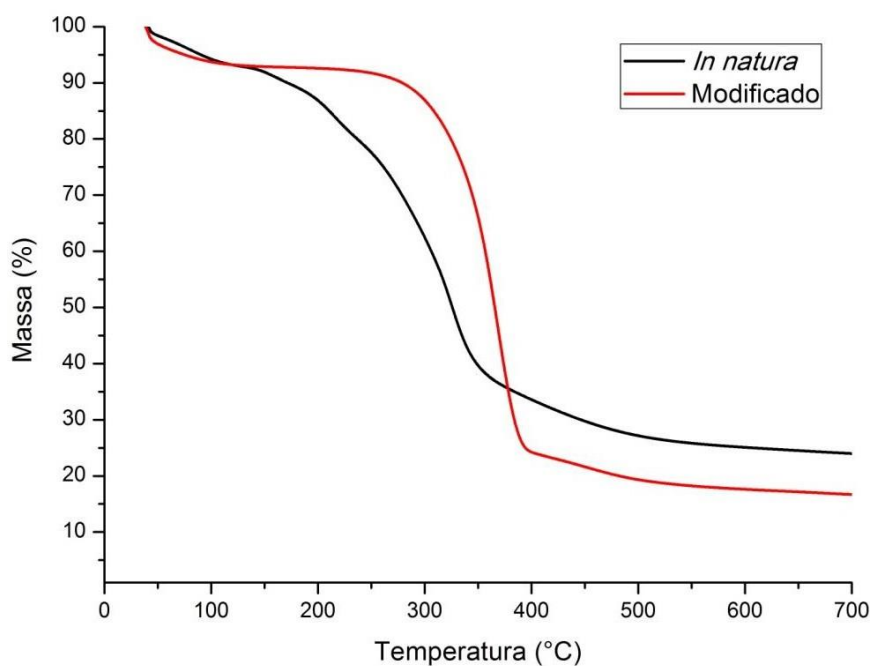


Figura 19 - Curvas de TGA das fibras de coroa de abacaxi in natura e modificado.

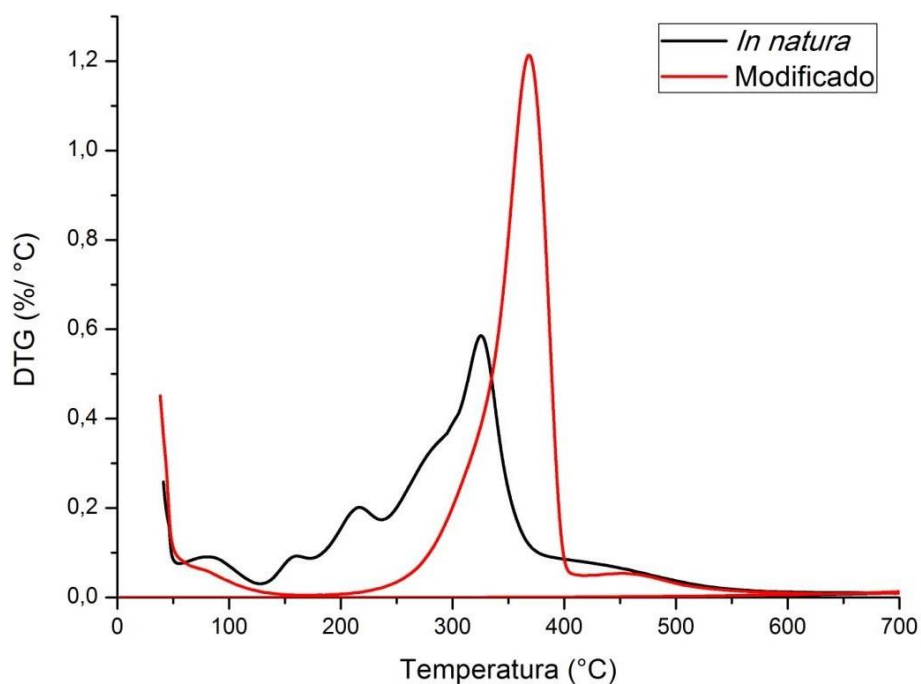


Figura 20 - Curvas de DTG das amostras de coroa de abacaxi in natura e modificados.

Em todos os tipos de fibras é possível identificar um estágio inicial entre 50°C

e 100°C correspondente à eliminação de água das fibras. Observando as curvas de perda de massa e DTG em conjunto é possível observar que ambas as fibras modificadas apresentam 2 estágios principais de perda de massa. O primeiro como já mencionado é caracterizado pela perda de água (perda de massa em torno de 8%), o segundo estágio é a degradação das fibras em aproximadamente 300°C, sendo atribuído à eliminação de celulose com uma perda de massa em torno de 75% (MARTINS, 2001).

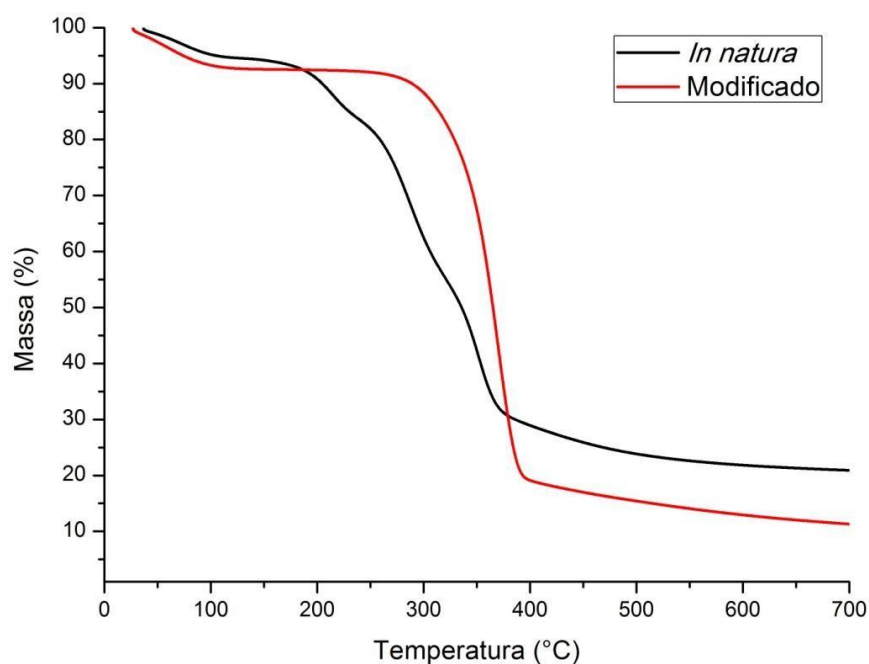


Figura 21 – Curvas de TGA das fibras de palha de milho in natura e modificado.

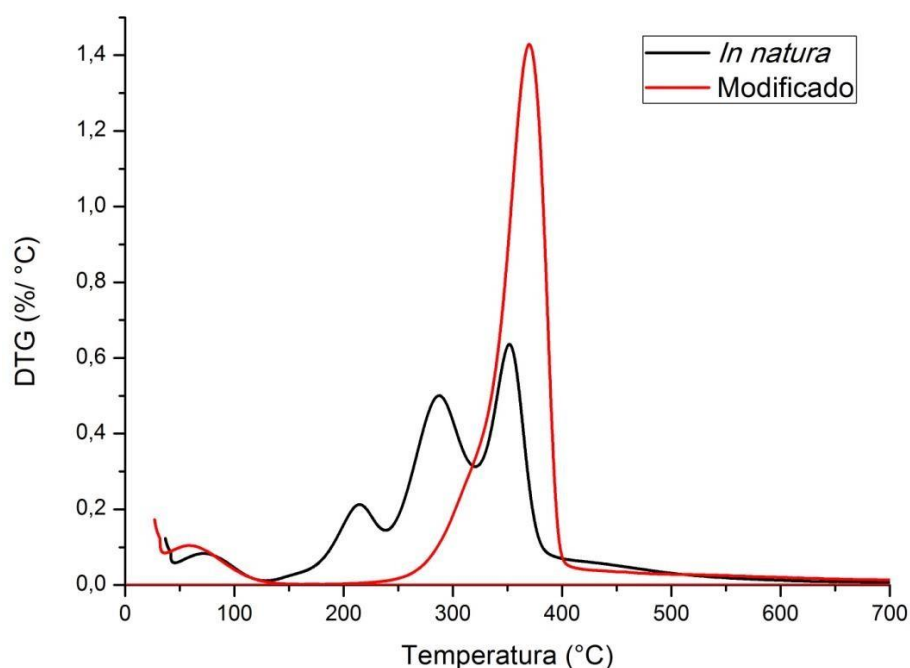


Figura 22 – Curvas de DTG das amostras de palha de milho in natura e modificados.

As fibras *in natura* apresentam mais processos de perda de massa do que as modificadas, devido a mercerização remover os compostos solúveis das fibras. É possível destacar 4 estágios de perda de massa para estes tipos de fibras e observa-se também que elas possuem um comportamento bem semelhante. A primeira etapa corresponde à perda de água (8%) como já mencionado, a segunda em 200°C à 230°C está relacionada à despolimerização térmica da hemicelulose com perda de massa em torno de 10%. Em 230°C até 340°C, a perda de massa de 27% refere-se a degradação de lignina. O quarto e último estágio em 350°C corresponde à decomposição da celulose (perda de 33% em massa) (SANCHEZ et al, 2010).

Estes resultados demonstram que a estabilidade térmica das fibras de coroa de abacaxi e palha de milho aumentam com o tratamento de mercerização e que também promove mudanças no processo de degradação térmica destas fibras.

## **5.2 Caracterização do compósito**

### **5.2.1 Ensaio de tração**

Os resultados dos ensaios de resistência à tração estão apresentados na Tabela 1. Nesta tabela estão apresentados as médias e os desvios padrão da tensão máxima e módulo de elasticidade para cada tipo de material. O relatório de ensaio contendo os gráficos e outros dados fornecidos pelo teste constam nos anexos desse trabalho.

Através da tabela é possível observar que a resistência à tração não apresentou variações significativas nos compósitos. Segundo Fu et al. (2000), esta propriedade está relacionada diretamente ao comprimento médio das fibras que durante o processamento podem ser afetadas, comprometendo o aumento desta propriedade mecânica.

Tabela 1 - Módulo elástico e tensão máxima dos corpos de prova.

Corpos de prova	$\sigma$ Máxima (MPa) ( $\pm$ Desvio padrão)	E (MPa) ( $\pm$ Desvio Padrão)
PP PURO	31,83 $\pm$ 3,59	535,17 $\pm$ 18,70
PP+FMIN	32,55 $\pm$ 1,17	642,14 $\pm$ 42,71
PP+FMM	30,55 $\pm$ 0,25	650,96 $\pm$ 31,26
PP+FAIN	31,65 $\pm$ 0,94	670,81 $\pm$ 9,89
PP+FAM	31,78 $\pm$ 0,54	708,88 $\pm$ 38,06

Ao analisarmos os valores do módulo elástico apresentados na Tabela 1 e na Figura 23, é possível observar que os quatro tipos de compósitos reforçados com 5% de fibra apresentaram valores de módulo superiores em relação ao polímero reciclado puro. Por outro lado, analisando os resultados obtidos entre os tipos de compósitos é possível verificar que os compósitos com fibra de palha de milho modificado (PP+FMM) e *in natura* (PP+ FAIN) obtiveram valores semelhantes do módulo de elasticidade, corroborando com os resultados de DRX em que a cristalinidade destas fibras não aumentou quando modificadas. Pode-se explicar este fato devido à uma fraca adesão entre a matriz e o reforço, em que a fibra de milho deve apresentar maior resistência ao NaOH, sendo necessário aumentar o tempo de contato em solução ou a concentração da mesma.

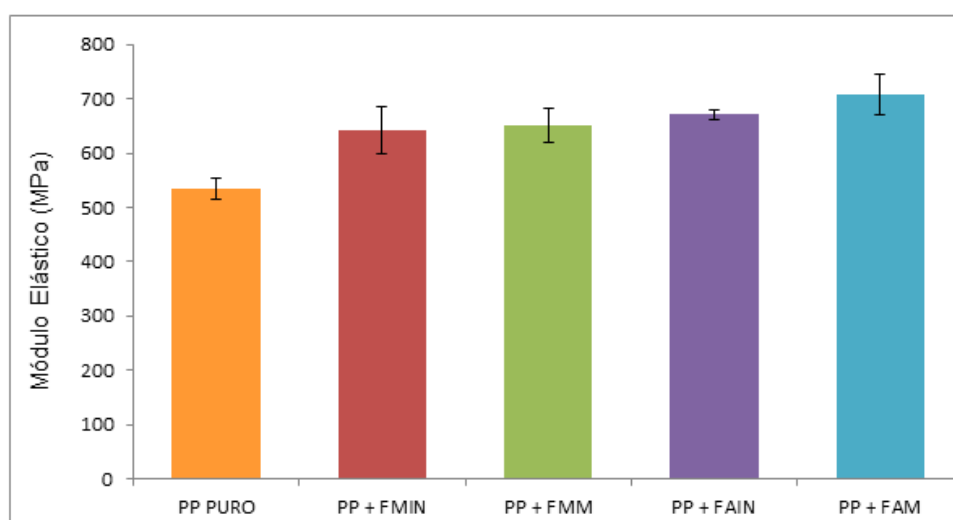


Figura 23 - Módulo elástico e desvio padrão dos corpos de prova.

Em relação às fibras de coroa de abacaxi *in natura* (PP+FAIN) e modificadas (PP+FAM), podemos notar um aumento significativo no módulo de elasticidade, que em conjunto com os resultados de DRX demonstram que a modificação com NaOH foi efetiva neste tipo de fibra, aumentando a rigidez do material. Sipião et al. (2011), trabalhando com reforço de fibras vegetais de coroa de abacaxi em compósitos, obteve resultados satisfatórios nas propriedades mecânicas destes materiais após a modificação química.

### 5.2.2 Microscopia eletrônica de varredura

As imagens obtidas por MEV dos compósitos foram obtidas a partir da superfície de fratura dos corpos de prova após ensaio de tração (Figura 24).

Pela superfície das amostras nota-se traços típicos de uma fratura do tipo frágil, caracterizada pela superfície da fratura ser relativamente plana. Este tipo de fratura ocorre quando não há deformação plástica significativa e propagação rápida da trinca, fazendo com que o material se rompa de maneira rápida (DA ROCHA et al, 2016).

As imagens de MEV confirmam os resultados do ensaio mecânico em que ambos os compósitos de fibra de palha de milho (Figura 24.A-B e 24.C-D) apresentam morfologia semelhante, sendo possível visualizar buracos na superfície, formados a partir do arrancamento da fibra durante o ensaio, indicando uma fraca adesão interfacial entre o reforço e a matriz. Para os compósitos de fibra de coroa de abacaxi modificada é possível verificar uma diferença na adesão (Figura 24.G-H), sinalizando uma melhor interação entre a fibra e o PP em relação à fibra *in natura* (Figura 24.E-F), mais uma vez corroborando com os resultados do ensaio de tração.



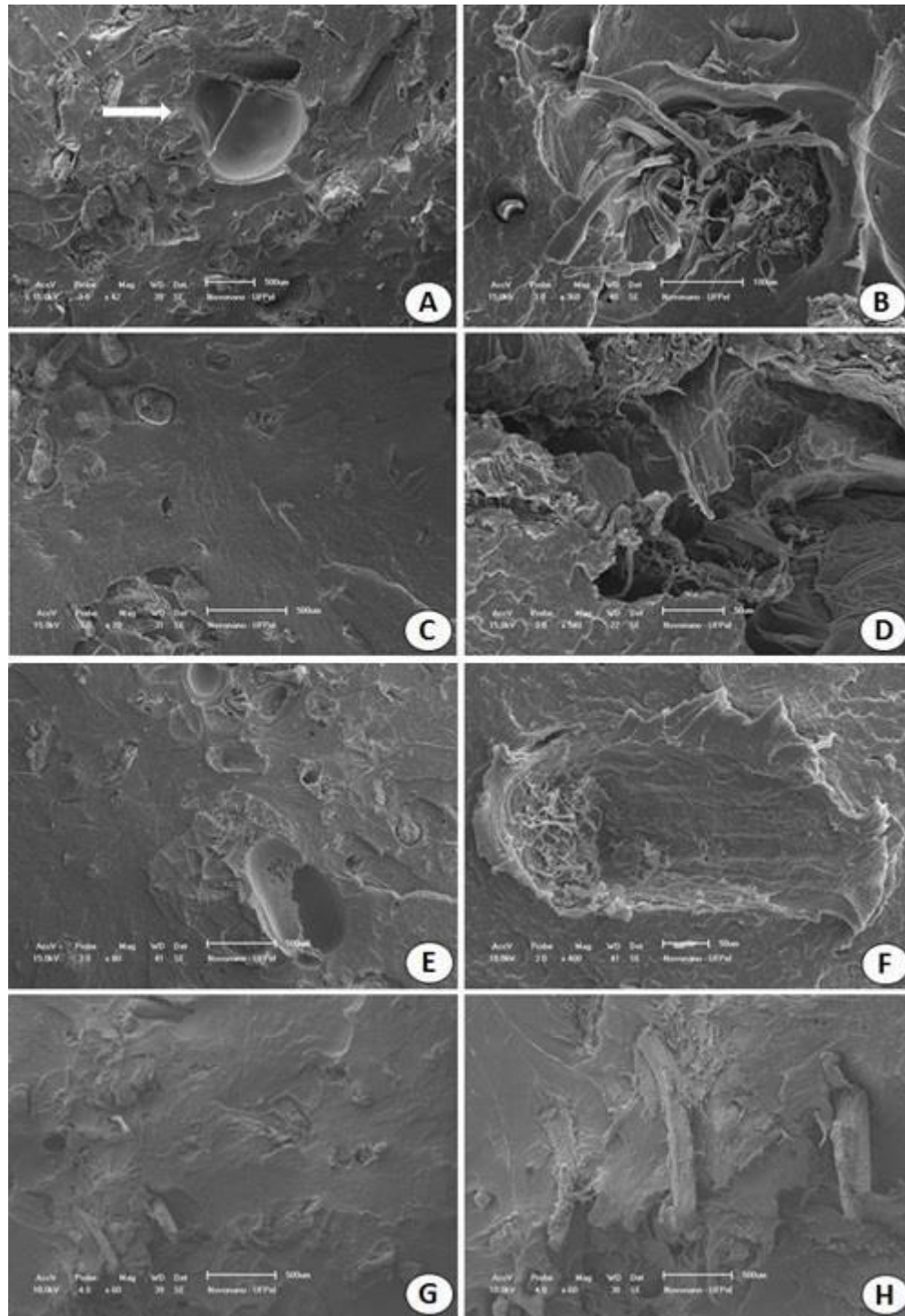


Figura 24 - Imagens de MEV da superfície da fratura dos compósitos. A) PP+FMIN, B) PP+FMIN, C) PP+FMIN, D) PP+FMIN, E) PP+FMIN, F) PP+FMIN, G) PP+FMIN, H) PP+FMIN.

## 6. Considerações finais

A modificação química das fibras se mostrou efetiva de acordo com os resultados de DRX, FTIR e TGA, sendo mais significativas nas fibras de coroa de abacaxi, o que pode ser atribuído a uma maior resistência ao tratamento alcalino de NaOH pelas fibras da palha de milho.

Com relação às propriedades térmicas das fibras, a análise termogravimétrica indicou que ambas as fibras após a mercerização aumentaram sua estabilidade térmica, promovendo mudanças nos estágios de degradação destas fibras em relação às fibras *in natura*.

Apesar dos compósitos não terem apresentado uma melhora significativa na tensão máxima, o ensaio de tração indicou um aumento no módulo de elasticidade de todos os compósitos em relação ao PP reciclado puro. Podendo enfatizar o compósito reforçado com fibra de coroa de abacaxi modificado, que apresentou os melhores resultados do módulo elástico devido a uma boa adesão do reforço com a matriz, confirmados pelas imagens de MEV.

Portanto, pode-se concluir que entre os materiais estudados, o compósito reforçado com fibra de coroa de abacaxi modificado demonstra ter grande potencial para ser aplicado em produtos, visto que apresenta baixo custo, da mesma forma que reduz o consumo de matérias-primas não renováveis e agrega valor à materiais que eram vistos como resíduos.

## Referências Bibliográficas

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v.36, n.1, p. 114-122, 2013.

ALMEIDA, A. L. d'; CALADO, V.; BARRETO, D. W.; D'ALMEIDA, J. R. Efeito do tratamento de mercerização em fibras de curauá (*Ananas erectfolius*). In **Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Águas de Lindóia, SP, p. 12-13, 2005.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. D. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em debate**, v. 7, n. 1, p. 140-155, 2016.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

CANEVAROLO, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros**. 2. Ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2006. 275 p.

DA ROCHA, G. B. T; PEREIRA; L. M. M.; FARIAS, L. D. P.; GANDUR, N. L.; FLORES, P. M.; DE OLIVEIRA, R. M.; DA SILVA, M. H. P. Análise fractográfica em MEV – fratura dúctil x fratura frágil. **Revista militar de ciência e tecnologia**, v. 33, n. 2, p. 85-87, 2016.

DA SILVA RODRIGUES, A. C.; MOREIRA, J. F. M.; DE SOUZA FILHO, L. B.; NUNES, V. D. B. Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): Um estudo bibliográfico. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 18, n. 3, p. 145-160, 2017.

DE FIGUEIREDO PESSÔA, Vitor Alves. **Reciclagem e reutilização de materiais poliméricos plásticos**. 2018. 50f. Monografia (Engenharia de materiais) - Escola politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

DE SOUZA, A. E.; DOS REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no brasil. **South American Development Society Journal**, v.4, n.11, p. 182, 2018.

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Progress report on natural fiber reinforced composites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 299, n.1, p. 9-26, 2014.

FROEHLICH, C.; BITENCOURT, C. C. Sustentabilidade Empresarial: Um Estudo de Caso na Empresa Artecola. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade-GeAS**, v.5, n.3, p. 55-71, 2016.

FU, S. Y.; LAUKE, B.; MÄDER, E.; YUE, C. Y.; HU, X. Tensile properties of short-glass-fiber-and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, V.31, N.10, P.1117-1125, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2010. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=1&idnoticia=3263&t=pesquisa-agricola-municipal-recordes-producao-soja-milho-impulsionam-agricultura-2015&view=noticia> > Acesso em: 07dez 2018.

IOZZI, M. A.; MARTINS, G. S.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F. C.; JOB, A. E.; MATTOSO, L. H. Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n.1, p. 25-32, 2010.

ISHIZAKI, M. H.; VISCONTE, L. L.; FURTADO, C. R.; LEITE, M. C.; LEBLANC, J. L. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 182-186, 2006.

JAWAID, M.H.P.S.; KHALIL, HPS Abdul. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 86, n. 1, p. 1-18, 2011.

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.

MARCON, J.; MULINARI, D. R.; CIOFFI, M. O. H.; VOORWALD, H. J. Estudo da modificação da fibra proveniente da coroa de abacaxi para a formação de compósitos poliméricos. In **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros Unesp**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2009.

MARTINS, Maria Alice. **Fibra de sisal: mercerização, acetilação e aplicação em compósitos de borracha de pneu triturado**. 2001. 141 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MOREIRA, T. M.; SEO, E. S. M. Preparation and characterization of corn reinforced polymer sheet of fibers. **Revista Matéria**, v.21, n.4, p. 1054-1068, 2016.

MULINARI, D. R. Avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos de PEBD reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar. **Cadernos UniFOA**, v.10, n. 1, p. 49-51, 2015.

MUNIZ, Y. S.; SOUSA, T. Y. O.; NETO, C. B.; VIEIRA, K. R. S.; VIEIRA, E. G. S.; REIS, M. G. F. Perspectivas da abacaxicultura no município de São Domingos do Maranhão. **Revista Encontros Regionais de Agroecologia do Nordeste**, v.2, n.1, p.1-4, 2018.

NETO, Flaminio Levy; PARDINI, Luiz Cláudio. **Compósitos Estruturais, Ciência e Tecnologia**, 1 ed., São Paulo, Edgard Blücher, 2006. 313p.

PEREIRA, G. R.; REBELO, S.; WAHRLICH, J.; DA SILVA, F. A.; SIMIONI, F. J. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma unidade de reciclagem de resíduos da construção civil. In **Anais do Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, V.8, N. 8, 2017.

PEREIRA, P. H. F.; ROSA, M. D. F.; CIOFFI, M. O. H.; BENINI, K. C. C. D. C.; MILANESE, A. C.; VOORWALD, H. J. C.; MULINARI, D. R. Vegetal fibers in polymeric composites: a review. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.25, n.1, p. 9-22, 2015.

PIRES, E. N.; MERLINI, C.; AL-QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.22, n.4, p.339-344, 2012.

REIS, J. G. M. D.; VENDRAMETTO, O.; NAAS, I. D. A.; COSTABILE, L. T.; MACHADO, S. T. Avaliação das estratégias de comercialização do milho em ms aplicando o analytic hierarchy process (ahp). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n.1, p. 131-146, 2016.

ROSÁRIO, F.; PACHEKOSKI, W. M.; SILVEIRA, A. P. J.; DOS SANTOS, S. F.; JÚNIOR, H. S.; CASARIN, S. A. Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.21, n. 2, p. 90-97, 2011.

SANCHEZ, E.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.20, n.3, p. 194-200, 2010.

SIPIÃO, B.; PAIVA, R.; GOULART, S.; MULINARI, D. R. Effect of chemical modification on mechanical behaviour of polypropylene reinforced pineapple crown fibers composites. **Procedia Engineering**, V.10, P. 2028-2033, 2011.

SIQUEIRA, Gilberto Antônio de Freitas. **Produção e caracterização de compósitos fenólicos com fibras de sisal modificadas**, 2006. 92f.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

SPINACÉ, M. A. D. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v. 28, n.1, p. 65-72, 2005.

## **ANEXOS**





