



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva**

**PRODUÇÃO DO COMPÓSITO DE FIBRA DE
EUCALIPTO (*EUCALYPTUS*) COM MATRIZ
POLIMÉRICA DE ABS**

**Autor: Willian de Oliveira Domingues
Orientador: Prof. Dra. Rosineide M. Leão**

**Brasília, DF
2019**



WILLIAN DE OLIVEIRA DOMINGUES

**PRODUÇÃO DO COMPÓSITO DE FIBRA DE EUCALIPTO (*EUCALYPTUS*) COM
MATRIZ POLIMÉRICA DE ABS**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof.^a Dra. Rosineide Miranda Leão

**Brasília, DF
2019**

**PRODUÇÃO DO COMPÓSITO DE FIBRA DE EUCALIPTO (*EUCALYPTUS*)
COM MATRIZ POLIMÉRICA DE ABS**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação

De Oliveira Domingues, Willian.

Produção do compósito de fibra de Eucalipto
(*Eucalyptus*) com matriz polimérica de ABS / Willian de
Oliveira Domingues. Brasília: UnB, 2018. 103 p.: il.; 29,5
cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília

Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Prof.^a Dra.
Rosineide Miranda Leão.

1. Compósito. 2. Fibra Lignocelulósica. 3. Tratamento Químico
I. Miranda Leão, Rosineide. II. Doutora.

CDU Classificação



**PRODUÇÃO DO COMPÓSITO DE FIBRA DE EUCALIPTO (*EUCALYPTUS*) COM
MATRIZ POLIMÉRICA DE ABS**

WILLIAN DE OLIVEIRA DOMINGUES

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 12/03/2019 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra.: Rosineide Miranda Leão, UnB/ FGA
Orientador

Prof. Dr.: Marcelo Bento Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Msc.: Luiz Carlos Correia de Jesus
Membro Convidado

Brasília, DF
2019

Esse trabalho é dedicado às crianças adultas que quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho é um esforço conjunto de pessoas que influenciaram direta ou indiretamente para o meu aprendizado e evolução tanto como indivíduo quanto profissional.

Inicialmente, quero agradecer a Deus por toda força que me deu para perseverar nesta longa caminhada e por mostrar sempre que a recompensa seria conquistada não importando as dificuldades. E o agradeço também por colocar pessoas que não somente me ajudaram na vida acadêmica, mas principalmente na vida pessoal.

Agradeço aos meus pais, Luis Carlos e Rosilda que sempre foram exemplos de dedicação e esforço virtudes das quais levo como exemplo para a minha vida. E as minhas irmãs, Laíssa e Lucyane que sempre me apoiaram e nunca me deixaram desistir.

Aos meus amigos da faculdade (Felipe Correa, Pedro Rocha, Lorena Sigurace, Tulyane Migotto) e outros que agora não me recordo agradeço muitíssimo pelo apoio, compreensão e pelos estudos árduos para chegar até este momento, afinal sem ajuda deles não seria possível essa realização. E principalmente, gostaria de agradecer ao meu amigo e irmão, Filipe Antunes Queiroz que sempre me incentivou a ingressar em uma universidade federal e foi exemplo para a minha construção pessoal e acadêmica.

Gostaria de agradecer a minha orientadora, Rosineide Miranda Leão pelo apoio, empenho, ensinamentos e orientação para que eu conseguisse realizar este trabalho.

A Universidade de Brasília gostaria de agradecer por me ajudar a realizar mais essa conquista em minha vida e a todos os professores que participaram para este meu crescimento pessoal e profissional.

O homem é a medida de todas as coisas.
Protágoras.

RESUMO

A grande quantidade de poluição e produção de lixo proporcionaram mudanças significativas para o mundo. A partir disso, existiu a necessidade de procurar novas alternativas que atendessem aos aspectos ambientais, sociais e econômicos, sendo este último bastante importante para a indústria. Os compósitos ganharam grande destaque por sua variedade na aplicabilidade em diversos setores das indústrias, principalmente, no setor automobilístico. Portanto, o objetivo principal deste estudo é avaliar os compósitos de fibra de eucalipto com matriz polimérica de ABS. O principal problema está na qualidade da adesão entre fibra-matriz, tendo como alternativa a utilização de tratamento químico para melhorar a compatibilidade. Para isso, as fibras *in natura* foram tratadas com NaOH 1% (m/v) e comparadas com as fibras *in natura*. Assim, as fibras foram caracterizadas por um conjunto de técnicas (microscopia eletrônica de varredura MEV; espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier FTIR, difração de Raios-X e análises térmicas). E também foram realizadas análises químicas para se determinar os teores de holocelulose e lignina das fibras *in natura* e tratada. Posteriormente, obteve-se por extrusão o compósito de acrilonitrila butadieno estireno (ABS) reforçados com 20% de fibra de *Eucalyptus in natura* e tratada. A partir disso, para os compósitos e o polímero ABS puro foram realizados ensaios mecânicos (tração e flexão) e análise térmica. Os resultados mostraram que a caracterização por MEV mostrou que o tratamento mudou a morfologia das fibras, bem como o aumento da rugosidade da superfície. A análise de FTIR identificou claramente nos espectros, que o pico em 1730 cm^{-1} desaparece com o tratamento químico. Difração de raios-X mostram aumento da cristalinidade das fibras tratadas. As curvas TGA mostraram uma estabilidade térmica semelhante. Os ensaios mecânicos proporcionaram ganhos de resistência à tração para o compósito de fibra de *in natura* 20%/ABS de 23%, para o compósito fibra tratada 20%/ABS de 25% em relação ao ABS puro. Para o módulo de elasticidade à tração foram de 39% para o compósito fibra de *in natura* 20%/ABS e de 38% para o compósito fibra tratada 20%/ABS comparados ao ABS puro. Para a resistência à flexão os valores dos compósitos fibra de *in natura* 20%/ABS de 15% e fibra tratada 20%/ABS de 11% permaneceram superiores em percentual em relação ao ABS puro. E para o módulo de elasticidade à flexão os resultados foram de ganhos, onde o compósito fibra de *in natura* 20%/ABS apresentou 47% e o compósito fibra tratada 20%/ABS de 40% quando comparados ao ABS puro. Desta forma, a utilização do compósito terá um desempenho maior para tração e flexão

Palavras-chave: Compósito, fibras naturais, eucalipto, tratamento alcalino, análise química, análise térmica, TG, DTG, ensaio mecânico

ABSTRACT

The large amount of pollution and litter produced significant changes for the world. From this, there was a need to look for new alternatives that would attend environmental, social and economic aspects, the latter being quite important for industry. The composites have gained great prominence for their variety in the applicability in several sectors of the industries, mainly in the automotive sector. Therefore, the main objective of this study is to evaluate the Eucalyptus fiber composites with ABS polymer matrix. The main problem is in the quality of adhesion between fiber-matrix, having as an alternative the use of chemical treatment to improve the compatibility. For this, the in natura fibers were treated with 1% NaOH (m / v) and compared with the in natura fibers. Thus, the fibers were characterized by a set of techniques (SEM scanning electron microscopy, infrared spectroscopy with Fourier transform FTIR, X-ray diffraction and thermal analysis). Chemical analyzes were also carried out to determine the holocellulose and lignin contents of the fibers in natura and treated. Subsequently, the acrylonitrile butadiene styrene (ABS) composite reinforced with 20% Eucalyptus fiber in natura and treated was extruded. From this, for the composites and the pure ABS polymer, mechanical tests (traction and bending) and thermal analysis were performed. The results showed that the characterization by SEM showed that the treatment changed the morphology of the fibers, as well as the increase of surface roughness. The FTIR analysis clearly identified in the spectra that the peak at 1730 cm^{-1} disappears with the chemical treatment. X-ray diffraction shows increased crystallinity of the treated fibers. TGA curves showed similar thermal stability. Mechanical assays provided tensile strength gains for the 20% ABS / ABS composite of 23% fiber composite, for composite treated fiber 20% / ABS of 25% over pure ABS. For the tensile modulus of elasticity were 39% for the 20% ABS / composite fiber and 38% for the composite treated fiber 20% / ABS compared to the pure ABS. For the flexural strength the values of the composites fiber of 20% in natura / ABS of 15% and treated fiber 20% / ABS of 11% remained higher in percentage in relation to the pure ABS. And for the modulus of elasticity at flexion the results were of gains, where the composite 20% in natura / ABS fiber presented 47% and the composite treated fiber 20% / ABS of 40% when compared to the pure ABS. In this way, the use of the composite will have a greater performance for traction and bending.

Keywords: Composite, natural fibers, Eucalyptus, alkaline treatment, chemical analysis, thermal analysis, TG, DTG, mechanical test

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DA CADEIA LINEAR DA CELULOSE.....	6
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DE DUAS UNIDADES QUÍMICA QUE CONSTITUEM A HEMICELULOSE	7
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DAS UNIDADES QUÍMICAS PRESENTES NA LIGNINA.....	8
FIGURA 4 - COMPOSIÇÃO DO POLÍMERO ABS.....	13
FIGURA 5 - REAÇÃO DAS FIBRAS COM NAOH (MERCEIRIZAÇÃO).....	16
FIGURA 6 - ESPECTROS DA FTIR PARA AS FIBRAS DE <i>EUCALYPTUS IN</i> <i>NATURA</i> E TRATADA	20
FIGURA 7 - COMPORTAMENTO DAS CURVAS DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DAS FIBRAS DE <i>EUCALYPTUS IN NATURA</i> E TRATADA.....	21
FIGURA 8 - MICROGRAFIAS OBTIDAS EM MEV DAS FIBRAS DE <i>EUCALYPTUS</i> <i>IN NATURA</i> (A) E TRATADA (B)	22
FIGURA 9 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS X PARA AS FIBRAS DE <i>EUCALYPTUS</i> <i>IN NATURA</i> E TRATADA.....	23
FIGURA 10 - CURVAS TERMOGRAVIMÉTRICAS PARA O ABS E OS COMPÓSITOS.....	25
FIGURA 11 - CURVAS DE DERIVADA TERMOGRAVIMÉTRICA PARA O ABS E OS COMPÓSITOS.....	25
FIGURA 12 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA O ABS E OS COMPÓSITOS.....	27
FIGURA 13 - VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O ABS E OS COMPÓSITOS.....	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FIBRA DE EUCALYPTUS IN NATURA E TRATADA (% M/M)	24
TABELA 2 - COMPARAÇÃO COM OUTRO TRABALHO DOS VALORES PARA A TRAÇÃO	27
TABELA 3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FLEXÃO DO ABS E OS COMPÓSITOS	29
TABELA 4 - COMPARAÇÃO COM OUTRO TRABALHO DOS VALORES PARA A FLEXÃO	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%m/m: concentração percentual massa por massa
%m/v: concentração percentual massa por volume
°C: grau Celsius (unidade de temperatura)
Å: unidade de medida ångström
ABS: acrilonitrila-butadieno-estireno
ASTM: American Society for Testing and Materials
C=O: grupo da carbonila
cm⁻¹: número de onda
CO₂: Dióxido de carbono
DTG: análise termogravimétrica derivada
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FGA: Faculdade UnB Gama
FTIR: espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
g: grama
h: hora
H₂SO₄: ácido sulfúrico
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICr: índice de cristalinidade
IUPAC: International Union of Pure Applied
KBr: Brometo de potássio
KOH: Hidróxido de potássio
kV: quilo Volt
MEV: microscopia eletrônica de varredura
mg: miligrama
mL: mililitro
mm: milímetro
MPa: mega Pascal
NaOH: Hidróxido de sódio
nm: nanômetro
OH-: Hidroxila
PBT: poli (tereftalato de butileno)
PET: Polietileno tereftalato
pH: potencial Hidrogeniônico
POM: poli (óxido de metileno)
PPS: poli (sulfeto de fenileno)
PTFE: politetrafluoroetileno
SAN: acrilonitrila-estireno
TGA: análise termogravimétrica
Tonset: Temperatura onset
Tpico: Temperatura de pico
UnB: Universidade de Brasília
β-(1-4): ligações glicosídicas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GERAL.....	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3.1 FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS.....	2
3.2 POLÍMERO.....	8
3.3 COMPÓSITOS.....	13
4. METODOLOGIA	15
4.1 MATERIAIS.....	15
4.2 TRATAMENTO QUÍMICO.....	15
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA.....	16
4.3.1 Holocelulose.....	16
4.3.2 Lignina.....	17
4.4 CARACTERIZAÇÃO POR FTIR.....	17
4.5 CARACTERIZAÇÃO POR MEV.....	17
4.6 CARACTERIZAÇÃO POR ANÁLISE TÉRMICA.....	18
4.7 CARACTERIZAÇÃO POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X.....	18
4.8 CARACTERIZAÇÃO POR TRAÇÃO.....	18
4.9 CARACTERIZAÇÃO POR FLEXÃO.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1. TRATAMENTO QUÍMICO.....	19
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR FTIR.....	19
5.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR ANÁLISE TÉRMOGRAVIMÉTRICA.....	21
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR MEV.....	22
5.5 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X.....	22
5.6 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE HOLOCELULOSE E LIGNINA DA FIBRA	
23	
5.7 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR ANÁLISE	
TERMOGRAVIMÉTRICA.....	24

5.8 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM TRAÇÃO	26
5.9 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR RESISTÊNCIA À FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO	28
6. CONCLUSÃO	30
7. REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

As indústrias automotivas sempre foram grandes poluidoras do meio ambiente e essas ações impulsionaram mudanças significativas para a sobrevivência do planeta Terra. A crescente descoberta de novos materiais levou a engenharia produzir e utilizar materiais renováveis ou que agredissem menos ao meio ambiente. A partir disso, a utilização do compósito com matriz polimérica e reforçado com fibra lignocelulósica tornou-se uma boa alternativa para a substituição dos materiais antigos e poluentes.

Os compósitos são feitos por dois ou mais componentes diferentes tanto fisicamente quanto quimicamente e que sua combinação produz um novo material com propriedades mecânicas superiores ou inferiores quando comparados ao componente puro (MIAO; HAMAD, 2013). A fabricação do compósito e a utilização da fibra lignocelulósica como material de reforço cada vez mais está presente nas indústrias aeroespacial, automotiva e etc. Porém, a qualidade do compósito está diretamente relacionada a uma boa adesão entre a fibra e a matriz (SATHISHKUMAR et al., 2013; VALADEZ-GONZALEZ et al., 1999). Um grande problema na fabricação do compósito está na adesão e dispersão entre a matriz e o reforço, onde o mesmo é causado porque o reforço (fibra lignocelulósica) possui características polar e hidrofílicas, enquanto a matriz (polímero) possui característica apolar e hidrofóbico. No entanto, alternativas vem sendo utilizadas para minimizar esse problema, como à aplicação de tratamento químico (NaOH, KOH entre outros) na fibra lignocelulósica (KADDAMI et al., 2006; POCAI et al., 2005).

O polímero ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) trata-se de um termoplástico muito utilizado na confecção dos compósitos e com grande variedade de aplicações, como nos setores automobilístico, eletrônico e eletrodoméstico (DIFALLAH et al., 2012). Este trabalho consiste em uma produção de um compósito com matriz polimérica de ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) e com reforço de fibra lignocelulósica de Eucalipto (*Eucalyptus*) para uma caracterização qualitativa e quantitativa tanto do compósito quanto da fibra através de ensaios.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral produzir e avaliar através de ensaios as propriedades mecânicas obtidas do compósito formado pela matriz polimérica de ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) e de fibra lignocelulósica de *Eucalyptus* tratada e *in natura*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a fibra de *Eucalyptus* por meio de análises (térmica, química, difração de raio x e microscopia eletrônica de varredura).
- Determinar os teores em porcentagem de hemicelulose e lignina da fibra de Eucalipto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS

No Brasil e no mundo existem muitas fibras lignocelulósicas podendo ser transformadas em formas bioenergéticas mais elaboradas e adequadas para sua utilização, por exemplo, bagaço de cana-de-açúcar, algodão, juta, curauá, abacaxi, madeira (*Eucalyptus*), coco, entre outras (ROWELL, 2005). Em especial, os processos térmicos e químicos são considerados os mais eficientes para a utilização das fibras lignocelulósicas (SABA et al., 2014). A elevada variedade de fibras lignocelulósicas geram diferentes propriedades relacionada aos fatores, como composição química, estrutura da fibra interna e dimensões das células. E somado a tudo isso, tem-se as propriedades mecânicas que variam de acordo com a quantidade de celulose em determinado tipo de fibra (CHYRAYIL et al., 2014).

O crescimento celular proporciona a formação da parede primária que está em volta da parede secundária, onde a mesma é envolvida por três camadas (S1, S2, S3). A camada S2 relaciona as propriedades mecânicas das fibras e sua formação acontece por microfibrilas helicoidais em longas cadeias de celulose ordenadas no sentido da fibra (SILVA et al., 2009).

Altos teores de lignina e hemicelulose presentes em determinadas fibras podem dificultar a chegada até a celulose. Em consequência, a separação deste componente é dificultada pelo baixo rendimento da reação, como, o pré-tratamento causado pelos fatores de porosidade do material, cristalinidade da celulose e elevados teores de lignina e hemicelulose (OGEDA; PETRI, 2010; MAURYA et al., 2015).

O primeiro continente a plantar o eucalipto foi o europeu no ano de 1774, e somente no ano de 1854 e por razões de produção comercial iniciou-se os testes com a utilização, principalmente do *Eucalyptus globulus* que havia sido plantado em Portugal por J. M. Eugênio de Almeida e pelo Barão de Massarello (REVISTA DA MADEIRA, 2001).

No Brasil as espécies de eucalipto chegaram em 1904, através de Edmundo Navarro de Andrade, o agrônomo, para fins de produção de dormente para as ferrovias da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (PAINEL FLORESTAL, 2012). As principais espécies plantadas foram o *E. grandis*, *E. saligna*, *E. Viminalis*, *E. urophylla*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, entre outros.

No ano 1965 houve um aumento de 500 mil para 3 milhões de hectares de eucalipto plantado. Isso se deve à lei de incentivos fiscais de reflorestamento (PAINEL FLORESTAL, 2012).

A utilização do eucalipto é bastante variada, por exemplo, produzir tábuas, lambris, sarrafos e vigas, porém a grande parte das florestas plantadas tem seu foco relacionado a geração de celulose e papel, lenha, painéis de madeira e carvão vegetal (SILVA, 2013).

As extensas florestas de eucalipto apresentam grande relevância para o meio ambiente e o aquecimento global, já que por realizar o processo de fotossíntese diminui-se a concentração de CO₂ na atmosfera, e por consequência reduz o efeito estufa.

A adaptação do eucalipto inclui diversas condições climáticas, e para isso o crescimento da espécie necessita de distribuição de chuva e quantidade. Os estados do Brasil onde se concentram as plantações de eucalipto são: São Paulo, Mato Grosso do Sul, Bahia e Minas Gerais.

As propriedades físicas e mecânicas (densidade básica, resistência, elasticidade), químicas (teor de celulose, hemicelulose e lignina) e anatômicas (dimensões das fibras) são dependentes entre si. Com isso, gera-se uma dificuldade para alteração de uma determinada propriedade sem afetar as demais (SHIMOYAMA, 1991).

A espécie *Eucalyptus grandis* caracteriza-se por várias propriedades (madeira versátil) e por diversas finalidades (produção de papel e celulose, painéis de fibras e aglomerado, produto de serraria, combustível industrial e doméstico), além de ser a mais plantada em escala mundial e no Brasil (SOARES, 2009). Outra característica bastante relevante para essa espécie, é que a mesma possui facilidade em se adaptar em todas as regiões do Brasil e potencial plantio em grandes proporções. Além disso, este tipo de eucalipto tem altura entre 25 e 50 metros, tronco de diâmetro largo e ágil crescimento, principalmente nas regiões de clima tropical e temperado, e com um tempo de colheita de aproximadamente de 7 anos. E o reconhecimento do eucalipto pode ser feito pela casca, isso acontece devido aos diversos modelos de texturas e cores. (FOEKEL, 2010).

As cascas de eucaliptos possuem em sua constituição diversos componentes, aos quais são: componentes químicos, óleos, álcoois, ceras, pectinas, açúcares, celulose, resinas, hemicelulose, lignina, entre outros. No entanto, os teores de celulose, hemicelulose e lignina estão direcionados para a produção de celulose e papel (FOEKEL, 2010; SANTOS, 2012). Além disso, as cascas possuem outras finalidades, como: cobertura morta ao solo, adubo, produção de carvão vegetal, produção de combustível, fotoquímicos, entre outros (FOEKEL, 2010).

Entre as diversas aplicações que podem ser realizadas pelas cascas de eucalipto, a compostagem não se destaca como um processo viável, pois possui um tempo muito longo de decomposição da matéria orgânica (SILVA et al., 2013).

A composição principal da biomassa lignocelulósica se dá pela presença de hemicelulose, celulose, lignina e pequenas quantidades de extrativos, proteínas, amido, materiais inorgânicos, pectinas, carboidratos simples, terpenos, alcalóides, saponinas, polifenólicos, gomas, substâncias nitrogenadas, corantes naturais

resinas, gorduras e graxas, onde a quantidade destes componentes mudam de acordo com o tipo de fibras. E aos quais a extração pode ocorrer com água ou solventes orgânicos, dependendo de sua polaridade e solubilidade (KUMAR et al., 2011; VERARDI et al., 2005; LIU et al., 2010; ROWELL, 2005; WOLF, 2011). Porém, a sua constituição pode variar devido a espécie da planta, clima, solo, tempo de colheita, idade, etapa de crescimento e outras condições (QUILHÓ, 2011). O elevado estudo neste tema e sobre estes componentes proporcionam uma aposta para se resolver o problema energético no mundo, bem como a reutilização para se obter novos materiais (VERARDI et al., 2005; BRÍGIDA et al., 2010).

A celulose ((C₆H₁₁O₅)_n) é um polímero em grande abundância no mundo e sua composição química estrutural é linear semicristalina, ou seja, uma grande parte cristalina e uma pequena parte amorfa (PEREIRA, 2012; AGRAWAL et al., 2000). E por se tratar de um biopolímero, houve uma crescente demanda por esses tipos de produtos que proporcionou um aumento e competição devido as suas várias aplicações em diversos setores, por exemplo, etanol, produção de papel, revestimento, aditivos em materiais de construção, produtos farmacêuticos, entre outros (KLEMM et al., 2005). A constituição da celulose é feita por duas moléculas de glicose esterificadas ligadas por ligações β-1, 4-glicosídicas, formando assim a celobiose. A mesma, forma cadeias longas ao qual são interligadas devido a presença de seis hidroxilas (OH) que proporcionam uma ligação intra e intermolecular de hidrogênio, tornando a celulose insolúvel em água e outros solventes orgânicos (SILVA, 2009).

As interações intermoleculares acontecem entre a unidade de glicose e moléculas próximas com o propósito de formar uma parede celular mais rígida. Porém, com outra função de construção das fibrilas e formação das fibras de celulose, as interações intramoleculares ocorrem entre as unidades de glicose (SILVA et al., 2009). As fibrilas caracterizam-se por uma alternância entre as regiões altamente ordenadas (regiões cristalinas) e as menos ordenadas (regiões amorfas). Onde, a região altamente ordenada destaca-se por possuir maior resistência mecânica em relação a região amorfa, e a fibra apresenta uma maior flexibilidade.

As ligações de hidrogênio possuem diferenças que quando formadas influenciam no grau de polimerização, e em consequência produzirá celulose tipo I, II, III, IV, com distintas estruturas cristalinas e microcristalinas. Segundo OH YOUNG et al. (2005) a mudança da celulose I para celulose II está relacionada aos domínios

cristalinos. A partir disso, utiliza-se o tratamento químico com a adição de hidróxido de sódio aquoso (merceirização) na celulose I para se produzir celulose II. E isso é realizado para a construção de filmes de fibras ou através de tratamento ácido. Celulose II é o polimorfo predominante na indústria de processamento de celulose, sendo constituída a partir da regeneração ou merceirização (WYMAN et al., 2005; NISHIYAMA et al., 2003; OUDIANI et al., 2011; MOON et al., 2011; OGEDA; PETRI, 2010).

Uma importante diferença da celulose para os outros componentes trata-se de que a mesma possui maior estabilidade resultantes da degradação (física, mecânica, térmica ou química), ocasionado pela polimerização da celulose e por seu alto grau de cristalinidade (AGRAWAL et al., 2000).

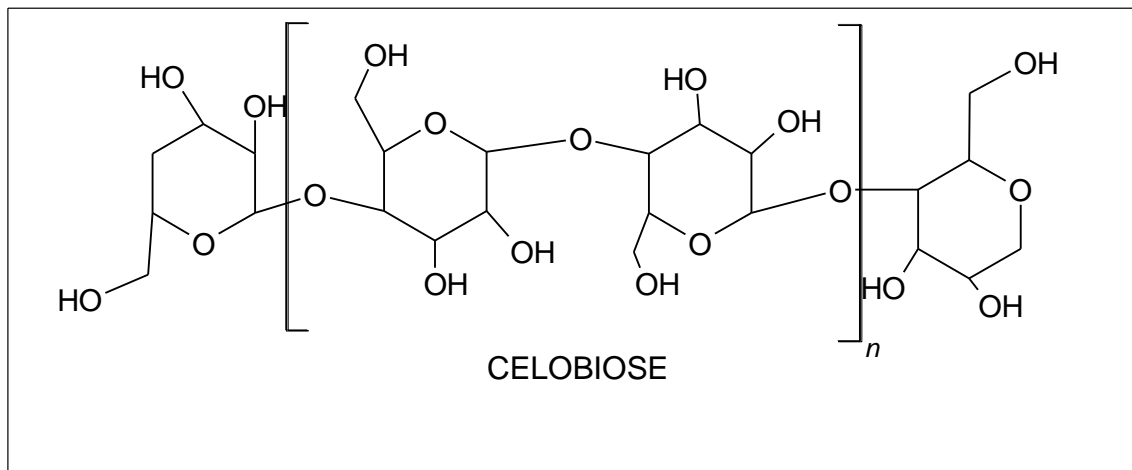


Figura 1 - Representação da cadeia linear da celulose

Fonte: (SILVA et al., 2009) Adaptado.

A hemicelulose, assim como a celulose são polímeros constituídos por unidades de açúcar, porém trata-se de um polissacarídeo amorfo e que possui ramificações (GUPTA e DEMIRBAS, 2010). A hemicelulose é formada por pentoses (xilose e arabinose), hexoses (galactose, glucose e manose) e ácidos urônicos (ácidos 4-O- e resíduos de ácido galactorônico) (PEREIRA, 2012).

Outras características importantes da hemicelulose são que possui baixo grau de polimerização (50 a 300), falta de cristalinidade, configuração irregular e baixa massa molecular que a torna totalmente diferente da celulose (JOHN et al., 2008). E somado a isso, tem-se que a conexão ou ligação entre celulose e lignina é realizada por meio da hemicelulose, ao qual não está relacionada com as propriedades de

dureza e resistência das fibras lignocelulósicas. Além disso, para cada tipo de fibra lignocelulósica (curauá, bagaço de cana, algodão, madeira, entre outras) pode ocorrer variação na estrutura da hemicelulose. Em alguns casos essa estrutura tem por função de segurar a parede celular, através de ligações covalentes com a lignina e com auxílio de pontes de hidrogênio, e em outros casos tem sua utilização como energia extracelular atuando em um mecanismo de contenção de água em sementes e em um sistema de armazenamento de produtos (WYMAN et al., 2005).

A hidroxila e o grupo acetil são estruturas que conferem a hemicelulose uma característica hidrofílica, com isso torna-se solúvel em solução alcali e de fácil hidrólise em ácidos (KUMAR et al., 2011; ROSLI et al., 2013).

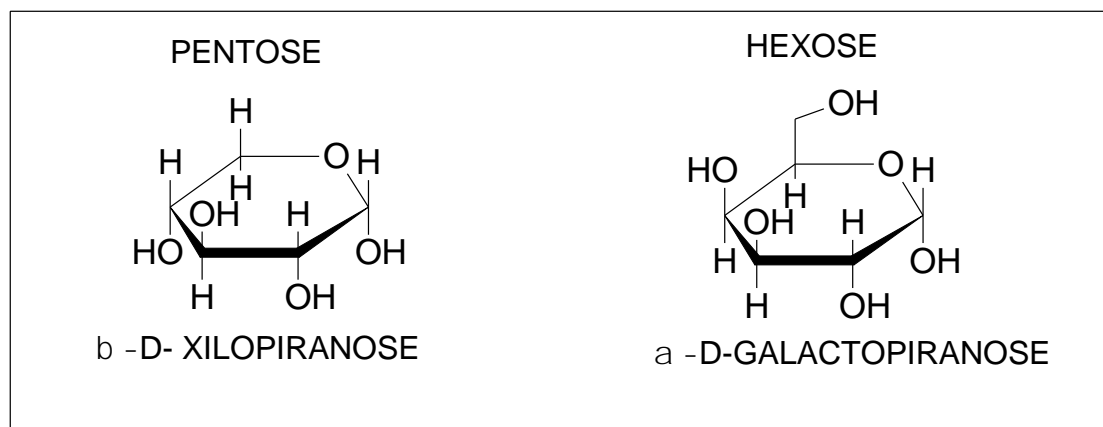


Figura 2 - Representação de duas unidades química que constituem a hemicelulose
Fonte: (PALMQVIST; HAHN-HAGERDAL, 2000) Adaptado.

A lignina é o segundo polímero em maior quantidade da terra e possui a incumbência de unir as células da parede vegetal atuando como conector natural das fibras lignocelulósicas, com isso proporcionando alta rigidez das paredes celulares.

A estrutura da lignina se difere da celulose e da hemicelulose. Trata-se de um polímero reticulado, complexo, tridimensional, de estrutura amorfa e formada a partir de unidades fenólicas (GUPTA; DEMIRBAS, 2010; ROSLI et al., 2013; MADSEN, 2004). Além disso, a sua estrutura também apresenta unidades de fenilpropano ligadas entre si por diversos tipos de ligações (ligações éter, ligações entre átomos de carbono, entre outros) (PÉREZ et al., 2002). A ligação com a celulose e hemicelulose formam a parede celular do material lignocelulósico e essa interação é ampliada devido a existência de ligações covalentes entre as cadeias da lignina e as

constituintes de hemicelulose e celulose com a função de proporcionar rigidez para a estrutura da planta, ao qual está ligada as propriedades mecânicas, flexibilidade, morfologia e na taxa de hidrólise da fibra lignocelulósica (QUILHÓ, 2011; ROSLI et al., 2013). Além disso, a lignina tem uma importante função no transporte de água, nutrientes e também atua no bloqueio do ataque de micro-organismos (FENGEL; WEGENER, 2003).

Segundo Santos et al. (2011) a constituição deste biopolímero se dá por três unidades diferentes da família do éter fenil. A sua complexidade química proporciona dificuldades para sua plastificação e isolamento.

A parede celular é constituída de vários componentes, porém a retirada de lignina, a partir da utilização de tratamentos biológicos e químicos é o mais difícil. Isso se deve a uma elevada adesão entre a lignina e as fibras de celulose.

Estes tipos de tratamentos são aplicados para quebrar estas forças de adesão, com isso permite a máxima retirada de hemicelulose e lignina tornando mais acessível a chegada até a celulose (MARABEZI, 2009).

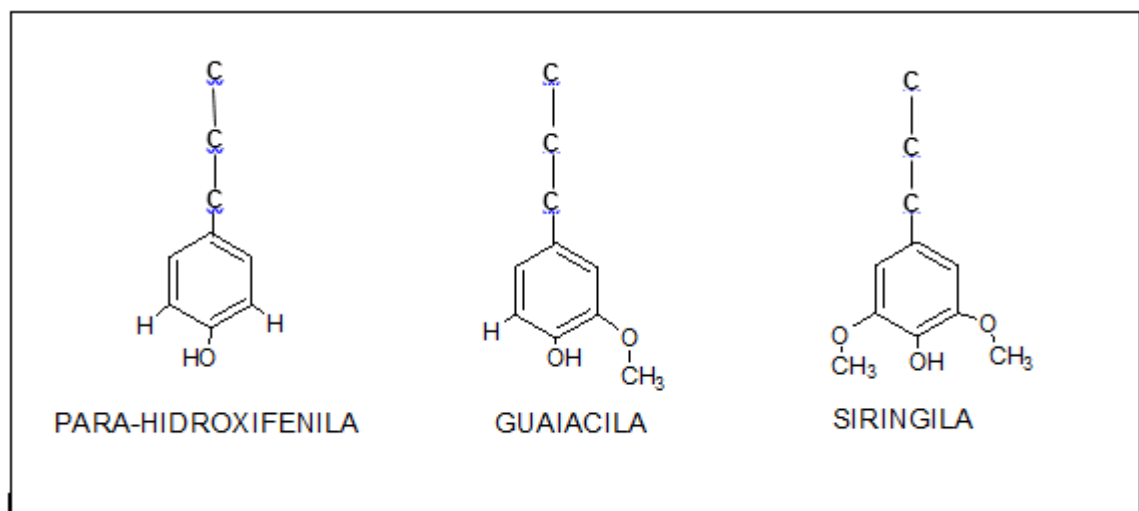


Figura 3 - Representação das unidades químicas presentes na lignina
 Fonte: (SANTOS et al., 2011) Adaptado.

3.2 POLÍMERO

Os polímeros são formados por uma longa cadeia de repetições de meros, unidades químicas iguais podendo ser formado com um tipo de mero (homopolímero) ou formado por dois ou mais tipos de meros (copolímeros), onde os mesmos podem ser de origem sintética ou natural. Segundo a IUPAC (International

Union of Pure Applied) o polímero pode ser caracterizado por várias repetições de um ou mais espécies de átomos ou grupo de átomos que juntos entre si e mesmo que ocorra alterações na massa molar por adição ou remoção de unidades monoméricas não alteram as propriedades gerais (PADILHA, 2000; PIATTI; RODRIGUES, 2005; ZARBIN, 2007; AKCELRUD, 2007; PAOLI, 2008). A classificação dos polímeros está diretamente relacionada tanto com a solubilidade quanto ao processo de fusão e podem ser classificados como termorrígidos e termoplásticos (MANO; MENDES, 1999). A diferença entre eles está principalmente no processo de reciclagem, os termorrígidos ou também chamados de termofixos após passar pelo processo de fusão não podem retornar ao estado físico anterior, ou seja, irreversível e isso acontece devido ao processo de “cura” (tratamento químico) que o mesmo sofre com o surgimento de ligações cruzadas, após a moldagem tornando-se rígido. Além disso trata-se de um polímero infusível e insolúvel. Já para os termoplásticos destacam-se as características de se ter um processo de reversibilidade quanto a fusão e solidificação, ou seja, ocorre uma transformação física e trata-se de um polímero solúvel, fusível e reciclável (MANO; MENDES, 1999; PITT et al., 2011).

Para os termoplásticos em algumas situações específicas utilizam-se aditivos, os quais são: antioxidantes, estabilizantes térmicos, desativadores de metais, fotoestabilizantes, plastificantes, lubrificantes, agentes antiestáticos, retardantes de chama, pigmentos e corantes, modificadores de impacto, agentes de expansão, nucleantes e espumantes que proporcionam melhorias e auxiliam os polímeros em uma determinada aplicação.

Os termoplásticos apresentam algumas vantagens em relação aos termorrígidos, aos quais são: facilidade de moldagem, método simples de processamento e baixo custo de processamento. Porém, existe a restrição de temperatura à 200°C para o processamento do compósito formado pela fibra lignocelulósica, isso ocorre porque altas temperaturas podem degradar termicamente as fibras. Os termoplásticos mais utilizados em trabalhos são: polipropileno, poliestireno, polietileno e poli (vinil cloreto) (SAHEB; JOG, 1999).

Outra característica importante quanto a classificação do polímero está relacionada a sua forma estrutural podendo ser amorfo, cristalino e semicristalino. O primeiro caracteriza-se por ser um polímero com orientação aleatória das moléculas e por ser, geralmente, transparente. O segundo mostra uma orientação ordenada

das moléculas com um agrupamento regular em algumas regiões. Por fim, o terceiro possui partes cristalinas e partes amorfas que proporcionam dureza e resistência. Pode-se ainda surgir regiões cristalinas, através da indução de um “alongamento” das fibras com o intuito do alinhamento molecular.

O ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) em relação aos outros termoplásticos tem poucos trabalhos encontrados na literatura, no entanto sua aplicabilidade é versátil e apresenta boas propriedades e o tornam um material interessante para investigar e avaliar quanto ao comportamento de compósitos de fibras lignocelulósicas em matriz de ABS.

A inserção do polímero na indústria automobilística sempre se deu de forma gradativa, porém nas últimas décadas teve-se um aumento significativo, principalmente por motivos econômicos, tecnológicos e pelas crises do petróleo de 1973 e 1979. Com isso, a partir daí iniciou-se a produção de veículos mais seguros, confortáveis e que consumissem menos combustíveis, porém é preciso ressaltar que somente com o desenvolvimento de polímeros de alto desempenho foi que o plástico passou a ser utilizado de forma significativa nos veículos tornando-se nos dias atuais em maior número de peças fabricadas do que o aço. Um número que pode exemplificar essa mudança na indústria automobilística é que na década de 70 havia em média 30 quilos de polímero e na década de 90 passou a ser de aproximadamente 180 quilos (APC, 1999).

A classificação do polímero se dá pela escala de produção, grau de diferenciação, nível de consumo e valor agregado. Portanto, em linhas gerais os materiais poliméricos classificam-se em três grupos: polímeros para usos gerais (commodities), polímeros para usos específicos (quasi-commodities) e polímeros de alto desempenho (especialidades) e possuem características para sua fabricação. Os commodities são produzidos em larga escala, possuem baixo valor agregado, não tem diferenciação, grande consumo e utilização gerais. O quase-commodities também é produzido em larga escala, no entanto em menor nível em relação as commodities e com propriedades específicas para uma determinada aplicação. Os polímeros de alto desempenho caracterizam-se por uma produção em pequena escala e elevado valor agregado.

Alguns exemplos para este grupo dos commodities são: polietilenos, polipropileno, poli (cloreto de vinila) e o poliestireno. O quase-commodities são: PET, poliamidas, ABS, SAN, poliuretanos e policarbonatos. E os polímeros de alto

desempenho são: poli (óxido de metileno) (POM), politetrafluoroetileno (PTFE), poli (tereftalato de butileno) (PBT), poli (sulfeto de fenileno) (PPS) e polímeros líquido-cristalinos.

O surgimento de uma indústria de polímeros no Brasil aconteceu de fato na década de 70, onde criou-se uma empresa com partes em iniciativa pública e privada tendo a empresa estrangeira como dona da tecnologia a ser utilizada. Na década de 90 houve grandes privatizações e fusões de grandes empresas.

Segundo Hemais et al (1999), mostram que as empresas no Brasil não obtiveram grandes investimentos, principalmente na parte de inovação tecnológica, por causa das expressivas oscilações do cenário econômico e do período forte de transição. No entanto, houve uma grande capacitação das empresas brasileiras relacionadas a fabricação de polímeros commodities e quasi-commodities. Em relação aos polímeros de alto desempenho ocorre a importação, pois o Brasil não possui a tecnologia para fabricar e mesmo com sua fabricação em pequena escala não se justifica devido ao elevado custo econômico.

A utilização cada vez maior do polímero na indústria automobilística está diretamente relacionada ao prevalecimento de suas vantagens, as quais são: confiabilidade, maior flexibilidade de projeto, economia na produção, baixa densidade e redução do consumo de combustível, redução da emissão de CO₂, redução do tempo de produção, aumento de resistência à corrosão, possibilidade de designs mais modernos, formatos mais complexos, veículos mais silenciosos, melhor uso de espaço e aumento de segurança. Em relação as próprias desvantagens que são: deterioração por ação térmica e ambiental, inflamabilidade, baixa resistência ao impacto, deformação permanente elevada, dificuldade de adesão de película de tinta, facilidade de manchas permanentes e baixa estabilidade dimensional (APME, 1999).

O polímero ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) tem sido utilizado como matriz na fabricação de compósitos por possuir grande aplicabilidade na indústria automotiva em peças sujeitas a grandes esforços mecânicos, eletrodomésticos e eletrônicos. Já o copolímero acrilonitrila e o estireno (SAN) correspondem a peças de alta transparência ao qual podem entrar em contato com alimentos (copos de liquidificadores, partes internas do refrigerador) (DIFALLAH et al., 2012; SANTOS et al., 2010). Este polímero é conhecido como um terpolímero por ser formado por três monômeros e sua obtenção pode ser feita pelo processo mecânico, químico ou

copolimerização por enxertia (grafitização) (SIMIELLI; SANTOS, 2010). Em um exemplo este polímero ABS pode ser produzido por polimerização em emulsão, polimerização em massa ou pela combinação de ambos processos. Neste caso, os copolímeros acrilonitrila e o estireno (SAN) se destacam como os principais componentes do ABS. Em outro caso devido a produção separada de borracha (butadieno) e a matriz de acrilonitrila e o estireno (SAN) proporcionam uma vantagem, pois as propriedades específicas de cada componente podem ser controladas individualmente. A polimerização em massa começa por uma base de borracha feita separadamente. Em seguida este composto é produzido em um processo contínuo em várias etapas e com uma limitação de 20% em peso para o índice de borracha devido a sua viscosidade. A utilização do ABS é muito divulgada devido a sua aparência, pois aceita na sua superfície aplicação de hot *stamping* e *silk screen*, podendo ser cromado e metalizado (SIMIELLI; SANTOS, 2010).

Os monômeros acrilonitrila, butadieno e o estireno constituem o ABS e as suas propriedades específicas. O estireno compreende entre 40 a 60% em quantidade e sua obtenção está relacionada com a desidrogenação do etilbenzeno, um hidrocarboneto aromático, produzido pela reação do etileno com benzeno proporcionando brilho, rigidez e facilidade no processamento, a acrilonitrila possui entre 15 a 35% e é produzida pelo amoníaco e o hidrocarboneto propileno gerando um monômero sintético, já o butadieno compreende entre 5 a 30% a partir da desidrogenação do butano transformando em alceno e permite resistência ao impacto e tenacidade à baixas temperaturas (DIFALLAH et al., 2012; SIMIELLI; SANTOS, 2010; SIMÕES JR. et al., 2014). Segundo Carvalho (2009), existem duas fases para o ABS, na qual para o copolímero acrilonitrila e o estireno (SAN) é a fase contínua ou chamada de matriz onde encontra-se dispersa a fase elastomérica do butadieno. E para garantir a compatibilidade entre estas duas fases tem-se uma camada de acrilonitrila e estireno (SAN) enxertado (*grafting*) na superfície da fase butadieno. A existência da fase elastomérica (butadieno) ao qual é sensível a degradação termo oxidativa ocasiona um fator importante no desempenho final do ABS, isto ocorre porque sua degradação gera uma diminuição na aderência com a matriz acrilonitrila e o estireno (SAN). Com isso, pode-se aparecer um concentrador de tensões, ao qual diminui sua resistência ao impacto e, portanto, sua tenacidade. Segundo Yang et al (2004), outra característica importante analisada ocorre com a perda dos componentes do ABS em três temperaturas diferentes, sendo acrilonitrila

a 400°C, o butadieno a 340°C e o estireno a 350°C. Segundo Simões Jr. et al (2014), o ABS apresenta propriedades que estão diretamente relacionadas com cada propriedade específica de cada monômero que o constitui e que juntos geram: alta dureza, baixa absorção de umidade, brilho superficial, estabilidade dimensional, boa resistência térmica e química, baixa concentração de moldagem, boas propriedades dielétricas e boa resistência ao impacto e a tração e módulo de elasticidade de -40°C até 150°C.

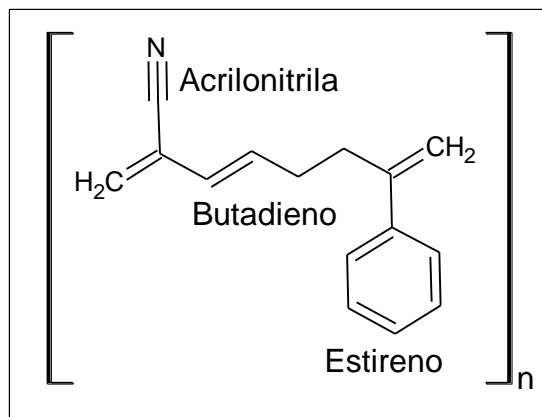


Figura 4 - composição do polímero ABS
 Fonte: (KONTTURI et al., 2005) Adaptado

3.3 COMPÓSITOS

Os compósitos estão presentes em diversos materiais, como: dentes, ossos e a madeira, onde os mesmos são chamados de compósitos naturais (HARRIS, 1999). O compósito dispõe-se de duas fases diferentes chamadas de matriz e reforço, sendo a primeira conhecida como fase contínua e a segunda como fase dispersa, podendo se inserir também agentes compatibilizantes como materiais adicionais (NETO; PARDINI, 2006; BARTON et al., 2014). Para o caso da fase dispersa a sua utilização na fabricação do compósito deve proporcionar um melhoramento da resistência mecânica e rigidez, caso contrário gera somente carga para o compósito (NETO; PARDINI, 2006).

A matriz tem a função de proporcionar tensão entre as fibras e a qualidade da interface e a conexão fibra-matriz está diretamente relacionada por uma boa transferência da tensão gerada na matriz para o material de reforço. Outra qualidade da matriz é a proteção da superfície da fibra e a proteção contra os empecilhos do meio externo (HARRIS, 1999; TAJ et al., 2007; MÜLLER et al., 2007). Já o material

de reforço auxilia para o melhoramento das propriedades complementares do material (BARTON et al., 2014).

A classificação do compósito está diretamente relacionada com o tipo de matriz escolhida podendo ser de metal, cerâmica e polímero, sendo este último o mais utilizado na indústria (TAJ et al., 2007; MIAO e HAMAD, 2013). Já o material de reforço pode ser constituído por fibras, bastonetes, plaqueta, lâminas e na forma de partícula (PADILHA, 2000). As combinações entre fibra e matriz podem ser feitas de diversas formas, porém a escolha da matriz deve-se ter o cuidado quanto ao meio de aplicação do compósito e para a fibra, o cuidado quanto a garantia das suas propriedades mecânicas de resistência, durabilidade e rigidez. Em relação a própria fibra quanto a sua disposição, orientação e concentração no compósito e outros aspectos importantes como adesão, interfase e a interface entre matriz e reforço influenciam diretamente nas propriedades finais do compósito (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2008; RAYMUNDO et al., 2012; LOPES, 2017).

Os compósitos quando bem estruturados e planejados a partir de seus materiais promovem ao final do processo propriedades específicas e também podem atender requisitos econômicos e ambientais, tornando assim essa combinação melhor do que a utilização desses materiais de forma individual (CASARIL et al., 2007; KUMAR et al., 2014).

A fabricação dos compósitos em sua maioria se dá pela presença de fibras com elevada resistência como vidro, carbono, aramida e matrizes poliméricas. Porém, essas fibras possuem algumas desvantagens, como: elevado consumo de energia para sua obtenção, não são recicláveis, não são renováveis, não são biodegradáveis e risco para a saúde quando inaladas (CHEUNG et al., 2009). A mudança para as fibras naturais como material de reforço para a confecção do compósito possui vantagem para o aspecto ambiental, além de possuir diversas aplicações, como nos setores: aeroespacial, automotivo, construção civil, embalagens, entre outros (KUMAR et al., 2014).

A indústria cada vez mais tem se interessado por pesquisas na área de novos materiais e o exemplo mais crescente são os compósitos formados pela matriz polimérica reforçados com fibras naturais. Para isso, vários tipos de fibras naturais estão sendo estudadas para sua aplicação como material de reforço para a confecção do compósito com matriz polimérica, por exemplo, kenaf, cânhamo, algodão, sisal, juta, abacaxi, banana, bambu, madeira, entre outros (KUMAR et al.,

2014). Segundo Faruk et al. (2012), o elevado desempenho do compósito está relacionado ao conhecimento das características das fibras naturais. Pois, esse melhoramento está relacionado a diversos fatores, como: dimensões da célula, estrutura, defeitos, composição química das fibras, propriedades físicas e mecânicas e a interação da fibra com a matriz.

4. METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

As fibras de *Eucalyptus* utilizadas neste trabalho são provenientes do IBAMA, disponibilizadas na forma *in natura* e em lascas de 2-3 cm. O polímero utilizado como matriz para a produção dos compósitos foi o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) AF3500 Tairilac ABS de alta fluidez da empresa Flamel Polímeros, indicado para aplicação em eletrônicos, brinquedos, eletrodomésticos e puxadores de portas de geladeira.

4.2 TRATAMENTO QUÍMICO

Inicialmente as fibras foram mercerizadas em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 1% (m/v). As fibras foram imersas na solução de NaOH na proporção de 100:2 (solução: fibra), a 80°C durante 1 hora e com agitação manual realizado por um bastonete. Posteriormente ao tempo de reação, as fibras foram lavadas com água destilada até a neutralização do pH e secas em estufa durante 24 horas a 105°C. Com isso, realizou-se a pesagem das fibras tratadas antes (169,3088g) e depois (152,1937g) da secagem na estufa gerando um rendimento de 89,89%. A Figura 5 representa as reações das fibras lignocelulósicas com hidróxido de sódio (NaOH).

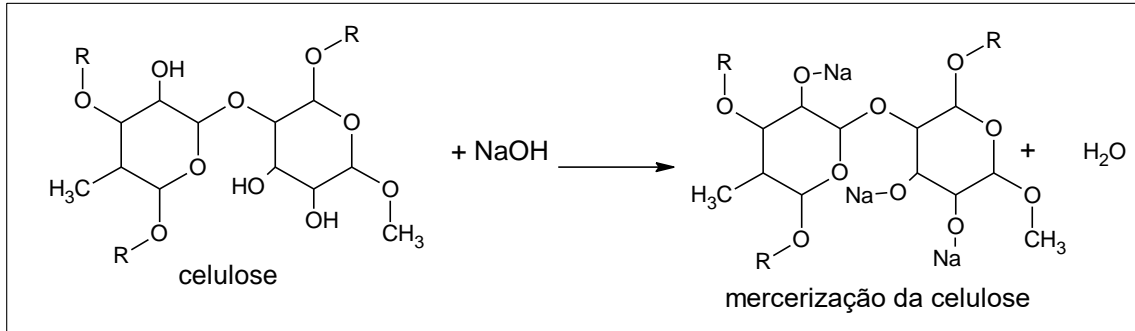


Figura 5 - Reação das fibras com NaOH (mercerização)
Fonte: (MAZZUCO, 2012) Adaptado

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA

4.3.1 Holocelulose

Em Erlenmeyer de 500 mL colocou-se cerca de 3 g de fibra de eucalipto, uma barra magnética para agitação e 120 mL de água destilada. Adicionou-se no Erlenmeyer 2,5 g de clorito de sódio com pureza de 80% e 1 mL de ácido acético glacial com pureza $\geq 99,85\%$. A amostra mais os reagentes foram fechados com rolha de plástico e colocados em banho de glicerina por uma hora à temperatura constante de $70 \pm 2^\circ\text{C}$. Ao fim deste tempo, adicionou 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético glacial. Aguardou por mais uma hora e acrescentou uma nova etapa de 2,5 g de clorito de sódio e 1 mL de ácido acético glacial, continuou com o aquecimento em banho de glicerina por mais 3 horas, totalizando no final 5 horas de aquecimento. Após este tempo, colocou este material em banho de gelo por 30 minutos. Em seguida, filtrou e lavou (até pH neutro). Utilizando a metodologia da ASTM 2, o conjunto foi levado à estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ por 18 horas. O teor de holocelulose foi calculado conforme a equação.

$$\text{HOLOCELULOSE (TH\%)} = \frac{\text{MFC} - \text{MF}}{\text{MA}} \times 100 \quad (1)$$

Onde MFC é a massa do funil seco + holocelulose, MF, massa do funil seco; MA, massa da amostra e TH é o teor de holocelulose.

4.3.2 Lignina

Aproximadamente 1 g de amostra seca, foi colocada em um almofariz e adicionou 17 mL de uma solução de H₂SO₄ a 72% (m/m) e resfriou de 10 a 15°C. Após 15 min de agitação com pistilo, aguardou-se por 24 horas. Em seguida, adicionou-se 306 mL de água destilada e os reagentes foi transferido para um balão de fundo redondo de 500 mL acoplado a um condensador simples, e foi mantido sob aquecimento e refluxo por 4 h. Com isso, as fibras foi então filtrada, lavada (até pH neutro) e levada à estufa a 105 ± 2°C por 3 horas com base na norma ASTM tipo C. O cálculo do teor de lignina segue a equação abaixo.

$$\text{LIGNINA (TL\%)} = \frac{\text{MFC} - \text{MF}}{\text{MA}} \times 100 \quad (2)$$

Onde MFC é a massa funil seco + massa da lignina, MF, massa funil seco; MA, massa da amostra e TL é o teor de lignina.

4.4 CARACTERIZAÇÃO POR FTIR

As fibras foram secas para posteriormente produzir as pastilhas de KBr. Utilizou-se um espectrofotômetro Nicolet iS10 da Thermo Scientific, disponível na Faculdade do Gama/UnB (Laboratório de Análise Instrumental). As amostras foram analisadas na região do infravermelho entre 4000 - 400 cm⁻¹ com intervalos de 4 cm⁻¹ e 64 scans.

4.5 CARACTERIZAÇÃO POR MEV

Inicialmente as fibras e as superfícies fraturadas dos compósitos foram fixadas em um suporte através de fita de carbono para o revestimento metálico de platina com espessura de 8 nm sob atmosfera de argônio, utilizando o equipamento da marca Balzers modelo SCD 050 Sputter Coater (máquina de recobrimento). Em seguida, analisou-se as fibras e as superfícies dos compósitos utilizando um

microscópio da marca JEOL modelo JSM – 7001F, disponível no Departamento de Biologia (Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UnB). Utilizou-se o detector de elétrons secundários operado a uma tensão de 15 kv.

4.6 CARACTERIZAÇÃO POR ANÁLISE TÉRMICA

As fibras e os compósitos foram analisadas em um analisador térmico simultâneo da marca TA Instruments, disponível na Faculdade do Gama/UnB (Laboratório de Análise Instrumental). As amostras de 10-20 mg foram colocadas em um cadinho de alumina e analisadas na razão de aquecimento de 10 °C/min⁻¹ de temperatura ambiente a 600°C sob atmosfera de nitrogênio (fluxo de 100 mL.min⁻¹).

4.7 CARACTERIZAÇÃO POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X

As fibras foram analisadas em um difratômetro da marca RIGAKU modelo ULTIMAIV, disponível no Departamento de Geologia (Laboratório de DRX) no modo de reflexão com um ângulo incidente de 1.54 Å, radiação de CuK α , sob 2 θ de 5 a 50° e velocidade de varredura 3°/min. Com auxílio do difratograma determinou-se o índice de cristalinidade das amostras. E o método escolhido foi o empírico Segal et al., (1959) utilizado para se determinar o índice de cristalinidade das amostras ICr, como segue na equação abaixo:

$$ICr (\%) = \frac{I_{200} - I_{AM}}{I_{200}} \times 100 \quad (3)$$

Onde: I₂₀₀: intensidade do pico cristalino; I_{AM}: intensidade do pico amorfo e ICr é índice de cristalinidade.

4.8 CARACTERIZAÇÃO POR TRAÇÃO

Os corpos de prova foram analisados em equipamento EMIC DL 2000 da Universidade de Caxias do Sul (Laboratório de polímeros, equipado com garras pneumáticas, sob velocidade de 2 mm.min⁻¹. Utilizou-se no mínimo cinco corpos de prova para a análise do compósito e com dimensões baseadas na norma ASTM D

638 (2003), com 160 mm de comprimento, 13 mm de largura e 2,7 mm de espessura.

4.9 CARACTERIZAÇÃO POR FLEXÃO

Os corpos de prova para os ensaios de flexão foram realizados sob a velocidade de $1,5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (disponível na Universidade de Caxias do Sul – Laboratório de polímeros). Utilizou-se no mínimo de cinco corpos de prova para a análise do compósito e com dimensões baseadas na norma ASTM D 790 (2003), com 130 mm de comprimento, 13 mm de largura e 6,0 mm de espessura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. TRATAMENTO QUÍMICO

A fibra lignocelulósica antes de um tratamento químico, ou seja, *in natura* é composto por substâncias como: ceras, óleos, lignina, hemicelulose e pectina ao qual geram uma camada externa para proteção da celulose. A partir do tratamento químico essas substâncias, em geral como: não-celulósicas e a cera superficial são removidas. Neste trabalho, utilizou-se a merceirização para melhorar a adesão entre fibra e matriz (FENGEL; WEGENER, 2003).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR FTIR

De acordo com a literatura este tratamento químico retira gordura, cera e extrativos da superfície das fibras, e para determinado tipo de processo alcalino pode-se extrair lignina, hemicelulose e pectina (LE TROEDEC et al., 2008; SUN et al., 2005). Como mostrado na Figura 6 e segundo Yang et al. (2007) as bandas espectrais referentes à celulose são $3400 - 3200$ e 1050 , a lignina são em três bandas: 1270 , $1430 - 1470$, $1450 - 1630$ e a hemicelulose possui a banda $1765 - 171 \text{ cm}^{-1}$. Com isso, pode-se observar tanto para o espectro da fibra *in natura* quanto da fibra tratada que os mesmos iniciam com dois picos, devido à absorção de uma banda próximo a 3500 cm^{-1} pelo grupo OH-, por causa da sua constituição axial (KLEMM, 2011). Outro pico corresponde à alteração axial assimétrica de C-H que

está relacionada aos materiais orgânicos e possuem uma banda aproximadamente de 2890 cm^{-1} que acontecem devido à vibração do alongamento C–H saturada alifática para o conjunto lignina/polissacarídeos (HUBBE et al., 2008).

A banda na região de $1030 - 1050\text{ cm}^{-1}$ estão relacionados aos carboidratos, incluindo C-O-C e estiramento C-O (grupos hidróxidos primários e secundários) e conexões pertencentes à ligação glucosídica e possivelmente à lignina, pois a mesma possui grupos hidroxifenil, guaiacil e siringil, que são compostos OH aromáticos. O pico para a fibra *in natura* na banda de 1740 cm^{-1} é devido a presença do grupo da carbonila C=O na estrutura da fibra *in natura* e estão relacionadas aos grupos acetil e éster urônico das hemiceluloses ou do éster, ligação do grupo carboxílico dos ácidos ferúlico e p-coumérico de lignina e ou hemiceluloses (ALEMDAR & SAIN, 2008; CHERIAN et al., 2008). Este pico nesta região para as fibras tratadas reduziu, confirmando assim, a remoção parcial da hemicelulose e da lignina. Já para a banda entre $1250-1056\text{ cm}^{-1}$ é devido ao C–O, um alongamento de vibrações de álcoois primários e secundários alifáticos em celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos (EL-ZAWAWY, 2006). E por fim, o pico para a banda de 897 cm^{-1} está relacionado com as ligações glicosídicas do anel de glicose da celulose (GANÁN et al., 2004).

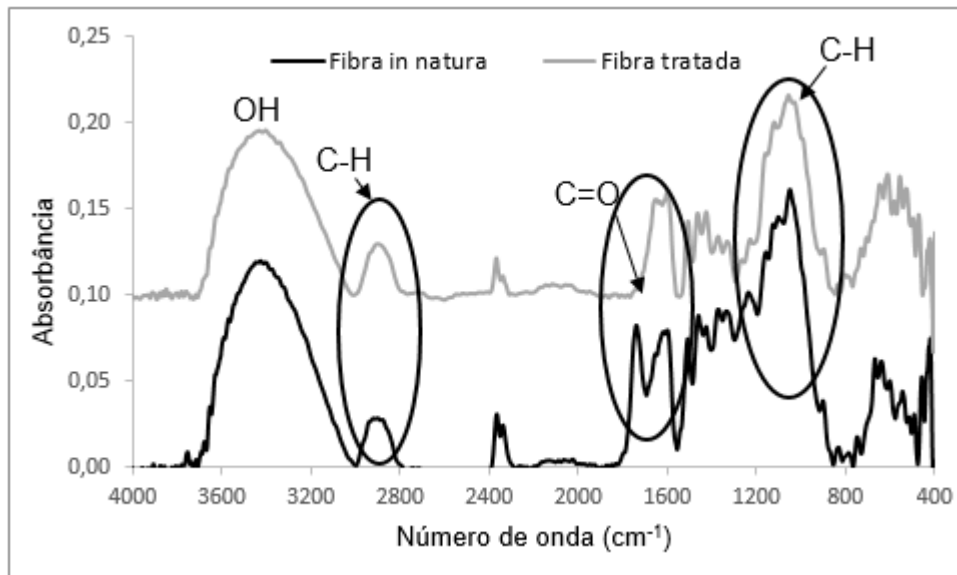


Figura 6 - Espectros da FTIR para as fibras de *Eucalyptus in natura* e tratada

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR ANÁLISE TÉRMOGRAVIMÉTRICA

A Figura 7 mostra as curvas de TGA/DTG tanto para a fibra *in natura* quanto para a fibra tratada e observa-se uma perda de massa próximo a 100°C, ao qual pode ser explicado pela evaporação da água. Já a estabilidade térmica das fibras *in natura* e tratada ficou em uma faixa de temperatura bem próxima à 241°C. Os resíduos resultantes após as análises da fibra *in natura* e fibra tratada (temperatura máxima de 600°C) ficaram em torno de 24-30%, os resíduos aumentam de acordo com os tratamentos. Vários fatores podem alterar as quantidades de resíduos, tais como, baixa temperatura; a natureza altamente cristalina da celulose entre outros (ROMAN; WINTER, 2004).

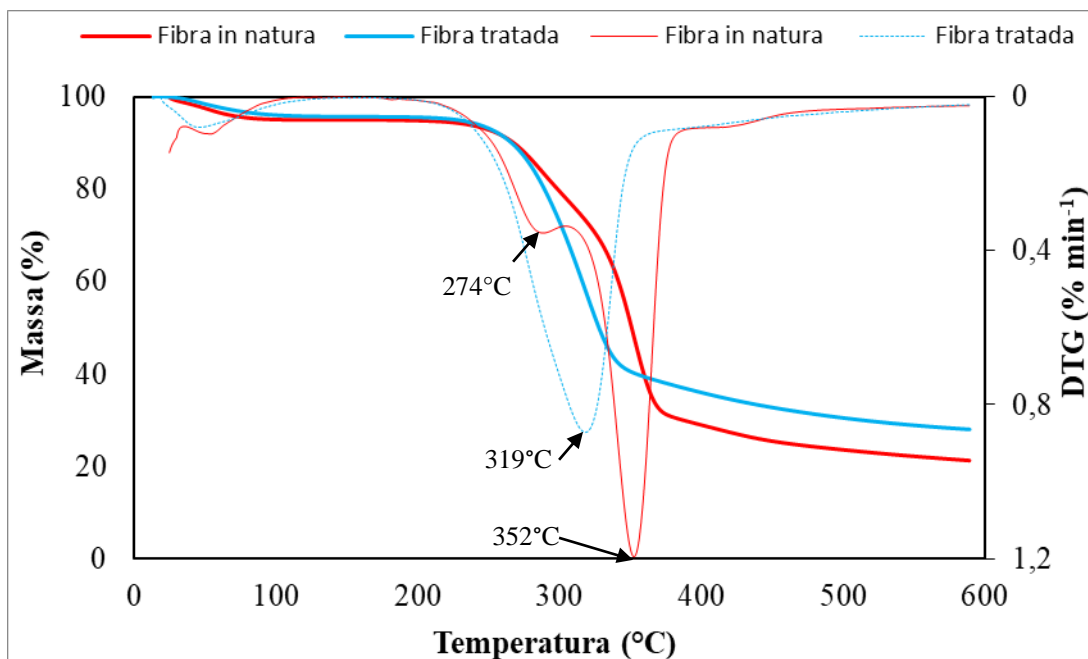


Figura 7 - Comportamento das curvas de degradação térmica das fibras de *Eucalyptus in natura* e tratada

Relacionado a Figura 7 as curvas de DTG para a fibra *in natura* tem-se as temperaturas de T_{onset} de 250 e 311°C e temperaturas de T_{pico} de 274 e 352°C. Já para a fibra tratada as temperaturas são de T_{onset} de 240°C e T_{pico} de 319°C.

Segundo Moran et al. (2008), com uma atmosfera de gás inerte os componentes hemicelulose e lignina são os primeiros a começar se degradar, em torno de 200°C, com a lignina insistindo até 700°C e a hemicelulose à 315°C. Já a celulose degrada-se entre 315°C à 400°C.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR MEV

As análises a partir do microscópio eletrônico de varredura permitiram analisar alguns aspectos morfológicos das fibras. As micrografias das fibras *in natura* na Figura 8 (A) mostram as superfícies rugosas das fibras. Segundo a literatura, as fibras *in natura* são cobertas por camadas de ceras, partículas globulares, pectinas e extrativos, além dos constituintes amorfos como lignina e hemicelulose (FENGEL; WEGNER, 2003). As micrografias das fibras tratadas na Figura 8 (B) mostram os vasos na fibra lignocelulósica e os anéis danificados da extremidade das células de parênquima ou traqueídeos.

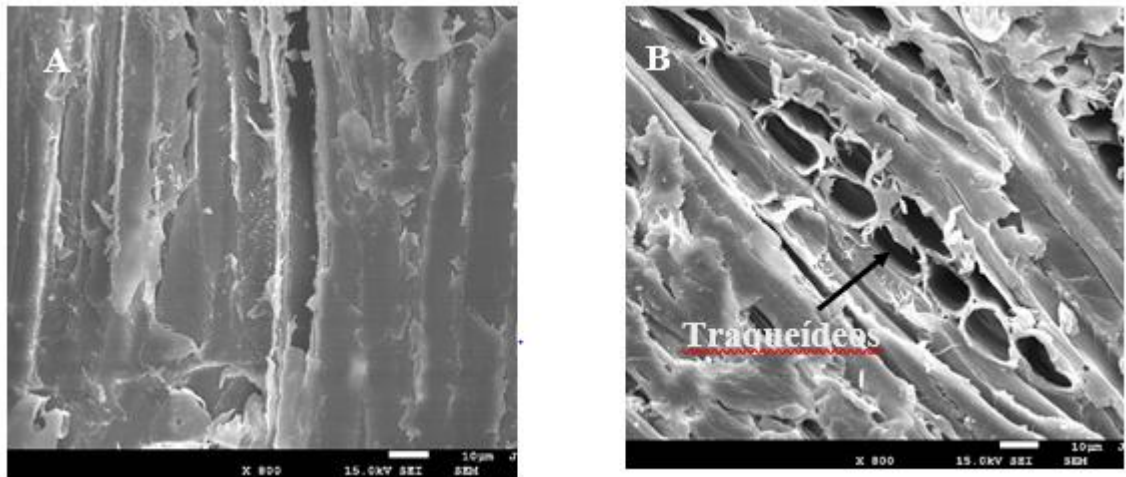


Figura 8 - Micrografias obtidas em MEV das fibras de *Eucalyptus in natura* (A) e tratada (B)

5.5 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X

Conforme a Figura 9, tanto para a fibra *in natura* quanto para a fibra tratada existiram dois picos apresentando valores de $2\theta = 16^\circ$ e $2\theta = 22^\circ$. A partir disso, pode-se afirmar que a estrutura é típica de celulose I. Segundo a literatura, a celulose extraída do *Eucalyptus* pode ser considerada como uma estrutura cristalina

típica de celulose I (ZHOU et al., 2012; ZAINI et al., 2013; ROSA et al., 2012; KARGARZADEH et al., 2012; LIU et al., 2010; SANTOS et al., 2013; SILVERIO et al., 2013; HUG et al., 2012; GUIMARÕES et al., 2009). Segundo MA et al. (2011), os picos característicos da celulose I são os de $16,39^\circ$ e $22,53^\circ$ e para a celulose II os picos são de $19,8^\circ$ e 22° . A principal diferença entre a celulose I e II está relacionada às ligações de hidrogênio entre as cadeias, ao qual influenciam no grau de polimerização que proporcionará celulose do tipo I, II, III, IV, com distintas estruturas cristalinas e microcristalinas. Com isso, não se obteve celulose II para este trabalho. Pode-se notar também um pico mais intenso em $2\theta = 22^\circ$ devido a uma quantidade de celulose cristalina característico da fibra de madeira (*Eucalyptus*) em relação as outras fibras naturais. A partir da equação 4, foi possível determinar o índice de cristalinidade da fibra in natura em torno de 43% e tratada em torno de 45%, mostrando um aumento em torno de 2%, isso acontece devido a concentração de hidróxido de sódio (NaOH).

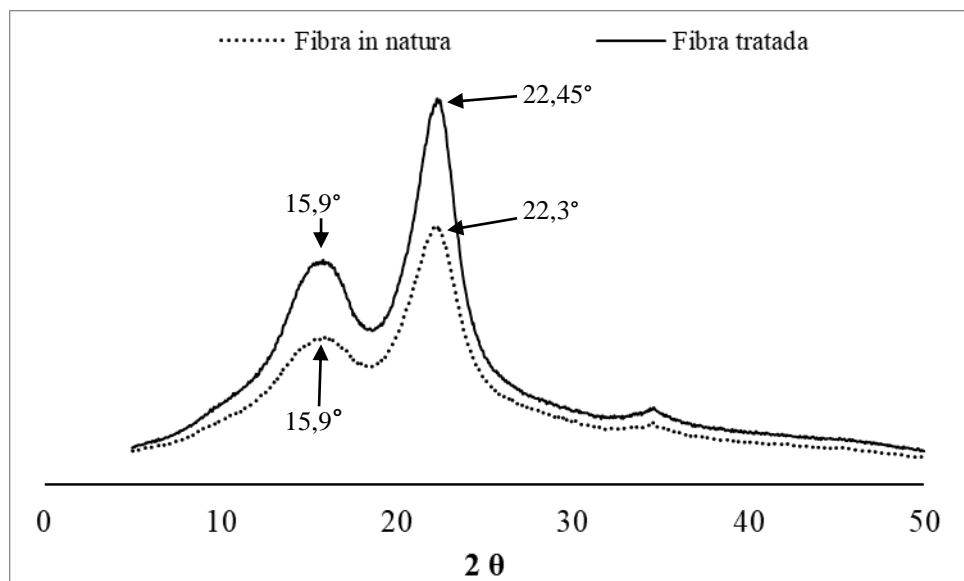


Figura 9 - Difratogramas de raio X para as fibras de *Eucalyptus in natura* e tratada

5.6 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE HOLOCELULOSE E LIGNINA DA FIBRA

A caracterização química realizada englobou os seguintes teores: holocelulose e lignina. A holocelulose é composta por hemicelulose, celulose degradada e celulose cristalina que corresponde a alfacelulose, proporcionando um teor de carboidratos estruturais totais das fibras. A lignina atua como um conector entre a celulose e a hemicelulose gerando uma adesão e união entre as fibrilas da

fibra. A Tabela 1 representa a caracterização química da fibra de *Eucalyptus in natura* e tratada com hidróxido de sódio (NaOH).

Tabela 1 - Caracterização química da fibra de *Eucalyptus in natura* e tratada (% m/m)

Fibra	Holocelulose	Lignina
<i>Eucalyptus in natura</i>	60,79	28,28
<i>Eucalyptus</i> tratada	64,71	27,34

A partir da Tabela 1 percebe-se que o tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH) utilizado foi eficiente na remoção de hemicelulose e lignina da fibra tratada, promovendo um valor superior do teor de holocelulose quando comparado com a fibra *in natura*.

Quando se aplica o processo de merceirização na fibra ocorre no material final um aumento do teor de alfacelulose (celulose cristalina). Isso acontece devido a solubilização da maior parte da hemicelulose e o inchaço da estrutura cristalina celulósica proporcionado pelo hidróxido de sódio (NaOH). Pode-se notar na Tabela 1 que houve pouca retirada de lignina insolúvel da fibra tratada em comparação com a fibra *in natura*, comprovando assim o aspecto conectivo da lignina segundo o trabalho de Jesus (2014). Uma característica específica da lignina em pequenas quantidades pode ser sua atuação como agente compatibilizante em compósitos de matriz polimérica, considerando o fato de se não conseguir remover completamente a lignina da fibra. Desta forma, observa-se que à aplicação da fibra tratada em compósitos de matriz polimérica pode gerar melhores resultados. Além do mais, o processo de merceirização com hidróxido de sódio (NaOH) possui a função de atacar os componentes amorfos da estrutura, mostrando assim eficiência na retirada dos componentes amorfos da fibra de *Eucalyptus* (ORUE et al., 2016).

5.7 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A partir das Figuras 10 e 11 pode-se observar, que somente o ABS puro possui um estágio de degradação, os demais compósitos possuem dois estágios de degradação.

Com relação aos compósitos fibra *in natura* 20%/ABS e fibra tratada 20%/ABS, a degradação inicia-se na fibra de *Eucalyptus*, ao qual constitui o

compósito, em um intervalo de temperatura inicial e final entre 263 – 373 °C com T_{pico} de aproximadamente 361 °C, a segunda etapa está diretamente ligada à degradação do polímero ABS em uma faixa de temperatura entre 366 – 478 °C com T_{pico} de aproximadamente 417 °C.

As temperaturas de T_{onset} e T_{pico} para o ABS puro foram de 369 °C e 420°C, respectivamente. Estes valores do ABS puro foram superiores quando comparados com os valores obtidos pelos compósitos que são:

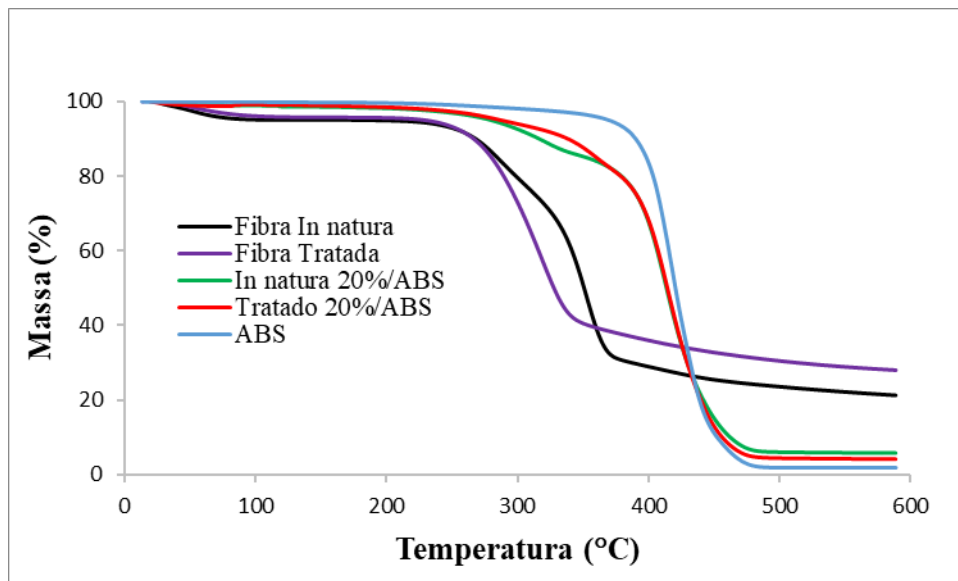


Figura 10 - Curvas termogravimétricas para o ABS e os compósitos

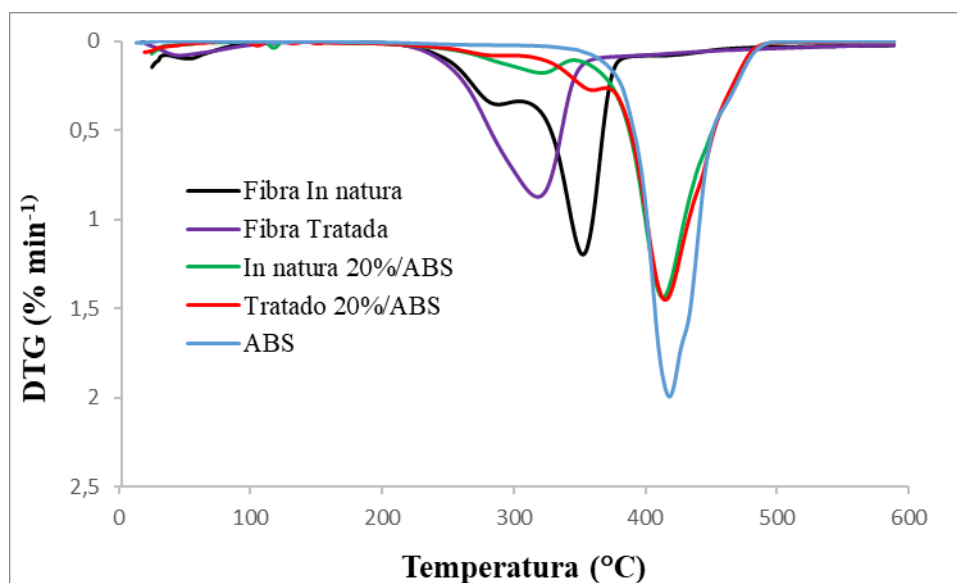


Figura 11 - Curvas de derivada termogravimétrica para o ABS e os compósitos

fibra *in natura* 20%/ABS tratada com temperaturas de 271 °C e 370 °C para o T_{onset} e temperaturas de 323 °C e 415 °C para o T_{pico} . E a Fibra tratada 20%/ABS com temperaturas de 326 °C e 377 °C para o T_{onset} e temperaturas de 361 °C e 417 °C para o T_{pico} .

Percebe-se que as curvas da Figura 11 (DTG) para a fibra *in natura* e para o compósito fibra *in natura* 20%/ABS possuem comportamentos semelhantes. Porém, os valores de T_{onset} (271 °C; 370 °C) e T_{pico} (323 °C; 415 °C) para o compósito fibra *in natura* 20%/ABS são superiores aos da fibra *in natura*, mostrando assim uma diferença considerável entre as temperaturas de pico.

5.8 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM TRAÇÃO

Na Figura 12 estão demonstrados os valores médios de resistência à tração de cada amostra (ABS puro, Fibra *in natura* 20%/ABS e Fibra tratada 20%/ABS). Com isso, pode se observar que tanto o compósito de Fibra *in natura* 20%/ABS ($32,46 \pm 0,71$ MPa) quanto o compósito Fibra tratada 20%/ABS ($33,07 \pm 0,46$ MPa) obtiveram valores médios de resistência à tração superiores ao do ABS puro ($26,28 \pm 1,2$ MPa). Pode-se notar que a adição da fibra gera um acréscimo nas propriedades de tração (NAVEENKUMAR et al., 2015). Segundo Threepopnatkful et al. (2012), em seu trabalho no tratamento da superfície de fibras da folha de abacaxi e seu desempenho em compósitos com ABS, distintos tratamentos foram testados e posteriormente, constituiu-se compósitos com teor de fibras de 10% que não obtiveram valores superiores de resistência à tração em relação ao ABS puro. A partir disso, observou-se que através da adição de fibras naturais no ABS proporcionou, de uma forma geral, uma diminuição na resistência à tração relacionada ao ABS puro.

O ganho de resistência para os compósitos pôde ser observado em outros trabalhos, quando houve um aumento de 10% para 20% no teor de fibras nos compósitos, indicando assim uma distribuição melhor de tensões no compósito. Por isso, foi escolhido para este trabalho a quantidade de 20% do teor de fibra no compósito por ter obtido os melhores resultados relacionados as propriedades de resistência mecânica.

Pode-se observar a Tabela 2 que os valores obtidos para o compósito Fibra tratada 20%/ABS para a resistência à tração para este trabalho foram semelhantes em comparação ao trabalho da Lustosa (2018), porém os valores obtidos para o módulo de elasticidade à tração foram superiores para o trabalho Lustosa (2018) quando comparado para este trabalho. E a diferença entre os valores podem ser explicados pelos tipos de tratamento utilizados.

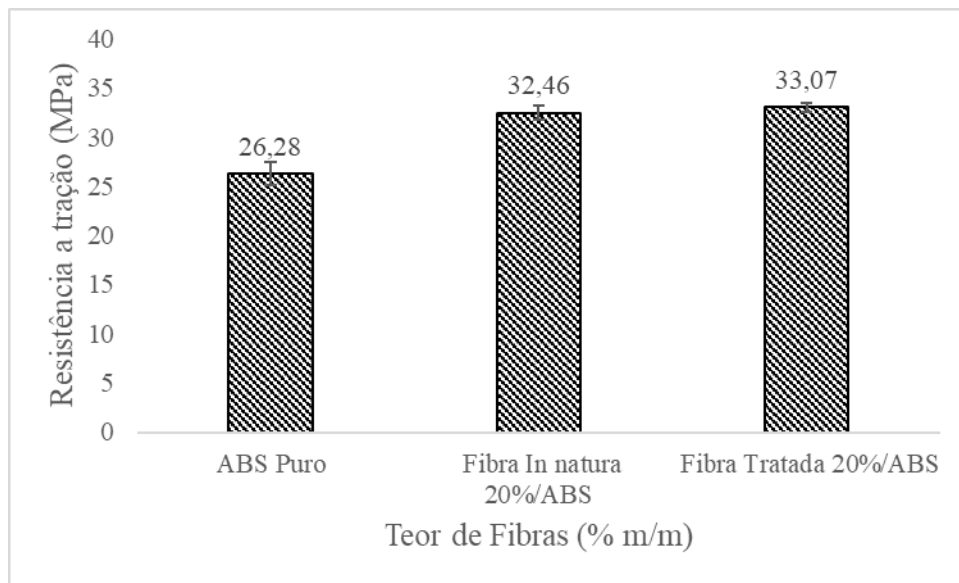


Figura 12 - Valores médios de resistência à tração para o ABS e os compósitos

Tabela 2 - Comparação com outro trabalho dos valores para a tração

Compósito	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade à tração (MPa)	Referência
Fibra tratada 20%/ABS	33,07 ± 0,46	1011,0 ± 13,92	Este trabalho
ABS/FT2	33,04	1559	(Lustosa, 2018)

Módulo de elasticidade, também chamado de módulo de Young é calculado a partir da razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, onde a reversibilidade do material é total e proporcional à tensão (MANO, 1991). A Figura 13 apresenta os valores médios de elasticidade de cada amostra (ABS puro, Fibra *in natura* 20%/ABS e Fibra tratada 20%/ABS). Observa-se que tanto o compósito de Fibra *in natura* 20%/ABS (1020 ± 30,18 MPa) quanto o compósito Fibra tratada 20%/ABS (1011 ± 13,92 MPa) obtiveram valores médios de elasticidade superiores ao do ABS puro (728,9 ± 22,25 MPa). E isso está diretamente relacionado a quantidade do teor de fibras (20%) nos compósitos. Segundo Threepopnatkful et al.

(2012), o acréscimo de fibras no ABS gerou um aumento no módulo de elasticidade em relação ao ABS puro.

Em relação ao compósito de Fibra tratada 20%/ABS ($1011 \pm 13,92$ MPa) percebeu-se que a mesma possui um valor médio de elasticidade inferior ao compósito de Fibra *in natura* 20%/ABS ($1020 \pm 30,18$ MPa), no entanto comparado ao ABS puro ($728,9 \pm 22,25$ MPa) foi superior mostrando melhoria da rigidez do material.

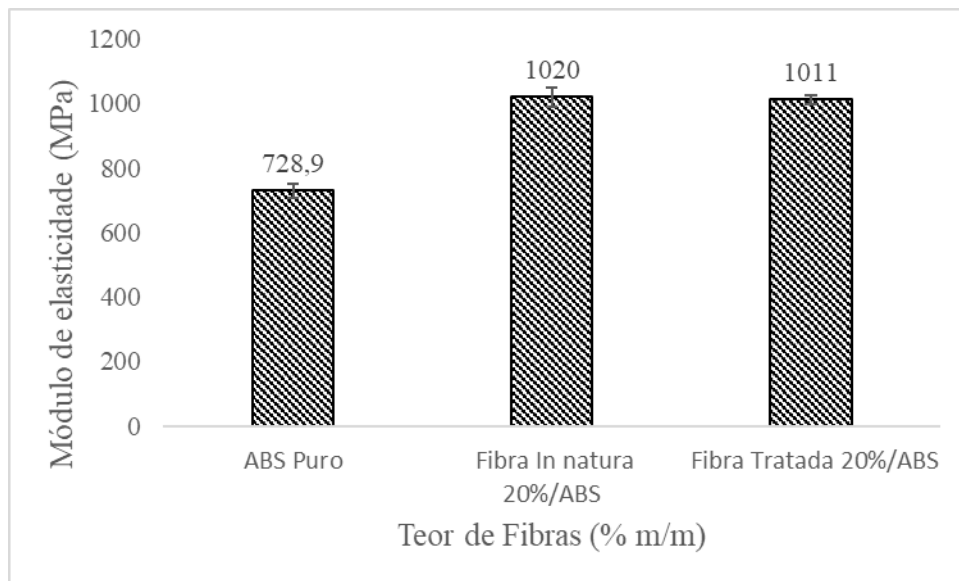


Figura 13 - Valores médios de módulo de elasticidade para o ABS e os compósitos

5.9 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO POR RESISTÊNCIA À FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios de resistência à flexão de cada amostra (ABS puro, Fibra *in natura* 20%/ABS e Fibra tratada 20%/ABS). Observa-se que tanto o compósito de Fibra *in natura* 20%/ABS ($65,2 \pm 1,3$ MPa) quanto o compósito Fibra tratada 20%/ABS ($63,1 \pm 0,3$ MPa) obtiveram valores médios de resistência à flexão superiores ao do ABS puro ($56,4 \pm 1,4$ MPa). E assim apresentando um comportamento diferente daquele alcançado por Neher et al. (2014a), ao qual observaram que o acréscimo de fibras de palmeira no ABS provocou um decréscimo da resistência à flexão.

Observa-se também que o tratamento químico com hidróxido de sódio utilizado na fibra provocou uma diminuição da resistência à flexão.

Com base na Tabela 3 percebe-se também que os valores médios do módulo de elasticidade são superiores para os compósitos Fibra *in natura* 20%/ABS (3064 ± 125 MPa) e Fibra tratada 20%/ABS (2931 ± 51,3 MPa) quando comparados ao ABS puro (2083 ± 39,8 MPa). Segundo Ishizaki et al. (2006) notaram que baixos teores de fibras na matriz podem gerar a falta de uniformidade dispersa do material, proporcionando tensões localizadas e ocasionando em valores menores do módulo de elasticidade, com o aumento do teor de fibras gera uma distribuição melhor das tensões, melhorando sua resistência.

Em relação ao compósito de Fibra tratada 20%/ABS nota-se que o mesmo possui um valor médio de elasticidade inferior ao compósito de Fibra *in natura* 20%/ABS, pois a retirada de componentes da fibra gerou uma diminuição da rigidez do material.

Pode-se observar a Tabela 4 que os valores obtidos para o compósito Fibra tratada 20%/ABS tanto para a resistência quanto para o módulo de elasticidade à flexão para este trabalho foram superiores em comparação ao trabalho da Lustosa (2018), ao qual diferença entre os valores podem ser explicados pelos tipos de tratamento utilizados.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas de flexão do ABS e os compósitos

Amostras	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
ABS puro	56,4 ± 1,4	2083,0 ± 39,8
Fibra In natura 20%/ABS	65,2 ± 1,3	3064,0 ± 125,0
Fibra Tratada 20%/ABS	63,1 ± 0,3	2931,0 ± 51,3

Tabela 4 - Comparação com outro trabalho dos valores para a flexão

Compósito	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de elasticidade à flexão (MPa)	Referência
Fibra tratada 20%/ABS	63,07 ± 0,3	2931,0 ± 51,3	Este trabalho
ABS/FT2	60,66	2506,67	(Lustosa, 2018)

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que houveram mudanças significativas da fibra de *Eucalyptus* tratada em relação à fibra de *Eucalyptus in natura*, a partir das análises (espectro de infravermelho FTIR, MEV, difração de raio X, análise térmica e análise química) realizadas. Os resultados realizados com o tratamento químico da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) sinalizaram uma mudança da morfologia e aumento da rugosidade da superfície da fibra tratada. Já o FTIR identificou a redução do pico em 1730 cm^{-1} que está relacionada a redução da carbonila (C=O) indicando a remoção da hemicelulose e lignina. A difração de raio X mostrou o aumento da cristalinidade das fibras tratadas e as curvas de TGA revelaram uma estabilidade térmica semelhante da fibra *in natura* e a fibra tratada.

De forma geral a produção do compósito de matriz polimérica (ABS) com 20% de fibra de *Eucalyptus* como material de reforço proporcionou melhoras significativas para as propriedades mecânicas de resistência e módulo de elasticidade para tração e flexão. A adição das fibras tratadas promoveu um incremento na rigidez do material para os esforços de tração e flexão.

No entanto, a aplicação do tratamento químico para a produção do compósito só gerou valor superior para a resistência à tração em comparação ao outro compósito (Fibra *in natura* 20%/ABS) e o ABS puro, justificando assim a não necessidade de um tratamento na fibra para produção do compósito em relação as outras propriedades mecânicas.

De acordo com todas as análises realizadas a utilização do compósito na indústria automotiva está relacionada a uma determinada aplicação específica, ou seja, o compósito Fibra tratado 20%/ABS deste trabalho pode substituir o ABS puro em uma confecção de uma peça que precisaria de uma boa resistência à tração e o compósito Fibra *in natura* 20%/ABS substituiria o ABS puro, por exemplo na aplicação das outras propriedades mecânicas.

7. REFERÊNCIAS

AGRAWAL, R. et al. Activation energy and crystallization kinetics of untreated and treat oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites. **Materials Science & Engineering**, v. 277, p. 77-82, 2000.

ALEMDAR, A., & SAIN, M. (2008). Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues—Wheat straw and soy hulls. *Bioresource Technology*, 99, 1664–1671.

AKCELRUD, L., **Fundamentos da Ciência do Polímeros**, Editora Manole Ltda., Barueri – SP, 2007.

APC (American Plastic Council) (1999) *Plastic vehicles: making inroads in the automotive world*, April 1999. Disponível em www.americanplasticscouncil.org.

APME (Association of Plastic Manufacturers in Europe) (1999) *A material for choice for the automotive industry*, Summer 1999. Disponível em www.apme.org.

BARTON, J.; NIEMCZYK, A.; CZAJA, K.; KORACH, L.; SACHER-MAJEWSKA, B., Polymer composites, biocomposites and nanocomposites. Production, composition, properties and application fields, **CHEMIK**, 68, 4, 280–287, 2014.

BRÍGIDA, A. I. S. et al. 2010. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. **Carbohydrate Polymers**, v.79 p.832–838.

CARNEIRO, L. A. V.; TEIXEIRA, A. M. A. J., Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção, **Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT)**, 3º quadrimestre de 2008.

CASARIL, A.; GOMES, E. R.; SOARES, M. R.; FREDEL, M. C.; AL-QURESHI, H. A., Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas, **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, pp. 408 – 419, 2007.

CARVALHO, Claudemir. Reciclagem Primária de ABS: Propriedades Mecânicas, Térmicas e Reológicas. Dissertação (mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville, BR-SC, 2009.

CHERIAN, B. M., POTHAN, L. A., NGUYEN-CHUNG, T., MENNING, G., KOTTAISAMY, M., & THOMAS, S. (2008). A novel method for the synthesis of cellulose nanofibrilwhiskers from banana fibers and characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 5617–5627.

CHEUNG, H.; HO, M.; LAU, K.; CARDONA, F.; HUI, D., Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications, **Composites: Part B**, 40, p.655–663, 2009.

CHIRAYIL, C.; MATHEW, L.; THOMAS, S. Review of recent research in nanocellulose preparation from different lignocellulosic fibers. **Reviews on Advanced Materials Science**, v. 37, n. 1-2, p. 20-28, 2014.

DIFALLAH, B. B.; KHARRAT, M.; DAMMAK, M.; MONTEIL, G., Mechanical and tribological response of ABS polymer matrix filled with graphite powder, **Materials and Design**, v. 34, 782–787, 2012.

EL-ZAWAWY, W. K. (2006). Blended graft copolymer of carboxymethyl cellulose and poly (vinyl alcohol) with banana fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 100,1842–1848.

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, HP.; SAIN, M., Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010, **Progress in Polymer Science**, vol. 37, 1552– 1596, 2012.

FENGEL D, WEGENER G, 1989. **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**. Alemanha, 2003.

FOELKEL, C. **Eucalyptus online book**, [2010]. Disponível em: <http://www.Eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf>. Acesso em: 6 de março de 2019.

GANÁN, P., CRUZ, J., GARBIZU, S., ARBELAIZ, A., & MONDRAGON, I. (2004). Stem and bunch banana fibers from cultivation wastes: Effect of treatments on physico-chemical behavior. *Journal of Applied Polymer Science*, 94, 1489–1495.

GUIMARÕES, J. L. et al. 2009. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 30, p.407–415.

GUPTA R. B., DEMIRBAS A. (2010) Gasoline, diesel, and ethanol biofuels from grasses and plants. Cambridge University Press, New York.

HARRIS, B., **Engineering Composite Materials**, The Institute of Materials, London, 1999.

Hemais, C. A., Rosa, E. O. R. & Barros, H. M. - “A não globalização tecnológica da indústria brasileira de polímeros medida através de patentes”, *Revista de Administração Contemporânea*, 3 (3): 157-177 (1999).

HUBBE, M. A.; ROJAS, O. J.; LUCIAN, A. L.; SAIN, M. Cellulosic nanocomposites: a review. **Bioresources**, v. 3, n. 3, p. 929-980, 2008.

HUG, T. et al. 2012. Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate based biodegradable nanocomposite film. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, p.1757– 1763.

ISHIZAKI, M. H.; VISCONTE, L. L. Y.; FURTADO, C. R. G.; LEITE, M. C. A.; LEBLANC, J. L., Caracterização Mecânica e Morfológica de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco 56 Verde: Influência do Teor de Fibra e das Condições de Mistura, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 16, n° 3, p. 182-186, 2006.

Jesus, L. C. C., Obtenção e Caracterização de Compósitos de Poliestireno Expandido Pós-consumo Reforçados com Celulose de Bagaço de Cana-de-açúcar, Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Integridade de Materiais da Engenharia, Universidade de Brasília, 2014, 101 f.

JHON, M.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 343-364, 2008.

KADDAMI, H.; DUFRESNE, A.; KHELIFI, B.; BENDAHO, A.; TAOURIRTE, M.; RAIHANE, M.; ISSARTEL, N.; SAUTEREAU, H.; GÉRARD, J. F.; SAMI, N., Short palm tree fibers – Thermoset matrices composites, **Composites: Part A**, 37, 1413–1422, 2006.

KARGARZADEH, H. et al. 2012. Effects of hydrolysis conditions on the morphology, crystallinity, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from kenaf bast fibers. **Cellulose**, v.19 p.855–866.

KIM, H.-S.; KIM, S.; KIM, H.-J.; YANG, H.-S. *Thermochim Acta* 2006, 451, 181.

KLEMM, D.; HEUBLEIN, B.; BOHN, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. **Angewandte Chemie**, v. 44, p. 3358-3393, 2005.

KLEMM, D.; KRAMER, F.; MORITZ, S.; LINDSTRÖM, T.; ANKERFORS, M.; GRAY, D.; DORRIS, A. Nanocelluloses: a new family of nature-based materials. **Angewandte Chemie**, v. 50, n. 24, p. 5438-5466, 2011.

KONTTURI, E. J. 2005. Surface chemistry of cellulose. **From natural fibres to model surfaces. Library Technische Universiteit Eindhoven**, 149 p.

KUMAR, R. et al. 2011. Chemical modifications of natural fiber for composite material. **Pelagia Research Library: Der Chemica Sinica**, v.2, p.219-228.

KUMAR, K. K.; BABU, P. R.; REDDY, K. R. N., Evaluation of Flexural and Tensile Properties of Short Kenaf Fiber Reinforced Green Composites, **International Journal of Advanced Mechanical Engineering**, Volume 4, Number 4, pp. 371-380, 2014.

LE TROEDEC, M., SEDAN, D., PEYRATOUT, C., BONNET, J. P., SMITH, A., GUINEBRETIERE, R., et al. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A*, 39, 514–522.

LIU, D. et al. 2010. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. *Bioresource Technology*, v.101, p.2529–2536.

LOPES, B. L. S., **Polímeros reforçados por fibras vegetais: um resumo sobre esses compósitos**, São Paulo: Blucher, 2017.

LUSTOSA, E. C. D. B. **Aplicação de fibras de celulose modificadas com nanopartículas de sílica (sio₂) em compósitos de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)**. Dissertação em ciências florestais – UNB. Brasília, 2018.

MA, H. et al. 2011. Green composite films composed of nanocrystalline cellulose and a cellulose matrix regenerated from functionalized ionic liquid solution. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, p.383–389.

MADSEN, B. 2004. Properties of plant fiber yarn polymer composites: An experimental study. 151 p. **Technical University of Denmark**.

MANO, E. B., **Polímeros como Materiais de Engenharia**, Editora Blucher, São Paulo, 1991.

MANO, E. B.; MENDES, L. C., **Introdução a Polímeros**, 2ª ed. rev. e ampl. – São Paulo: Editora Blucher, 1999.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D., Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras 57 vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para sustentabilidade amazônica, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MAURYA, D. P. et al. 2015. An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. *Biotechnology*, v. 5, p.597–609.

MAZZUCO, C. L. D. M. **“Estudo de híbridos de montmorilonitas organicamente modificadas e ABS compatibilizados com copolímero SEBS ou SBS”**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Campinas, São Paulo.

MIAO, C.; HAMAD, W. Y., Cellulose reinforced polymer composites and nanocomposites: a critical review, *Cellulose*, Volume 20, Issue 5, pp 2221-2262, October 2013.

MOON, R. J. et al. 2011. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. Cite this: **Chemical Society Reviews**, v. 40, p.3941–3994.

MORÁN, J. I.; ALVAREZ, V. A.; CYRAS, V. P.; VÁZQUEZ, A. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. **Cellulose**, v. 15, n.1, p. 149–159, 2008.

MÜLLER, R. L.; MÄHLMANN, C. M.; RODRIGUEZ, A. L.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L.; ROHLFES, A. L. B., Compósito de polietileno de baixa densidade e fibra de bagaço de cana-de-açúcar, **Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros**, 2007.

NAVEENKUMAR, R.; SHARUN, V.; DHANASAKKARAVARTHI, B.; RAJAKUMAR, P. T., Comparative study on jute and Kenaf fiber composite material, **Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research**, Vol. 4, Issue 2, 2015.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C., **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: editora Blucher, 2006.

NEHER, B.; BHUIYAN, Md. M. R.; KABIR, H.; QADIR, Md. R.; GAFUR, Md. A.; AHMED, F., Study of Mechanical and Physical Properties of Palm Fiber Reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene Composite, **Materials Sciences and Applications**, 5, 39-45, 2014. (a)

NISHIYAMA, Y. et al. 2003. Crystal Structure and Hydrogen Bonding System in Cellulose I α from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. **J. American Chemical Society**, v. 125, p.14300-14306.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F.S. 2010. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, p.1549-1558.

OH YOUN, S. et al. 2005. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Research**, 340, p.2376–2391.

Orue, A., Jauregi, A., Unsuain, U., Labidi, J., Eceiza, A., Arbelaiz, A., The effect of alkaline and silane treatments on mechanical properties and breakage of sisal fibers and poly(lactic acid)/sisal fiber composites, **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 2016;84:186–195.

OUDIANI, A. El. et al. 2011. Transition from cellulose I to cellulose II in NaOH treated Agave americana L. fibre. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, p.1221– 1229.

PADILHA, A. F., **Materiais de Engenharia – Microestrutura e Propriedades**, editora Hemus, 2000.

PAINEL FLORESTAL. **A história do eucalipto no Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/arquivo/a-historia-do-eucalipto-no-brasil-32498350c9c49312b8b1c8329ee68acc>>. Acesso em: 6 de março de 2019.

- PALMQVIST, E.; HAHN-HAGERDAL, B. 2000. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. II: inhibitors and mechanisms of inhibition. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 25-33.
- PAOLI, M. A., **Degradação e Estabilização de Polímeros**, 2ª versão online (revisada), 2008.
- PEREIRA, R. G. 2012 **Síntese de carvões ativados a partir de resíduos agroindustriais e sua aplicação na adsorção de proteínas do soro do leite**.
- PÉREZ, J.; MUÑOZ-DORADO, J.; RUBIA, T, L.; MARTINEZ, J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. **International Microbiology**, v. 5, n. 2, p. 53-63, 2002.
- PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F., **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**, Editora EDUFAL, Maceió-AL, 2005.
- PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A., Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis, **Revista da Unifebe** nº 9, 2011.
- POCAI, K.; HILIG, E.; FREIRE, E.; ZENI, M., Estudo da influência de agente de acoplamento em compósitos de hdpe/serragem, Anais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2005.
- QUILHÓ, L. F. T. L., **Produção de Bioetanol a partir de Materiais Lenhocelulósicos de Sorgo Sacarino: Revisão Bibliográfica**, Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.
- RAYMUNDO, E. A.; RIBEIRO, R. B.; CARVALHO, E. F.; DOMINGUES, B. S. M., Análise de absorção de água em compósito de polímero reforçado com fibras naturais, **Cadernos UniFOA**, Edição Especial do Curso de Mestrado Profissional em Materiais, junho – 2012.
- REVISTA DA MADEIRA. **O eucalipto e suas origens**. 2001. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=20>. Acesso em: 06 de março de 2019.
- ROMAN, M.; WINTER, W. T. 2004. Effect of sulfate groups from sulfuric acid hydrolysis on the thermal degradation behavior of bacterial cellulose. **Biomacromolecules**, v. 5, p.1671-1677.
- ROSA, S. L. et al. 2012. Chlorine-free Extraction of Cellulose from Rice Husk and Whisker Isolation. **Carbohydrate Polymers**, 87, p.1131-1138.

ROSLI, N. A. et al. 2013. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from agave angustifolia fibre. **BioResources**, v. 8, p.1893-1908.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: Rowell, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. New York: Taylor & Francis, cap. 3. 2005.

SABA, N. et al. 2014. A Review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites. **Polymers**, v. 6, p.2247-2273.

SAHEB, D. N.; JOG. J. P., Natural Fiber Polymer Composites: A Review, **Advances in Polymer Technology**, Vol. 18, No. 4, 351–363, 1999.

SANTOS, R. M.; BOTELHO, G.; MACHADO, A. V., Avaliação da fotodegradação de ABS exposto a condições naturais, Avaliação da fotodegradação de ABS, **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Vol. 22, n.º 1/2, 2010.

SANTOS, R. B. et al. 2011. Wood based lignina reactions importante to the biorefinery and pulp and paper industries. **BioResources**, v. 8, p.1455-1477.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.

SANTOS, R. M. et al. 2013. Cellulose nanocrystals from pineapple leaf, a new approach for the reuse of this agro-waste. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p.707– 714.

SATISHKUMAR, T. P.; NAVANEETHAKRISHNAN, P.; SHANKAR, S.; RAJASEKAR, R.; RAJINI, N., Characterization of natural fiber and composites – A review, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(19) 1457–1476, 2013.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991. p. 178-183.

SILVA, D. J.; D'ALMEIDA, M. L. O. Nanocristais de celulose. **O Papel**, v. 70, n. 7, p. 34-52, 2009.

SILVA, R. et al. 2009. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, n.º3, p.661-671.

SILVA, N. L. C., **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose**, Dissertação (Mestrado), Universidade

Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2010. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, Bahia. 2012.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F.; **Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos** *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 3, 661-671, 2009

SILVA, S. M.; RAMBALDUCCI, R. G.; GOMES, G. T.; HALASZ, M. R. T. Aproveitamento de cascas de eucalipto para confecção de placas de isolamento termo/acústico. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2835, 2013.

SILVERIO, H. A. et al. 2013. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for application as reinforcing agent in nanocomposites. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p.427– 436.

SIMIELLI, E. R.; SANTOS, P. A., **Plásticos de Engenharia – Principais tipos e sua moldagem por injeção**, Editora Artliber, São Paulo, 2010.

SIMÕES JR., J.; BRAMBRATTI JR., N.; HEMKEMEIERI, M., Aspectos ambientais da substituição de componentes em fibra de vidro por componentes em ABS (acrilonitrila butadieno estireno) em uma indústria de produção de carrocerias de ônibus, **Ciência & Engenharia**, v. 23, n. 2, p. 33 – 38, jul. – dez. 2014.

SOARES, L. H. B. et al. 2009. Mitigação das emissões de gases estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil. **Circular Técnica**, 1-14.

SUN, X. F., XU, F., SUN, R. C., FOWLER, P., & BAIRD, M. S. (2005). Characteristics of degraded cellulose obtained from steam-exploded wheat straw. *Carbohydrate Research*, 340, 97–106.

TAJ, S.; MUNAWAR, M. A.; KHAN, S., Natural fiber-reinforced polymer composites, **Proc. Pakistan Acad. Sci.**, 44(2):129 -144, 2007.

THREEPOP NATKUL, P.; KRACHANG, T.; TEERAWATTANANON, W.; SURIYAPHAPARKON, K.; KULSETTHANCHALEE, C., Study of surface treatment of pineapple leaf fiber (PALF) on performance of PALF/ABS composites, **ECCM15 - 15TH EUROPEAN CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS**, Venice, Italy, 24-28, June 2012.

VALADEZ-GONZALEZ, A.; CERVANTES-UC, J. M.; OLAYO, R.; HERRERA-FRANCO, P. J., Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites, *Composites: Part B* 30, 309–320, 1999.

VERARDI, A. et al. 2005. Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Current Status of Processes and Technologies and Future Perspectives. News on: **Science Focus Direct on Catalysts**, p.290.

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

WYMAN, C. E. et al. 2005. Polysaccharides: Structural Diversity and Functional Versatility; Dumitriu, S., ed.; **Dekker**: New York, 2005, cap. 43.

WOLF, L. D. **Pré-tratamento organossolve do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol e obtenção de xilooligômeros**. 2009. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

YANG, Shuying.; CASTILLEJA, Jose.; BARRERAB, E.; LOZANO, Karen. Thermal analysis of an acrylonitrile–butadiene–styrene/SWNT composite. *Polymer Degradation and Stability* 83 (2004) 383–388.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C., Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis, *Fuel* 86, 1781–1788, 2007.

ZAINI, L. H. et al. 2013. Isolation and Characterization of Cellulose Whiskers from Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Bast Fibers. **Scientific Research**, v. 4, p.37-44.

ZARBIN, A. J. G., Química de (nano) materiais, **Quim. Nova**, Vol. 30, No. 6, 1469-1479, 2007.

ZHOU, Y. M. et al. 2012. Effect of nanocellulose isolation techniques on the formation of reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposite films. **eXPRESS Polymer Letters**, v. 6, p.794–804.

