

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**EFEITOS DA MERCERIZAÇÃO EM FIBRAS DE PIAÇAVA  
AMAZÔNICA (*Leopoldinia piassaba*) PARA PRODUÇÃO DE  
PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MÉDIA DENSIDADE**

VIVIANE SIQUEIRA MAGALHÃES REBELO

MANAUS

2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**VIVIANE SIQUEIRA MAGALHÃES REBELO**

**Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica  
(*Leopoldinia piassaba*) para produção de painéis de partículas de  
média densidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Materiais e Componentes de Construção.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Virginia Mansanares Giacon

MANAUS

2016

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

R291e Rebelo, Viviane Siqueira Magalhães  
Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica  
(Leopoldinia piassaba) para produção de painéis de partículas de  
média densidade / Viviane Siqueira Magalhães Rebelo. 2016  
133 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Fibras vegetais . 2. Mercerização. 3. Piaçava. 4. Compósitos  
poliméricos. 5. Modificação superficial. I. Giacon, Virginia  
Mansanares II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**VIVIANE SIQUEIRA MAGALHÃES REBELO**

**Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica  
(*Leopoldinia piassaba*) para produção de painéis de partículas de  
média densidade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Materiais e Componentes de Construção.

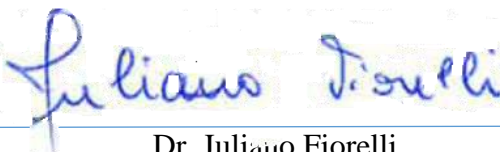
Em 13 de dezembro de 2016;

BANCA EXAMINADORA

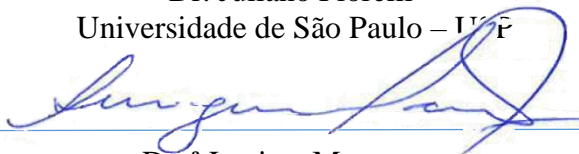


Dr.ª Virginia Mansanares Giacon

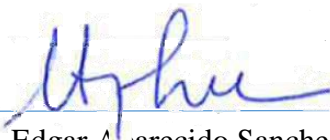
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Dr. Juliano Fiorelli  
Universidade de São Paulo – USP



Dr.ª Lucieta Martorano  
EMBRAPA AMAZONIA ORIENTAL



Dr. Edgar Aparecido Sanches  
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

À Deus, por todo amparo e força na caminhada espiritual;  
À minha família, pela compreensão nos momentos de ausência e dedicação à dissertação;  
Aos meus amigos, colegas e professores, pelo incentivo e aprendizado compartilhados;  
À minha querida orientadora, por acreditar e investir no meu potencial.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me oferecer as condições necessárias de progresso e amadurecimento, proporcionando amparo e saúde para conclusão de mais um objetivo de vida.

À minha família, pela fé e motivação em minha caminhada do saber, compreendendo o estresse, as limitações e dificuldades nesse processo.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Virginia Mansanares Giacon, orientadora desse trabalho. Por me abraçar como orientanda nessa pesquisa, e me proporcionar experiências de crescimento não só no campo da pesquisa como também pessoal, por todas as lágrimas derramadas e preocupações, reflexo do empenho, exigência e acima de tudo carinho na relação construída.

Aos meus amigos e colegas do mestrado, pela luta conjunta nessa caminhada, e de forma mais especial à Andrezza Barbosa, Fabrício Rodrigues, Wallace Belchior, Alcinéia Aguiar e Bianca de Andrade, pela bela amizade construída, sendo muitas vezes meu alicerce, combustível e alegria.

Aos técnicos e secretaria do programa, pela parceria e auxílio durante o mestrado, especialmente Rosinaldo, Ivanete e Beatriz.

A todos os professores do programa e externos a este, como Lourival Goes, Fernando Fernandes, Ivana De La-Rocque e Paulo Rodrigues, por me incentivarem na carreira acadêmica, e por toda preocupação e amizade prestadas desde a graduação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado e conseqüentemente auxílio a esta pesquisa.

À Universidade Federal do Amazonas - UFAM, pelos recursos oferecidos para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

**Obrigada!**

**“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.**

**Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.**

**(Marthin Luther King)**

## RESUMO

Com a demanda por novos materiais economicamente viáveis e ecologicamente corretos, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas, a fim de minimizar os impactos ocasionados pela exploração e produção de materiais provenientes de fontes não sustentáveis e/ou renováveis. Em vista disto, materiais compósitos com reforços de fibras vegetais estão sendo alvo de estudos, com o intuito de viabilizar o uso de novas fontes de matéria-prima. Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo sobre o potencial do uso de fibras de piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*) mercerizada com NaOH na produção de painéis de partículas de média densidade, utilizando como matriz polimérica a resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona (*Ricinus Communis*). Este estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira composta pela caracterização morfológica, física e química da fibra de piaçava regional, bem como, um tratamento alcalino através da mercerização (NaOH), em concentrações de 5% e 10%, com o intuito de avaliar a adesão da fibra à matriz em painéis produzidos na próxima etapa. Assim, nesta segunda etapa, os painéis foram produzidos e suas características físicas e mecânicas foram avaliadas com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14810-2: 2013. Para a produção dos painéis fez-se uso de um planejamento experimental ( $2^2+1$ ), a fim de observar a influência e interação dos fatores envolvidos: concentração de resina e teor de tratamento. Análises físicas e morfológicas indicaram aumento da área superficial fibrilar e porosidade após tratamento químico, sendo que em maiores concentrações de solução alcalina (10% de NaOH) as fibras apresentaram desfibrilação. Esse fator pode ter ocorrido provavelmente pela retirada total ou parcial de alguns constituintes da fibra vegetal, tais como, hemicelulose, lignina, ceras e outros extrativos orgânicos. Além disso, o tratamento proporcionou limpeza parcial da superfície das fibras, reduzindo as protruções ricas em sílica presentes no material, sem comprometer acentuadamente suas propriedades estruturais. Tais fatos contribuem para a variação nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis, e conseqüentemente para o aumento da potencialidade do uso de fibras de piaçava, como matéria-prima em reforços para compósitos poliméricos.

**Palavras-chave:** Fibras de piaçava, mercerização, resina poliuretana, compósitos poliméricos.



## ABSTRACT

Due to demand for new economically viable and environmentally correct materials, many researches are being developed to minimize the impacts caused by exploration and production of materials from unsustainable and/or non-renewable sources. As a result, composite materials with reinforcements of vegetal fibers are being studied, in order to facilitate new sources of raw material. This research presents a study on the potential use of Amazon Piassava (*Leopoldinia Piassaba*) mercerized with NaOH in the production of panels of medium density particles, using the bicomponent polyurethane resin derived from castor (*Ricinus communis*) oil as polymer matrix. Where made morphological, physical and chemical studies of regional piassava fibers, as well as a study of the influence of superficial modifications in the fiber caused by the alkaline mercerising treatment (NaOH). Such study has been realized at concentrations of 5% and 10% by evaluating their contributions in the adhesion of the fiber to the matrix. The fiberboards produced were classified based on experimental design, and evaluated physical and mechanically based on standards of the Brazilian Association of Technical Standards NBR 14810-2: 2013, noting the influence and interaction of factors involved: resin concentration and content of treatment. The analysis physical and morphological indicated an increase of superficial fibrillar area, as well as an increase of porosity after chemical treatment. On higher concentrations of alkaline solution (10% of NaOH) the fibers presented defibrillation. These factors probably occurred by total or partial removal of some components of vegetable fiber, such as hemicellulose, lignin, waxes and other organic extractives. Besides that, the chemical treatment provided partial cleaning on the surface of the fibers, reducing the protrusions present in the material, which are rich in silica, without compromising its structural properties dramatically. These facts contribute to the variation in the physical and mechanical properties of the panels, and consequently to increase the potentiality of the use of fibers of piassava, as raw material in reinforcements for polymeric composites.

**Keywords:** Piassava fibers, mercerising, polyurethane resin, polymer composites.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Classificação de Materiais Compósitos.....	22
Figura 2 - Classificação de Materiais Compósitos, relativa ao tipo de matriz. ....	23
Figura 3 - Agrupamento dos adesivos segundo o desempenho. ....	26
Figura 4 - Classificação dos adesivos.....	27
Figura 5 - Síntese de poliuretano a partir de diisocianato de para-fenileno e etilenoglicol. ....	29
Figura 6 - Matérias-primas comuns na indústria de poliuretano. ....	30
Figura 7 - Classificação das fibras vegetais. ....	33
Figura 8 - Possibilidades de utilização das fibras de piaçava: a) escovas, b) vassouras, c) e d) artesanato, e) cobertura de piaçava. ....	35
Figura 9 - Palmeira “Leopoldinia piassaba”. ....	36
Figura 10 - Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal).....	38
Figura 11 - Parede Celular-Fibras. ....	39
Figura 12 - Estrutura da parede celular de uma fibra vegetal.....	40
Figura 13 - Interação das moléculas de celulose. ....	41
Figura 14 - Ligações Polioses (Hemiceluloses) com Celulose (microfibrilas). ....	42
Figura 15 - Representação da composição da lignina na parede celular da fibra vegetal. ....	43
Figura 16 - Acetilação do grupo OH na celulose. ....	45
Figura 17- Interação de silano com fibra natural.....	46
Figura 18 - Fibras em fardo. ....	50
Figura 19 - Poliól e pré-polímero, respectivamente. ....	51
Figura 20 - a) Hidróxido de sódio; b) Materiais utilizados para teste preliminar. ....	51
Figura 21- Diagrama de fluxo produtivo do trabalho.....	52
Figura 22 - Limpeza preliminar das fibras: a) e b) Processo de lavagem, c) Secagem inicial do material. ....	52
Figura 23 - Tratamento químico: a) Preparo da solução de NaOH, b) Tratamento por concentração e duração.....	53
Figura 24 - Lupa tipo microscópio Carton. ....	53
Figura 25 - Mercerização das fibras de piaçava: a) Imersão em solução de hidróxido de sódio, b) Fibras com imersão a 60 minutos, c) Lavagem em água corrente do material. ....	54
Figura 26 - Checagem de pH.....	55
Figura 27 - Secagem das fibras: a) Fibras postas para secagem em temperatura ambiente, b) Fibras após 4 horas em temperatura ambiente, c) Estufa. ....	55
Figura 28 - Analisador halogêneo de umidade.....	55
Figura 29 - Procedimentos FRX: a) amostra para FRX, b) material posicionado em porta amostras do equipamento, c) Equipamento PANalytical Epsilon3-XL. ....	56
Figura 30 - Equipamento DRX.....	57
Figura 31 - HITACHI TM3000.....	58
Figura 32 - TA Instruments Systems SDT Q600. ....	59
Figura 33 - DOE. ....	60
Figura 34 - a) e b) Pesagem e separação das fibras. ....	61
Figura 35 - Pesagem dos componentes da resina em balança analítica.....	61
Figura 36 - Processamento da mistura: a) Adição do Poliól, b) Adição do Pré-polímero, c) Incorporação do adesivo (mistura). ....	61

Figura 37 - Processamento dos painéis: a) Forma de madeira posicionada sobre bandejas metálicas, b) Moldes metálicos, c) dispersão das fibras.....	62
Figura 38 - Formação de colchão: a) Material após pré-prensagem, b) Registro de altura do material conformado.....	62
Figura 39 - Moldagem dos painéis: a) Prensa hidráulica HIDRAL-MAC, b) Material posicionado para prensagem.....	63
Figura 40 - Estabilização dos compósitos. ....	63
Figura 41 - Esquadreamento dos corpos-de-prova: a) Identificação, b) e c) Corte das amostras. ....	64
Figura 42 - Classificação dos corpos-de-prova. ....	64
Figura 43 - Paquímetro analógico de 6 in. ....	66
Figura 44 - Micrômetro digital Mitutoyo. ....	66
Figura 45 - Medição de espessura em micrômetro.....	66
Figura 46 - Ponto de medição da espessura no corpo de prova.....	67
Figura 47 - Ensaio de inchamento: a) Materiais selecionados para ensaio, b) Imersão de compósitos sem tratamento, c) Imersão de compósitos tratados.....	68
Figura 48 - Retirada de excesso de água dos corpos-de-prova.....	68
Figura 49 - Verificação de espessura após 24 horas.....	68
Figura 50 - Simulador de envelhecimento EQUILAM. ....	69
Figura 51 - Preparação de corpos-de-prova para ensaio de envelhecimento: a) Amostras separadas, b) e c) Corpos-de-prova em porta amostra adaptado. ....	69
Figura 52 - Disposição dos compósitos em porta amostra. ....	70
Figura 53 - Faixas de estudo termográfico. ....	71
Figura 54 - Confecção das amostras para MEV: a) Materiais para envelopamento, b) Amostras preparadas para cura.....	72
Figura 55 - Lixadeira politriz.....	72
Figura 56 - Acompanhamento de superfície: a) Microscópio óptico Olympus, b) Superfície das amostras.....	72
Figura 57 - Separação das amostras para cada tipo de arrancamento. ....	73
Figura 58 - a) e b) Inserção de parafuso. ....	74
Figura 59 - Corpos-de-prova: a) Amostras para arrancamento de topo, b) Amostras para arrancamento de parafuso. ....	74
Figura 60 - Corpos-de-prova preparados para ensaio: a) Máquina universal, b) Arrancamento de parafuso de Topo, c) Arrancamento de parafuso de Superfície.....	74
Figura 61- a) Máquina universal, b) Corpos-de-prova após ensaio. ....	75
Figura 62 - Difratogramas para fibras tratadas e não-tratadas.....	77
Figura 63 - Micrografias da fibra <i>in natura</i> (a) superfície, (b) protruções. ....	80
Figura 64 - Micrografias comparativas da superfície fibrilar da piaçava amazônica: a) <i>in natura</i> , (b) tratada a 5 % de NaOH.....	80
Figura 65 - Micrografias da fibra de piaçava tratada a 10% de NaOH, vista das fibrilas: (a) x250, (b) x800. ....	81
Figura 66 - Micrografias da seção transversal das fibras: (a) sem tratamento, (b)10% NaOH. ....	81
Figura 67 - Curvas de TG e DTG para a fibra <i>in natura</i> . ....	82
Figura 68 - Curvas TG e DTG para as amostras de fibras tratadas e sem tratamento.....	83
Figura 69 - Curvas de Nível para ensaio de Densidade.....	85

Figura 70 - Curvas de Nível para ensaio de inchamento.....	87
Figura 71 - Curvas de Nível para envelhecimento: a) envelhecimento acelerado, b) % inchamento após envelhecimento.....	89
Figura 72 - Variação de amplitude térmica nos blocos de cada amostra, (a) 15ST; (b) 20ST; (c)15CT; (d) 20CT; (e) 5CT1; (f) 5CT2; (g) 5CT3.....	91
Figura 73 - Máximas temperaturas.....	92
Figura 74 - Mínimas temperaturas.....	92
Figura 75 - Médias das temperaturas absorvidas pelas placas. ....	93
Figura 76 - Influência dos fatores experimentais: Bloco 1 (Inicial - 9:00/9:20) e Bloco 5 (Final - 11:00/11:20).....	94
Figura 77 - Micrografias de compósito com fibras de piaçava in natura: a) baixa adesão interfacial, b) falha de preenchimento. ....	94
Figura 78 - Micrografias do compósito com fibras tratadas a 5% de NaOH: a) e b) adesão fibra/matriz. ....	95
Figura 79 - Micrografias do compósito com fibras tratadas a 10% de NaOH: a) e b) interface fibra/matriz. ....	95
Figura 80 - Micrografias indicando formação de bolhas: a) Compósito de 5 % NaOH, b) Compósito de 10% NaOH.....	96
Figura 81 - Curvas de nível AP-S.....	98
Figura 82 - Curvas de nível AP-T. ....	98

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Classificação dos adesivos. ....	25
Quadro 2 - Divergências básicas entre celulose e hemicelulose. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Histórico de Produção de Piaçava no Estado do Amazonas 2012-2015.....	36
Tabela 2 - Delineamento Experimental (DOE).....	60
Tabela 3 - Referência das amostras estudadas segundo delineamento experimental.....	70
Tabela 4 - Blocos ao acaso. ....	71
Tabela 5: Composição química das amostras de fibra de Piaçava <i>in natura</i> e tratadas obtidas pela fluorescência de raios-X. ....	76
Tabela 6 - Dados de DRX para as fibras <i>in natura</i> e tratadas quimicamente.....	78
Tabela 7 - Valores médios para Densidade. ....	84
Tabela 8 - Dados ANOVA para densidade. ....	84
Tabela 9 - Valores médios para inchamento em espessura após 24h.....	86
Tabela 10 - Dados ANOVA para ensaio de inchamento 24 h.....	86
Tabela 11 - Valores médios para envelhecimento acelerado, sobre propriedade física de inchamento. ....	88
Tabela 12 - Dados ANOVA para ensaio de inchamento após envelhecimento. ....	88
Tabela 13 - Valores médios para resistência ao arrancamento de parafuso - Superfície e Topo. ....	97
Tabela 14 - Dados ANOVA para o arrancamento de parafuso AP-S. ....	97
Tabela 15 - Dados ANOVA para o arrancamento de parafuso AP-T. ....	97

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**AP-S** – Arrancamento de parafuso de superfície

**AP-T** - Arrancamento de parafuso de Topo

**AsBEA** - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

**ASTM** - American Society for Testyng & Materials

**CBCS** - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

**COPPE / UFRJ** - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro

**D** - densidade do corpo de prova

**DRX** - Difratometria de Raios

**DTG** - Termogravimetria Derivada

**D %** - Percentual da densidade

**DOE** - Design of Experiments (Planejamento de Experimentos)

**E<sub>0</sub>** - Espessura inicial

**E<sub>1</sub>** - Espessura final

**FRX** - Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva

**HDT** - Temperatura à distorção térmica

**IARC** - Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer

**I** - Inchamento em espessura do corpo-de-prova

**Ic** - Índice de cristalinidade

**IDAM** - Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas

**IR** - Infrared (Termografia por infravermelho)

**LaMAC** - Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos

**LEM** - Laboratório de Ensaio de Materiais

**M** - Massa do corpo-de-prova

**NaOH** – Hidróxido de sódio

**ONU** - Organizações das Nações Unidas

**P** - Carga na ruptura

**PU** - Poliuretano

**S** - Área da superfície do corpo-de-prova

**Si** - Silício

**TG** - Termogravimetria

**TP** - Tração perpendicular

**UFAM** - Universidade federal do Amazonas

**USP** - Universidade de São Paulo

**V** - Volume do corpo-de-prova

**% Cr** - percentual cristalino



## Sumário

Sumário.....	17
1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS .....	20
1.1.1 Objetivos Gerais .....	20
1.1.2 Objetivos específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Materiais Compósitos .....	21
2.1.1 Definição e Classificação .....	21
2.1.2 Compósitos poliméricos .....	23
2.1.3 Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos.....	24
2.2 Matriz - Resinas Poliméricas .....	24
2.2.1 Adesão .....	28
2.2.2 Adesivos e emissões voláteis.....	28
2.2.3 Resinas poliuretanas .....	28
2.3 Fibras .....	31
2.3.1 Fibras naturais .....	31
2.4 Piaçava.....	34
2.4.1 Estrutura física e química das fibras vegetais.....	37
2.4.2 Componentes Lignocelulósicos.....	39
2.4.3 Métodos de modificação superficial das fibras vegetais .....	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1 Descrição da Pesquisa.....	50
3.1.1 Materiais .....	50
3.1.2 Metodologia.....	51
4 RESULTADOS .....	76
4.1 Caracterização da Fibra.....	76
4.1.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-x por Energia Dispersiva (FRX/EDX) 76	
4.1.2 Difractometria de Raios X (DRX) .....	77
4.1.3 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).....	79
4.1.4 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG).....	82
4.2 Caracterização Física do compósito .....	83
4.2.1 Ensaio de Densidade.....	83
4.2.2 Ensaio de Inchamento durante 24 horas .....	85

4.2.3	Inchamento após o Envelhecimento .....	87
4.2.4	Termografia por infravermelho (TI/IR).....	90
4.2.5	Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).....	94
4.3	Caracterização Mecânica .....	96
4.3.1	Arrancamento de Parafuso.....	96
5	CONCLUSÃO.....	99
	REFERÊNCIAS .....	100

# 1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, vários setores de atividades, principalmente a engenharia, são envolvidos. Dentre eles, o setor da construção civil, em especial, é responsável pelo consumo de até aproximadamente 50% dos recursos naturais, energia e emissões de poluentes (LEVY, 1997; PINTO, 1999; JOHN, 2000; JOHN, 2001), incluindo a geração de cerca de 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos (MESQUITA, 2012).

Desta forma, a busca por um desenvolvimento tecnológico sustentável tem sido de fundamental importância para a sociedade, aliando economia a sistemas ecologicamente corretos, viáveis e socioambientais. Assim, minimizar impactos e passivos ambientais, bem como, a busca pela eficiência na utilização de recursos naturais, tornaram-se desafios atrativos para o campo das engenharias.

O Relatório Brundtland: intitulado “Nosso futuro Comum (1987)”, proposto pela ONU (Organizações das Nações Unidas), adota o desenvolvimento sustentável como o atendimento das necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras, logo, um desenvolvimento sustentável deve ser uma premissa de escala global.

Dentre os princípios básicos de sustentabilidade na construção civil, apresentadas pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) em conjunto com a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), podemos citar: o uso de material/ matéria-prima que contribua com a ecoeficiência do processo; redução do consumo de energia e água; e a introdução de inovações tecnológicas sempre que possível, fatores que contribuem para um novo advento da tecnologia, onde a utilização de recursos não-renováveis não seja mais predominante (AsBEA, 2012; MOTTA e AGUILAR, 2009)

Na busca pela solução de tais problemas, pesquisas estão sendo realizadas no campo de novos materiais, garantindo a preservação dos recursos naturais e atribuindo valor a novas fontes de matéria-prima, como as fibras vegetais. Dentre os chamados “novos” materiais, encontram-se os compósitos reforçados por estas fibras, que visam à melhoria de propriedades relevantes como as mecânicas e térmicas (BADER, 1983).

As fibras vegetais também podem ser denominadas por fibras celulósicas ou lignocelulósicas, considerando sua composição (PUKANSKY, 2005). Sua utilização tem como principais vantagens, ser um recurso renovável com grande disponibilidade, além de ser um material biodegradável acarretando menos impactos ao meio ambiente. Essas fibras também possuem baixa densidade e alta deformabilidade, além de um custo baixo de

aplicação, quando comparadas às fibras sintéticas (CARASHI e LEÃO, 2001; NECHWATAL, 2003; FRANCO, 2004).

Contudo, as fibras lignocelulósicas são hidrofílicas e em contato com uma matriz polimérica hidrofóbica, apresentam baixa aderência entre fibra/matriz.

Ademais, diversos fatores podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos; se tratando de fibras vegetais, os cuidados vão desde o tipo de matriz polimérica escolhida e o processamento do compósito, ao comprimento e orientação das fibras, bem como, seus possíveis tratamentos (MULINARI, 2009; VENTURA, 2009). Dentre os tratamentos químicos consolidados destaca-se a mercerização, cujo processo utiliza uma base, NaOH, com o intuito de modificar as superfícies das fibras, visando aumentar sua aderência na matriz (ESMERALDO, 2006).

Neste contexto, no presente trabalho foram avaliados os efeitos do processo de mercerização em fibras de Piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*), oriundas do alto Rio Negro, nas propriedades físicas, mecânicas e térmicas de painéis de partículas de média densidade. A matriz adotada foi a resina poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona (*Ricinus communis*).

A pesquisa consistiu em duas etapas, sendo que na primeira foi realizado um estudo das condições de tratamento químico das fibras, incluindo caracterizações físicas e morfológicas, e na segunda etapa, painéis contendo essas fibras e resina poliuretana foram produzidos, e suas propriedades mecânicas e físicas foram avaliadas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

O trabalho tem como premissa, agregar valor à fibra de piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*), modificando sua superfície e viabilizando seu uso como matéria-prima em reforços de painéis de partículas de média densidade.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência do tratamento químico por mercerização com NaOH nas modificações superficiais da fibra através de análises químicas, físicas e morfológicas.
- Avaliar o comportamento físico, térmico e mecânico dos painéis de partículas produzidos utilizando fibras de Piaçava Amazônica (*Leopoldinia piassaba*), tratadas e não-tratadas (*in natura*).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Materiais Compósitos

Materiais com propriedades específicas e não usuais são necessários para uma gama de aplicações de alta tecnologia, tais como os encontrados nas indústrias aeroespaciais, submarina, de bioengenharia, de transportes, construção civil, entre outras. Em vista disso, as combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas pelo desenvolvimento de materiais compósitos.

Pode-se dizer que os compósitos compõem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, cujo um dos componentes, descontínuo, proporciona resistência aos esforços – denominado componente estrutural e, o outro, meio contínuo, atua na transferência desses esforços – componente matricial (HULL, 1982).

#### 2.1.1 Definição e Classificação

Segundo as normas da *American Society for Testyng & Materials* - ASTM D3878-95, o compósito é constituído por dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que podem ser combinados para obtenção de um material útil e com certas propriedades não encontradas nos materiais isoladamente. A denominação destes materiais é bastante variada e pode ser encontrada na literatura como: compostos, conjugados ou compósitos (MANO, 1991).

Os compósitos podem ser naturais ou sintéticos, considerando o tipo de matriz, reforço, e seus arranjos, conforme Figura 1, (NETO e PARDINI, 2006; CALLISTER e RETHWISCH, 2013).

As propriedades dos compósitos levam em consideração suas fases constituintes, quantidades utilizadas e geometria da fase em dispersão (distribuição, orientação, forma e tamanho das partículas). Em vista disto, os compósitos geralmente dispõem-se em duas fases: matriz e fase dispersa (CALLISTER e RETHWISCH, 2013).

Segundo Mueller (2004), a matriz tem por finalidade preservar a integridade estrutural do compósito por meio de ligação simultânea com a fase dispersa, uma vez que é dotada de características coesivas e adesivas. Isto posto, a matriz por ser contínua, é responsável por envolver a fase dispersa, protegendo assim o material de reforço, unindo os elementos e distribuindo os esforços. Logo, melhoram-se as propriedades da fase matricial incorporando-

se outros constituintes (a agente de reforço /fase dispersa), onde juntos, produzirão o compósito.

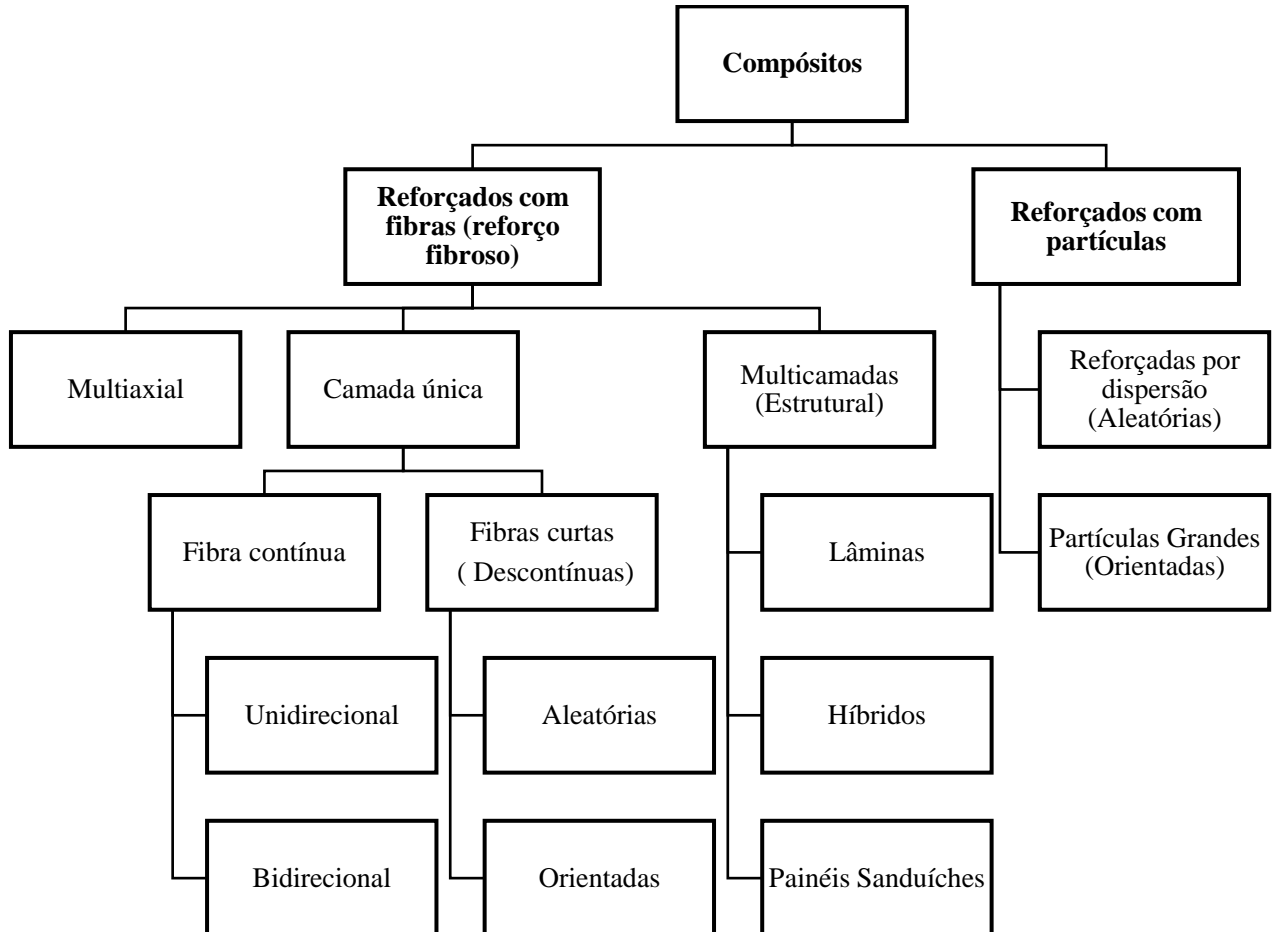


Figura 1 - Sistema de Classificação de Materiais Compósitos.

Fonte: Adaptado de Neto e Pardini (2006); Callister e Rethwisch (2013).

Estes podem ter muitas combinações cuja viabilidade considera as condições de processamento e suas compatibilidades. A matriz pode ser metálica, cerâmica ou polimérica, conforme classificação apresentada no diagrama da Figura 2, a seguir:

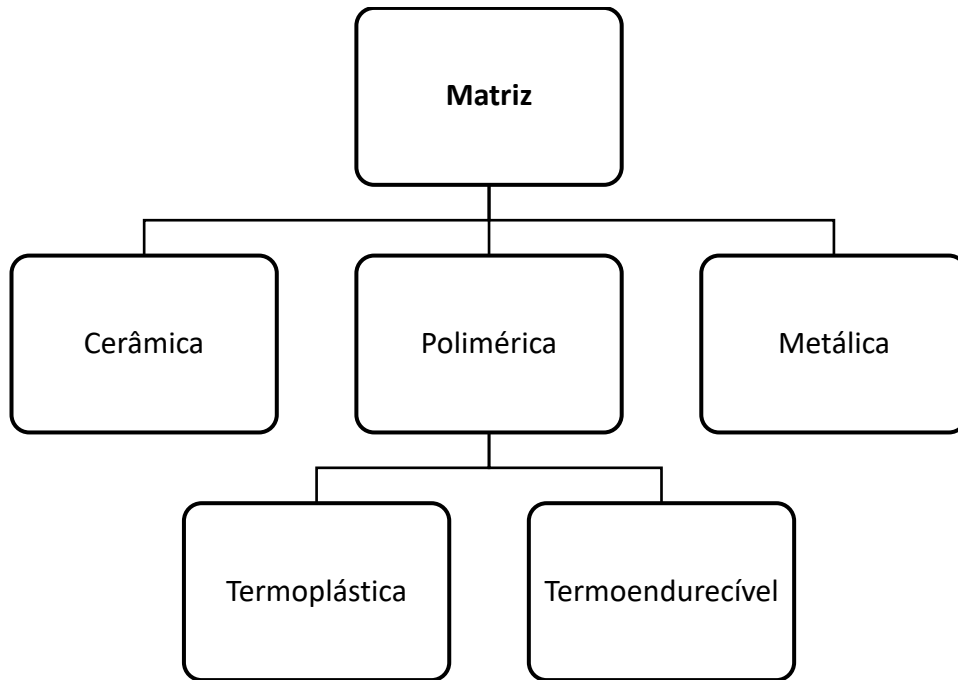


Figura 2 - Classificação de Materiais Compósitos, relativa ao tipo de matriz.

Fonte: Callister e Rethwisch (2013).

### 2.1.2 Compósitos poliméricos

Dentre as matrizes utilizadas em compósitos, destaca-se a matriz polimérica que vem despertando interesse no mercado, devido à sua característica de baixa densidade, que é um dos grandes problemas da construção civil. Os polímeros podem ser divididos em 3 classes principais: plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO, 2006).

Os plásticos subdividem-se em termoplásticos e termofixos, sendo que os primeiros possuem a capacidade de deformação quando submetidos ao aumento de temperatura e pressão, endurecendo após resfriamento, enquanto que os termofixos ou termorrígidos amolecem uma vez aquecidos, porém após processo de cura tornam-se irreversíveis, ou seja, as ligações cruzadas que se formam, os tornam rígidos (CALLISTER, 2008).

Na construção civil, os polímeros, ou chamadas resinas termorrígidas, foram utilizadas como matrizes nas primeiras aplicações de compósitos poliméricos (BLEDZKI e GASSAN, 1999). A indispensabilidade de altas resistências mecânicas encaminhou à aplicação de resinas à base poliéster – alquílica e vinílica – e de base epoxídica para uso em peças estruturais (HOLLAWAY, 2010).



### 2.1.3 Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos

Quanto ao comportamento mecânico, os compósitos poliméricos caracterizam-se pela forma que respondem às solicitações exercidas, relação tensão - deformação. A mobilidade das cadeias poliméricas é determinante nas características finais do compósito, destacando-se resistência à compressão, à tração, à flexão, módulo de elasticidade, tenacidade, abrasão, dureza, impacto e fadiga.

Outro fator a se ponderar, é o teor de vazios. Estes surgem durante o processamento, seja pela incorporação ineficiente da resina sobre o reforço (fibras), seja pela formação de voláteis durante a cura do polímero. D'Almeida e Nogueira (1994) verificaram que compósitos com vazios  $\geq$  acima de 2% podem ter sua resistência comprometida.

## 2.2 Matriz - Resinas Poliméricas

Os adesivos usados como matriz são substâncias que podem unir dois ou mais materiais (IWAKIRI, 2005) e podem ser utilizados em diversas formas físicas (líquida, pastosa, granular, pó ou em filmes) (COGNARD, 2005).

Sua utilização para a produção de materiais não é recente. Segundo Iwakiri (2005), seu uso pode ser observado no Egito antigo, nas lâminas de madeira para mobiliários e em sarcófagos, fabricados com resina à base de albumina.

Em torno de 1930 foi produzido comercialmente o primeiro adesivo para a madeira com base em polímeros sintéticos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010), denominado resina à base de fenol-formaldeído. Seguiu-se em 1931, com o surgimento da resina à base de uréia-formaldeído e por volta dos anos 40, produziu-se a melamina-formaldeído seguindo com a resorcina-formaldeído, em 1943 (TSOUMIS, 1991).

Com o aparecimento das máquinas para beneficiamento de madeira, houve intensa procura pelas resinas poliméricas, intensificando seu uso em colagem de lâminas na produção de compensados. Assim, o desenvolvimento da química dos materiais ocorreu na produção e aperfeiçoamento de novos adesivos para madeira (IWAKIRI, 2005). No Quadro 1, o autor classifica as resinas da seguinte forma:

Quadro 1 - Classificação dos adesivos.

<b>ADESIVOS</b>		
<b>Naturais</b>	<b>Sintéticos termoplásticos</b>	<b>Sintéticos termorrígidos</b>
Derivados proteicos de origem animal	Polivinil/acetato	Uréia-formaldeído
Derivados proteicos de origem vegetal	Polivinil/acrilato	Melamina-formaldeído
Derivados de amido	Polietileno	Fenol-Formaldeído
Éter celulósico	Polistírol	Resorcina-formaldeído
Borracha natural	Borracha Sintética	Tanino-formaldeído

Fonte: Iwakiri (2005).

Dentre os vários critérios de classificação existentes, podemos considerar a estrutura molecular, a origem, o processo de endurecimento, o modo de apresentação e o desempenho. O critério baseado no desempenho é considerado uma das formas mais interessantes a se explorar para quem trabalha ou trabalhará com adesivos/resinas. Nesse contexto, podemos definir dois grupos conforme representados na Figura 3: os adesivos estruturais e os adesivos não estruturais (MOURA et al., 2005).

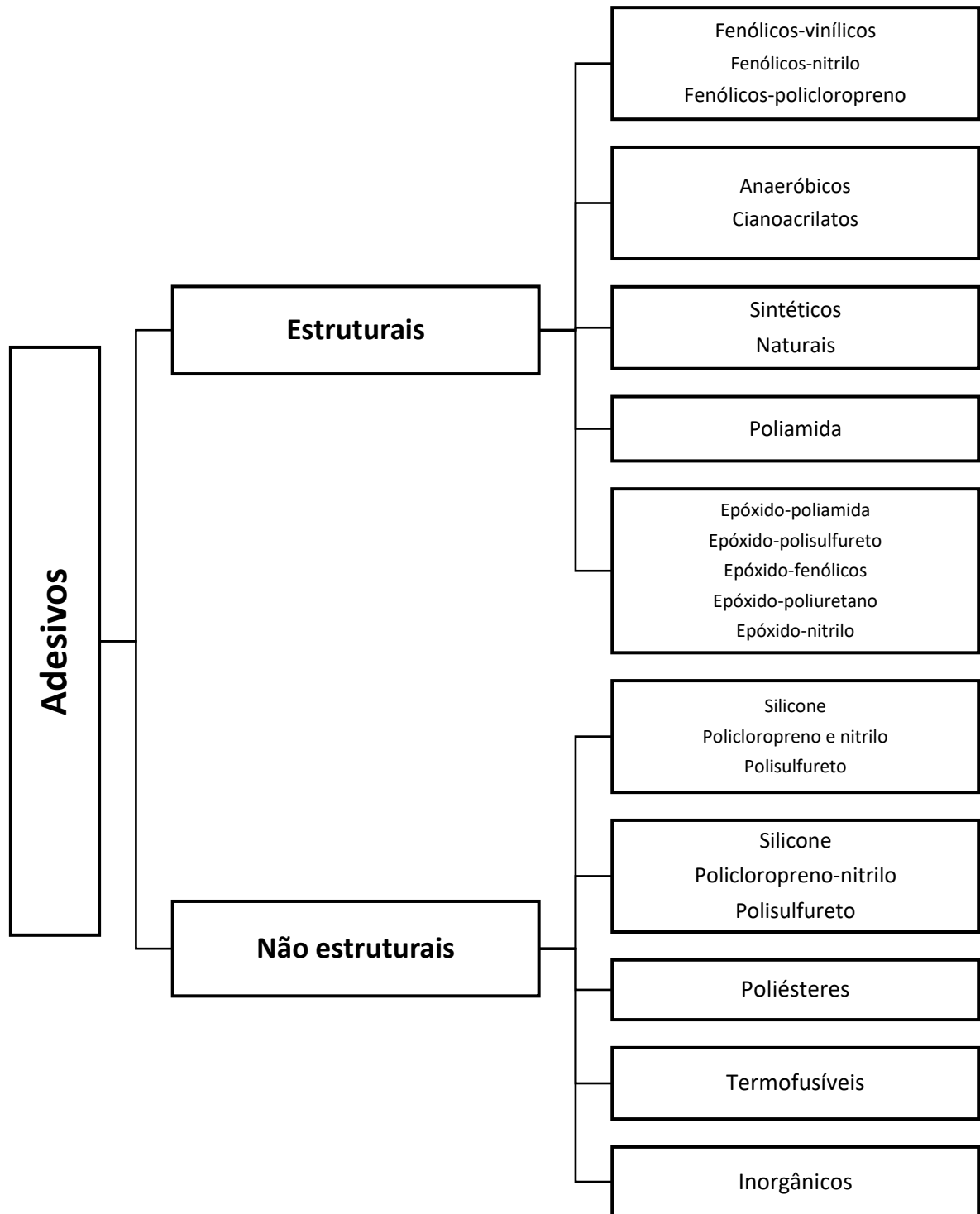


Figura 3 - Agrupamento dos adesivos segundo o desempenho.

Fonte: Adaptado de MOURA et al., (2005).

Na Figura 4 é ilustrada a classificação dos adesivos quanto à origem, segundo Campos e Rocco Lahr (2004):

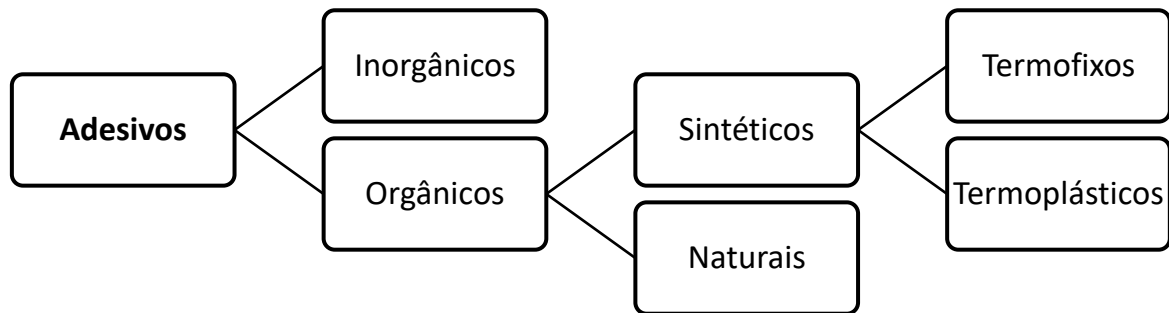


Figura 4 - Classificação dos adesivos.

Fonte: Dados Adaptados de Campos e Rocco Lahr (2004).

A resina ideal deve ser flexível e ao mesmo tempo ter uma elevada resistência à tração. No entanto, estas duas propriedades são difíceis de serem conjugadas (NASSEH, 2011).

Segundo Nasseh (2011), no que se refere às propriedades mecânicas de uma resina, para tornar-se ideal:

“Uma alta resistência significa ter uma resina quebradiça, enquanto uma boa elongação significa ter uma resina de baixa resistência à tração, baixa resistência à temperatura (HDT), e baixa resistência à absorção de água. A temperatura à distorção térmica – HDT é a temperatura até à qual se espera que as propriedades das resinas se mantenham constantes. Assim, a resina deve ser capaz de suportar grandes deformações sem apresentar distorção permanente, e deve resistir e dissipar as microfissuras dentro do compósito”.

As resinas são de suma importância, uma vez que, devem possuir a capacidade de aderir às fibras, protegendo-as contra ações externas, como absorção de água, abrasão e ataques químicos, ainda que sua resistência seja algumas vezes, inferior à das fibras (NASSEH, 2004).

### 2.2.1 Adesão

A aderência entre as superfícies fibra/matriz se dá pelo controle dos fatores químicos e físicos envolvidos na adesão.

Quando o adesivo infiltra na parede celular, desenvolve ligações mais duráveis e resistentes à água. Assim, elevadas áreas de contato do adesivo com a fibra podem aumentar as forças intermoleculares tais como: forças eletrostáticas, forças de Van der Waal's, dipolo-dipolo (VAN DER WAAL'S, 1910), forças de dispersão, pontes de hidrogênio, ligações covalentes e interações ácido-base (GALEMBECK e GANDUR, 2013), que são importantes para a resistência da ligação.

Os feitos básicos primordiais de um adesivo é sua capacidade de molhabilidade e dispersão na superfície do substrato preenchendo um espaço existente e, conseqüentemente, formando ligação permanente entre eles (PADDAY, 2005). Logo, o processo de produção de compósitos com material lignocelulósico pode ser influenciado pelas características físico-químicas do adesivo, e pela composição e características do material de reforço, no caso as fibras. Dentre as variáveis de processo podemos destacar a viscosidade do adesivo, o tempo de gelatinização e o pH da resina. Especificamente, no caso do variável pH, os cuidados são essenciais para evitar baixa adesividade, além da degradação das fibras (DIAS, 2005).

### 2.2.2 Adesivos e emissões voláteis

Dentre os principais adesivos utilizados na produção de compósitos poliméricos, especificamente em painéis compensados, destacam-se aqueles à base de fenol-formaldeído e uréia-formaldeído (IWAKIRI, 2005). Porém, alguns adesivos, como uréia formaldeído, apresentam alta taxa de volatilização de substâncias (formaldeído) que são altamente tóxicas (CAMPOS e LAHR, 2007; BOLOGNESI, 2010; JAAKKOLA e QUANSAH, 2010). Devido à essa toxicidade, este adesivo passou a ser classificado como substância comprovadamente cancerígena para o homem em 2004, pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer – IARC, (SOLAL et al., 2008).

Em vista disto, buscou-se novas propostas não poluentes com base em fontes renováveis, como a resina poliuretana derivada do óleo de mamona.

### 2.2.3 Resinas poliuretanas

Os poliuretanos (PU) foram desenvolvidos por Otto Bayer em 1937. A sua comercialização teve início ainda na década de 30, com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas. Na década de 40, na Alemanha e Inglaterra, foram originados os elastômeros de PU. Já na década de 50 registrou-se o grande desenvolvimento comercial dos PU (s), como espumas flexíveis. Na atualidade, o maior destaque é a moldagem por injeção e reação, RIM, que deu ímpeto aos estudos relacionando estrutura molecular e propriedades dos poliuretanos (VILAR, 1993).

Resultante da reação de um poliól (ou poliéster/ poliéter-poliól) com um isocianato, as resinas poliuretanas apresentam-se sob a forma bicomponente, onde a cura se dá pelo processamento lento em temperatura ambiente. Essas resinas são dotadas de boa flexibilidade e comportamento a baixas temperaturas, boa resistência ao arrancamento e à abrasão, bem como, boa tenacidade. Algumas de suas principais limitações é a elevada sensibilidade às proporções da mistura, toxicidade do isocianato e a baixa resistência ao corte à temperatura ambiente (MOURA et al., 2005).

Resinas Poliuretanas podem derivar do petróleo ou ser provenientes de fontes naturais e renováveis como os óleos vegetais, este último, pode derivar de vegetais como: soja, milho, açafrão, girassol, canola, amendoim, oliva, mamona, entre outros (PETROVIC, 1999).

Nas Figuras 5 e 6, se verifica a reação de formação do poliuretano através da reação entre os dois monômeros, di-isocianeto de para-fenileno e etilenoglicol.

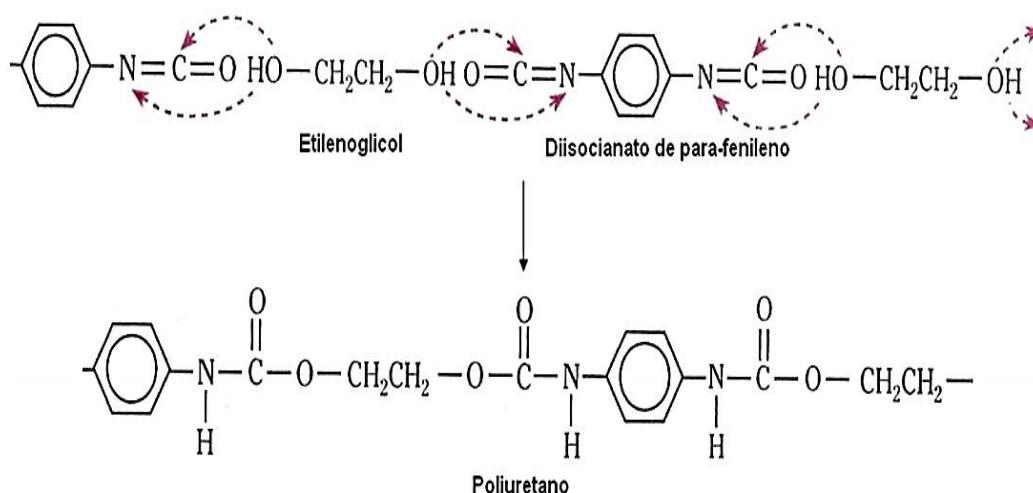
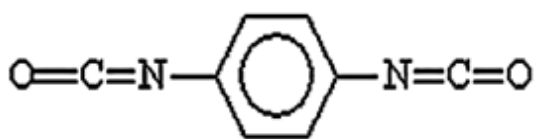
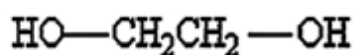


Figura 5 - Síntese de poliuretano a partir de diisocianato de para-fenileno e etilenoglicol.



Diisocianato de para-fenileno



Etilenoglicol (etanodiol)

Figura 6 - Matérias-primas comuns na indústria de poliuretano.

Fonte: Cangemi et al., 2009.

### 2.2.3.1 Resinas Poliuretanas à base de óleo de Mamona

O óleo de mamona é obtido da semente da planta “*Ricinus Communis*”, da família das Euforbiáceas (JOSÉ e BERALDO, 2006), encontrada em regiões tropicais e subtropicais. Sua obtenção ocorre pela compressão das sementes ou por extração com solvente, em forma de líquido viscoso (VILAR, 1993), com boa vida útil quando comparado a outros óleos vegetais (OGUNNIYI, 2006). Esse óleo é conhecido no Brasil como óleo de rícino e internacionalmente como “*Castor Oil*” (JOSÉ e BERALDO, 2006).

As primeiras propostas de elaboração de Poliuretanos derivados de óleo de mamona datam da década de 40 (VILAR, 1993). O desenvolvimento no Brasil ocorreu em 1983, no Instituto de Química de São Carlos/ USP (JESUS, 2000). Uma característica importante dessa resina é a ausência de solventes em sua composição, logo, não se faz nocivo à saúde e nem ao meio ambiente, viabilizando sua produção comercial. (WILCZAK, 2014). É considerado um polímero bicomponente, e na condição de espumas poliuretanas pode evidenciar degradação, em presença de microorganismos oriundos de agentes biológicos (CANGEMI, 2006).

Segundo José e Beraldo (2006), é possível sintetizar polióis e pré-polímeros de características diferentes por meio deste óleo que, resultam em um adesivo de poliuretano. Dentre suas vantagens destaca-se a sua obtenção a partir de matéria-prima renovável e natural, além de possuir propriedades mecânicas superiores às de alguns polímeros derivados de petróleo (DIAS e LAHR, 2004).

## 2.3 Fibras

Os compósitos reforçados com fibras datam do começo da civilização humana. Exemplo disto, é a mistura de barro com palha na fabricação de tijolos de adobe (MEHTA, 2008). A busca de confecções de materiais compósitos reforçados por fibras e/ou partículas pode ser desde melhorias mecânicas a químicas, como substituição de material e densidade do produto final.

A disposição das fibras, no compósito, pode ser contínua ou descontínua, alinhada ou dispersa. Segundo Hyer (1998), os compósitos poliméricos reforçados por fibras contínuas possuem melhor desempenho mecânico por denotarem alta resistência e rigidez na direção das fibras, não obstante, baixo desempenho na direção transversal, requerendo controle de resistência e rigidez pelas propriedades da matriz.

Segundo Silva (2003), já as fibras descontínuas, promovem propriedades mecânicas inferiores quando comparadas às contínuas, todavia, oferecem maior facilidade de processamento com menor custo. O carregamento na fibra é função de seu comprimento, e os extremos das fibras são frequentemente pontos concentradores de tensões que instigam na interface tensões cisalhantes.

### 2.3.1 Fibras naturais

Por volta de 1940, quando foram descobertas melhorias de resistência e variedade de propriedades dos compósitos com adição de fibras sintéticas, as pesquisas com compósitos de fibras vegetais retardaram. Assim, com o advento da fibra de vidro, adotou-se esse material em aplicações estruturais, substituindo o metal em várias manufaturas. Com a primeira crise do petróleo em 1970, o interesse por materiais naturais aumentou, dando origem aos compósitos reforçados com fibra de juta e sisal para aplicação em construções de habitações populares. Com a crescente evolução da ciência, apenas recentemente aprimorou-se o uso destes materiais, permitindo projetar as propriedades almejadas à resina específica, para seu consumo em comutação à materiais convencionais (PANAR e EPSTEIN, 1984; HARMIA et al., 2005; HILL e HUGHES, 2010).

As fibras naturais vêm sendo estudadas para uso como reforço em compósitos por aliarem (BLEDZKI e GASSAN, 1996). Possuem registros históricos há milhares anos, como o uso têxtil do linho, seda e algodão, que datam mais de 5000 anos (ZANGIACOMI, 2002).



Essas fibras, em comparação às fibras sintéticas, apresentam algumas vantagens tais como: baixa densidade, alta deformabilidade, e baixa abrasividade aos moldes e aos equipamentos de mistura (TAJVIDI, 2003). Também contribuem na redução da dependência em matérias/fontes de energia não renováveis, ocasionando menor emissão de gases e poluentes, recuperação de energia, e em alguns casos biodegradabilidade dos resíduos (JOSHI et al., 2004).

Com o crescente desenvolvimento da indústria e da tecnologia, as fibras lignocelulósicas despertaram interesse no setor automobilístico. Questões econômicas tornaram estas fibras um grande potencial em substituição aos materiais sintéticos, especialmente a fibra de vidro, reduzindo o peso dos componentes veiculares em até 40% (ZAH et al., 2007). Isso justifica-se pelo fato de as fibras lignocelulósicas, se comparadas as sintéticas, tornarem os compósitos mais leves (MONTEIRO et al., 2011).

Apesar de garantirem leveza ao produto final, a baixa densidade pode comprometer o processamento do material, assim como, a característica hidrofílica pode levar a absorção de água em compósitos (KOZLOWSKI, 2004). Além disso, possuem baixa resistência térmica, podendo ser propensas a um apodrecimento ou incompatibilidade com a matriz, e ter suas propriedades físicas, químicas e mecânicas influenciadas no processo produtivo (RODRIGUÉZ et al., 2005; VAN DE WEYENBERG et al., 2006; JOHN e ANANDJIWALA, 2008; KALIA et al., 2009; MYLSAMY e RAJENDRAN, 2011).

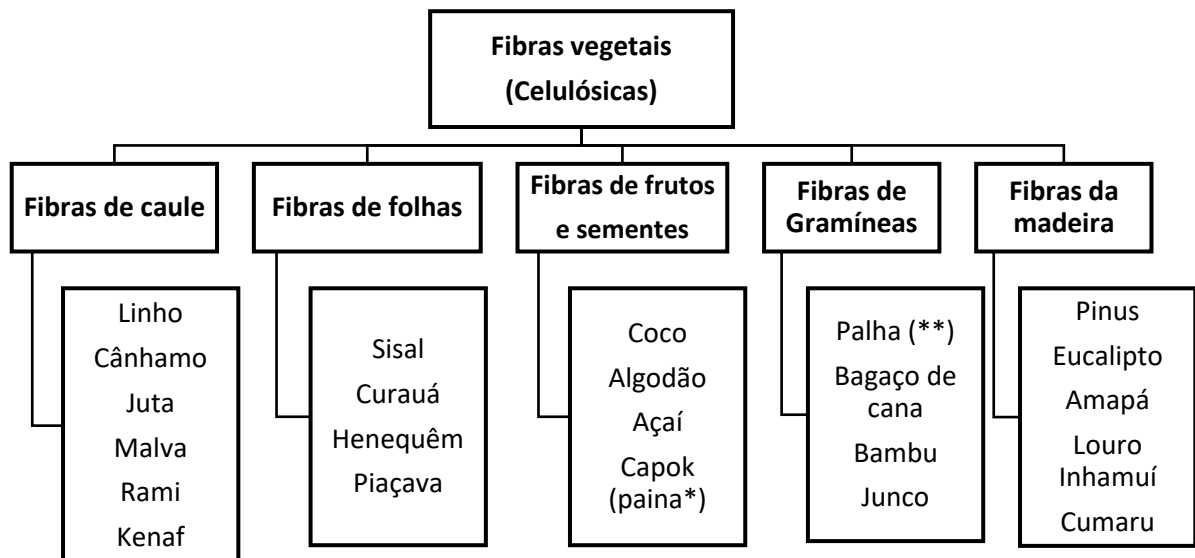
Devido a incompatibilidade entre fibra natural e matriz, muitas vezes é necessário a modificações da fibra por meio de tratamentos físicos ou químicos, a fim de melhorar a aderência entre ambas (Pandey et al., 2010).

As fibras naturais podem ser derivadas de animais, vegetais e minerais, tendo suas propriedades físicas relacionadas à sua estrutura química. São heterogêneas, ainda que de mesma espécie, por dependerem de fatores como solo, condições climáticas, colheita e outros (SANTOS, 2006).

Segundo Quirino (2010), podem ser agrupadas em dois grandes grupos: resíduos agrícolas e fibras cultivadas para extração. As fibras extraídas são provenientes de várias partes (identificadas na Figura 7), como exemplo, as seguintes categorias (MEDINA, 1970; SILVA, 1999):

- Fibras de semente: Algodão e Açaí
- Fibras de Líber (Caule): Juta, Linho e Rami

- Fibras da Folha: Sisal, Bananeira, Curauá e Piaçava
- Fibras de Fruto: Coco e Paina
- Fibras de Raiz: Zacatão
- Fibras de Madeira: madeira picada e serragem



(\*) Fibras de cápsula (interior do fruto da Paineira)

(\*\*) Palha de trigo, arroz, aveia, cevada, etc.

Figura 7 - Classificação das fibras vegetais.

Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2014).

Pela classificação Botânica temos as fibras divididas em monocotiledôneas e dicotiledôneas. Segundo (YOUNG, 1997; MEDINA, 1970):

- Monocotiledôneas: são conhecidas como fibras de folha, vasculares e em feixes.
- Dicotiledôneas: fibras macias obtidas dos caules de plantas dicotiledôneas (angiospermas com sementes divididas), destinadas principalmente para indústria têxtil.

Segundo Young (1997), tamanha diversidade de fibras proporciona dificuldades para sua classificação. Em vista disto, classificou-se as fibras vegetais ou lignocelulósicas de

acordo com o local de retirada semelhante ao proposto por Medina (1970). Conclui-se que as fibras vegetais podem ser classificadas segundo a origem anatômica, a natureza química, econômica e a origem botânica.

Vários estudos com o objetivo de explorar a potencialidade das fibras vegetais vêm sendo implementados no campo da engenharia. Uma de suas utilizações é como reforço em compósitos na busca por melhorias das propriedades mecânicas.

Benini (2011) desenvolveu compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais provenientes da casca do coco verde e do bagaço de cana de açúcar, utilizando o poliestireno de alto impacto (HIPS) como matriz termoplástica. Obteve materiais mais rígidos e menos deformáveis, com propriedades termomecânicas satisfatórias para aplicações com custo baixo.

Desta forma, destaca-se o potencial uso de fibras lignocelulósicas em diferentes aplicações. No Brasil, um dos exemplos dessas fibras para reforço de compósitos poliméricos é a Piaçava. Segundo Monteiro et al., (2006) uma de suas vantagens é a resistência à tração, comparável as fibras de sisal e juta, da ordem de 400 MPa.

## 2.4 Piaçava

A Piaçava é uma palmeira nativa do Brasil, da família *Arecaceae* (OBJETOS NATURAIS, 1999). Sua denominação popular tem origem na língua indígena Tupi, significando “Planta Fibrosa”. Suas espécies são provenientes do Acre (*Aphandria natalia*), Bahia (*Attalea funifera*) e do Amazonas (*Leopoldinia piassaba*).

Seu desenvolvimento ocorre em solos de baixa fertilidade, inadequados para exploração de muitos cultivos. Dentre as espécies desta palmeira, a Bahia é maior produtora de fibras de piaçava do país, correspondendo a 95,2% do total nacional, seguida pelas piaçavas do Amazonas e do Acre (IBGE, 2014).

Segundo Vinha 1997, essas espécies são diferenciadas pelas suas fibras. Sendo que , a fibra de piaçava Bahia, é mais comercializada devido suas fibras longas, rígidas e impermeáveis, conservando elasticidade enquanto umedecida. As fibras de Piaçava do Amazonas por sua vez, são mais macias, flexíveis e elásticas.

São comumente utilizadas para fabricação de escovas, vassouras, cordoarias e artesanatos, e atualmente estão sendo empregadas na composição de coberturas rústicas, como ilustrado na Figura 8.

As fibras são exploradas através do extrativismo, sendo que os estados produtores possuem sistemas diferentes. Na Bahia, existem associações de coletas nas comunidades, gerando renda e ao mesmo tempo preservando o ecossistema na Mata Atlântica. No Amazonas, ao contrário, o extrativismo se dá através do aviamento, onde o patrão fornece alimentação e mercadorias para mão-de-obra, em adiantamento aos serviços. Esse tipo de extrativismo não beneficia o coletor, deixando-os em regime de “escravidão” por dívidas (CONAB, 2015).



Figura 8 - Possibilidades de utilização das fibras de piaçava: a) escovas, b) vassouras, c) e d) artesanato, e) cobertura de piaçava.

Fonte: Odebrecht.

A piaçava da Amazônia (*Leopoldinia piassaba*) é oriunda do Alto Rio Negro, Amazonas. Seus maiores produtores são os municípios de Barcelos, Santa Isabel do Rio Negro, e São Gabriel da Cachoeira. Tem como características estipe simples, com 4 a 5 metros de comprimento. Os pecíolos (parte da folha que contém fibras) apresentam fibras com mais de 1 metro de comprimento (Figura 9).



Figura 9 - Palmeira “Leopoldinia piassaba”.

Fonte: (JOHN, 2011).

Na Tabela 1, é possível verificar os maiores produtores de fibras da região, ordenados pela maior produção de 2014.

Tabela 1- Histórico de Produção de Piaçava no Estado do Amazonas 2012-2015.

<b>MUNICÍPIO (Ordenados por maior produção em 2014)</b>	<b>2012 ton</b>	<b>2013 ton</b>	<b>2014 ton</b>	<b>2015* ton</b>	<b>2014** (%)</b>
Barcelos	400,0	389,0	432,9	500,0	70,7
Sta Isabel do Rio Negro	97,0	115,0	100,0	200,0	28,3
São Gabriel da Cachoeira	-	1,0	1,5	5,0	0,7
Novo Airão	-	-	1,0	2,0	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>497,0</b>	<b>505,0</b>	<b>535,0</b>	<b>707,0</b>	<b>100,0</b>

- Valor Não registrado/\*Valores estimados para o período/\*\*Contribuição no total de produção do estado em 2014

Fonte: (IDAM, 2015).

A coleta das fibras é condicionada pelo nível das águas. Durante os períodos secos os coletores ficam isolados sem a oportunidade de abastecimento de mercadorias, ou seja, o comerciante e/ou aviador, não pode navegar nos rios.

Segundo Josa (2008), através de dados registrados em entrevistas com os coletores ribeirinhos, as piaçavas podem ser classificadas de duas formas: pela altura e pela existência ou não de corte anterior. A forma de corte muda segundo o tamanho da Palmeira.

- Quanto a altura:
  - ✓ Piaçava nova: até 2 metros
  - ✓ Garrote: 2 a 4 metros
  - ✓ Garrotão: 4 a 6 metros
  - ✓ Gigante ou Velhão: maior de 6 metros
- Quanto ao corte
  - ✓ Não-explorável: fibra ruim ou sem fibra
  - ✓ Mamaipoca: já cortada, em ponto de re-corte
  - ✓ Virgem: nunca cortada

Para o tempo de recuperação das fibras pelo crescimento da palmeira, existe divergências na literatura: Putz (1979) estima 3 anos; Emperaire et al., (1992) 6 anos e Meira (1993), 10 anos. Quanto a área de exploração, pode-se chegar a um tempo provável de mais de 40 anos considerando árvores cortadas até 5 vezes (Meira, 1993), uma vez que, as regiões de corte são distintas (JOSA, 2008).

Pesquisas estão sendo realizadas a fim de verificar sua atuação como reforço em compósitos poliméricos. São reportadas na literatura em matrizes diversas como: epóxis (NASCIMENTO, 2009), polietileno de alta densidade (BONELLI et al., 2005), poliéster (AQUINO, 2003) e matrizes poliuretanas (SANTOS, 2014).

#### 2.4.1 Estrutura física e química das fibras vegetais

As características macroscópicas de maior interesse no estudo das fibras são aquelas que estão diretamente ligadas ao comportamento dos compósitos produzidos, assim, se o foco for as propriedades mecânicas, por exemplo, os objetos de estudo podem ser as dimensões, o volume de vazios, a resistência à tração ou módulo de elasticidade (PINHEIRO, 2008).

Fisicamente, as fibras (vegetais) são formadas de fibrilas, material celulósico, unido por material ligante. Em relação à composição química, as fibras naturais são similares, sendo constituídas basicamente por celulose, lignina, hemiceluloses, e integradas a outros materiais presentes em pequenas proporções como ceras e extrativos (BLEDZKI e GASSAN, 1999; ESMERALDO, 2006).

Diferem em suas composições e orientações das fibrilas - ângulo espiral (MOHANTHY et al., 2000). Na Figura 10, é apresentado um modelo da composição estrutural de um filamento fibrilar. A fibra é composta de diversas células que estão aglomeradas pela lamela intercelular. Esta é composta de hemiceluloses, pectina e, principalmente, lignina (uma média de aproximadamente 70%).

Em algumas fibras, a região central pode apresentar uma cavidade denominada lacuna (Lumen), responsável pela sua elevada capacidade de absorver água (JÚNIOR et al., 1997).

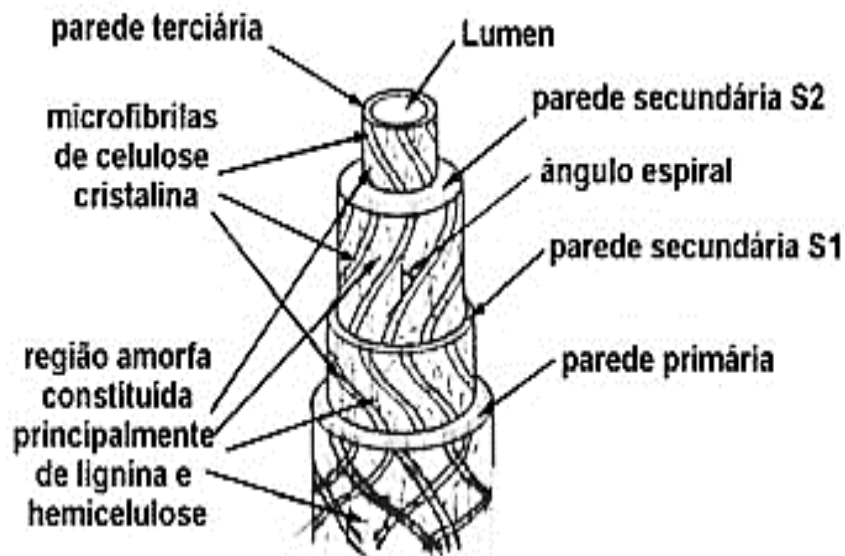


Figura 10 - Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal).

Fonte: Adaptado de (JOHN e ANANDJIWALA, 2008).

As paredes são formadas por microfibrilas de celulose em espirais ao longo do eixo, envolvidas por matriz de lignina e hemicelulose, cujo centro é o Lúmen, conforme Figura 11.

A lignina une as microfibrilas da fibra elementar, enquanto que a hemicelulose funciona como interface entre microfibrila de celulose e a lignina (IPT, 1988).

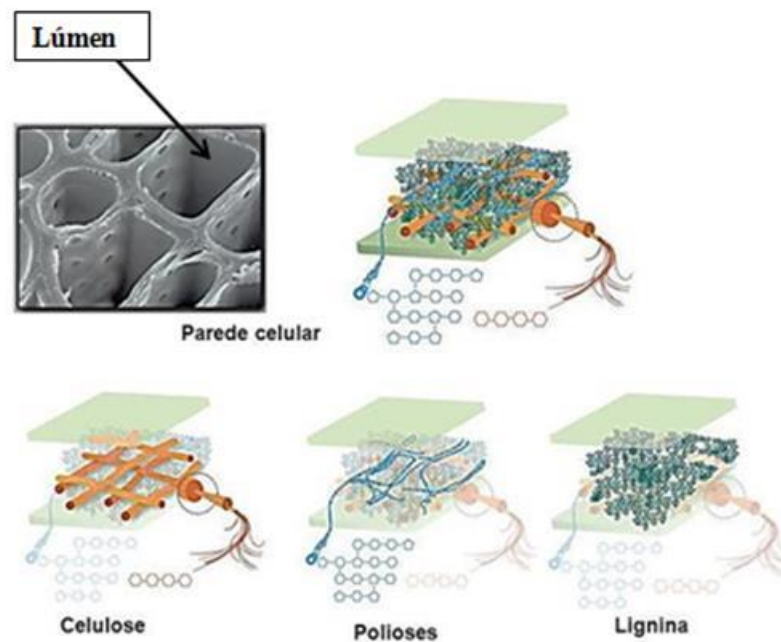


Figura 11 - Parede Celular-Fibras.

Fonte: KLOCK et al., 2005.

## 2.4.2 Componentes Lignocelulósicos

A composição química das lignoceluloses, que se associam à formação da parede celular, apresenta-se em quantidades variáveis em diferentes partes da planta, dependendo de fatores como espécie, idade, condições de crescimento, e outros que, podem variar de um vegetal para outro.

Podemos dividir os constituintes das fibras vegetais em substâncias macromoleculares e de baixo peso molecular, componentes majoritários e substâncias secundárias, com base na composição química das madeiras (KLOCK et al., 2005). Estes serão abordados nos próximos itens.

### 2.4.2.1 Componentes Majoritários

- Celulose



A celulose está localizada principalmente nas paredes secundárias das células vegetais. É um polissacarídeo apresentado como polímero de cadeia linear, consistindo única e exclusivamente de unidades de  $\beta$  - D - anidroglicopiranosose, que se ligam através dos carbonos 1- 4, possuindo organização estrutural parcialmente cristalina (KLOCK et al., 2005). Na Figura 12, visualiza-se a estrutura da parede celular, bem como, fórmula de representação da celulose, cujo estudo químico de representação iniciou-se em 1838 com Anselme Payen.

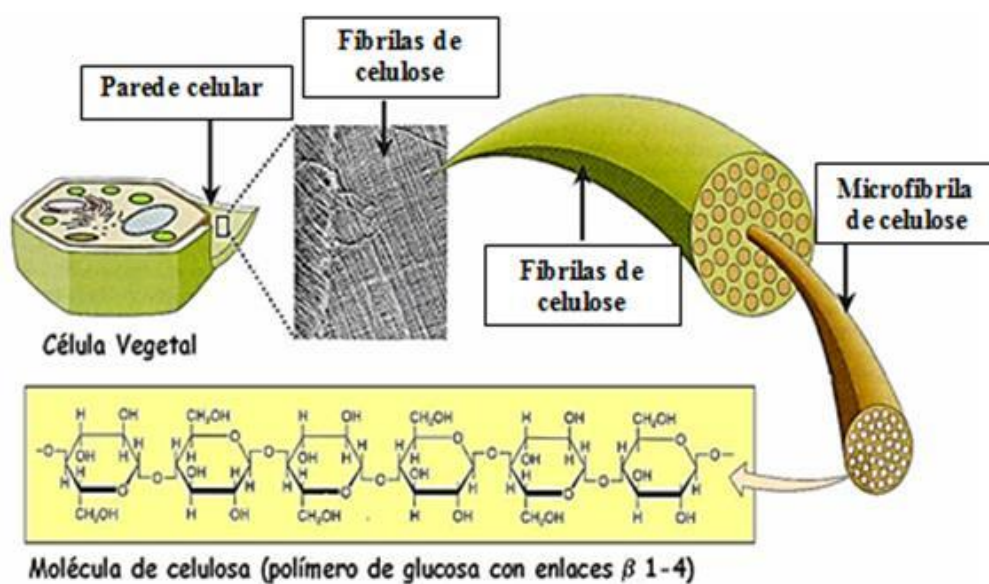


Figura 12 - Estrutura da parede celular de uma fibra vegetal.

Fonte: Francisco J.Garcia Breijo (2015).

A celulose compõe significativamente metade das madeiras, tanto coníferas, quanto folhosas, constituindo entre 40 e 50% de quase todas as plantas. Sua capacidade de formar ligações fortes de hidrogênio inter e intramoleculares conferem suas propriedades de estruturação microfibrilar, organização entre as regiões amorfas e cristalinas (onde feixes de celulose são agregados na forma microfibrilar em regiões altamente cristalinas e regiões desordenadas) e natureza altamente coesa (LAVOINE et al., 2012; KLOCK et al., 2005).

Por conta do seu alto grau de cristalinidade e conseqüentemente polimerização, a celulose costuma apontar maior solidez aos efeitos da degradação, seja ela mecânica, química ou térmica (AGARWAL et al., 2000).

Devido a isto, as microfibrilas (componentes extracelulares) são de suma importância para integridade das fibras elásticas, construindo fibrilas que por sua vez constroem fibras

celulósicas (Figura 13). O resultado é uma estrutura celulósica com alta resistência à tração e insolúvel em alguns solventes. Porém, mesmo insolúvel em água, possui grande afinidade com a mesma (KLOCK et al., 2005).

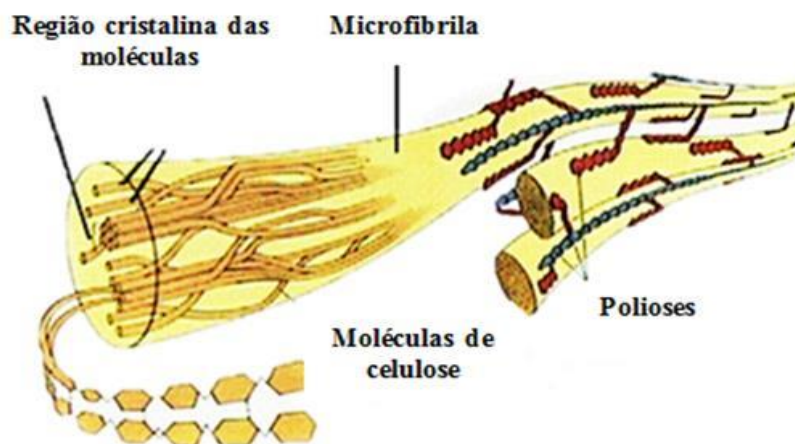


Figura 13 - Interação das moléculas de celulose.

Fonte: KLOCK et al., 2005.

- Polioses (Hemicelulose)

As polioses (Figura 14) são polímeros nos quais participam pelo menos dois tipos de unidades de açúcar (KLOCK et al., 2005). É uma mistura de polissacarídeos com baixa massa molecular, aliado à celulose nos tecidos das plantas (D'ALMEIDA In: SENAI & IPT, 1988). Embora constituídas por cadeias poliméricas menores, comparadas à celulose, possuem função estrutural semelhante ocasionando suporte mecânico às fibras (WIKBERG e MAUNU, 2004).

São polímeros onde em proporções variadas, podem aparecer condensadas as seguintes unidades de açúcar; xilose, manose, glucose, arabinose, galactose, ácido galacturônico, ácido glucourônico e ácido metilglucourônico. Deve-se atentar para o termo poliose, referente a uma classe de componentes poliméricos com propriedades peculiares em vegetais fibrosos, e não a uma designação de composto químico definido (KLOCK et al., 2005).

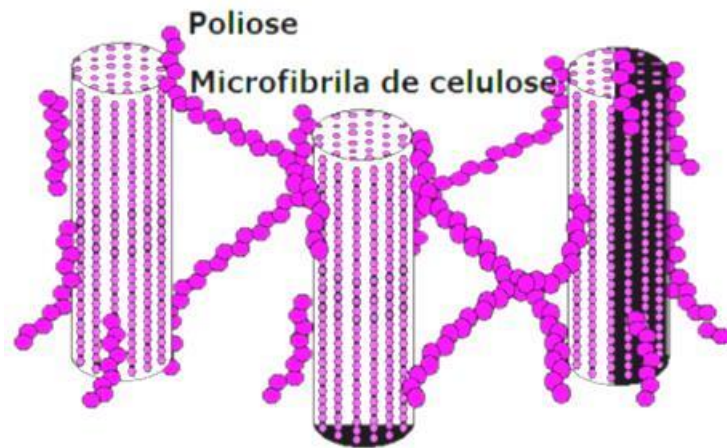


Figura 14 - Ligações Polioses (Hemiceluloses) com Celulose (microfibrilas).

Fonte: KLOCK et al., 2005.

Gonzaga (2006), cita dentre as diferenças básicas entre celulose e hemicelulose os seguintes fatores listados no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Divergências básicas entre celulose e hemicelulose.

CELULOSE	HEMICELULOSE
Constituída por única unidade monomérica glucosídica a D-glucose	Constituída por várias unidades ligadas entre si, pentoses e hexoses.
Grau de polimerização alto	Grau de Polimerização baixo
Formam fibras	Não formam fibras
Possuem regiões cristalinas e amorfas em sua estrutura.	Só possui regiões amorfas
Lentamente atacado por ácidos	Sofre ataque mais rápido por ácidos
Insolúvel em álcalis	É solúvel

Fonte: (GONZAGA, 2006).

- Lignina

É a terceira substância macromolecular componente da madeira (Figura 15), onde as moléculas são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. (KLOCK et al., 2005). É um hidrofóbico altamente ramificado, podendo classificar-se como

polifenol que associasse a celulose e a hemicelulose na composição de materiais lignocelulósicos (JOHN et al., 2008).

Confere rigidez à parede celular, sendo bastante insolúvel e apresentando menor higroscopicidade que a celulose. Muitas propriedades físicas e mecânicas da madeira dependem da lignina (BRITTEZ et al., 2006).

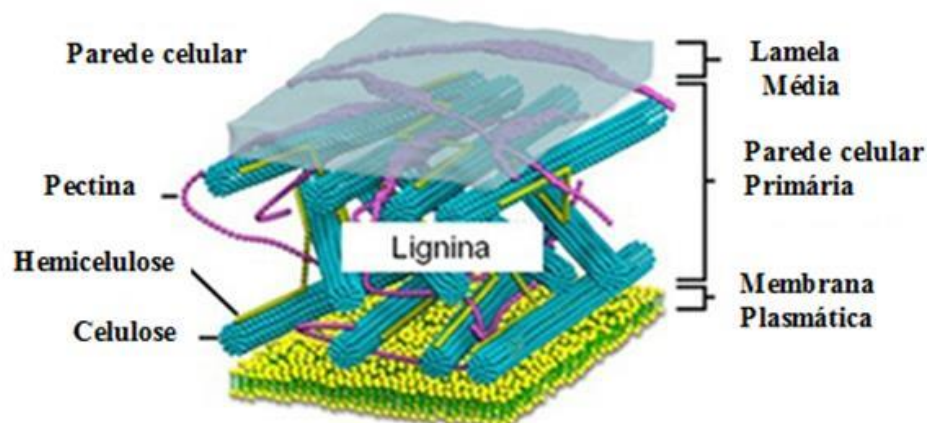


Figura 15 - Representação da composição da lignina na parede celular da fibra vegetal.

Fonte: (CRUZ, 2011).

#### 2.4.2.2 Substâncias Secundárias

Os materiais lignocelulósicos podem ser impregnados por diversas substâncias que, apesar de terem pequena parcela de contribuição, são responsáveis por diversas de suas características (GONZAGA, 2006; KLOCK et al., 2005). Essas substâncias podem ser classificadas simplesmente como: orgânicas e inorgânicas.

O material orgânico é denominado de extrativos, enquanto que, a inorgânico é obtido em forma de cinzas (KLOCK et al., 2005). São assim denominados, devido a facilidade de extração em água, solventes orgânicos neutros, ou volatizados a vapor (LEÃO, 2008; BROWNING, 1963; BLEDKZI e GASSAN, 1999; LEWIN e GOLDENSTEIN, 1991).

Lima et al., (2007) e Marra (1992) verificaram uma considerável influência dos extrativos na qualidade dos painéis. Essas substâncias minoritárias podem afetar as reações de polimerização do adesivo, sendo que o seu excesso ocasiona dificuldades durante o processo de colagem (JANKOWSKY, 1988).

### 2.4.3 Métodos de modificação superficial das fibras vegetais

Em geral, devido às fibras apresentarem em sua superfície ceras e graxas resultantes dos processos de beneficiamento e armazenagem, ou ceras de origem natural (inerentes da própria fibra), autores tem estudado os efeitos de tratamentos superficiais em fibras e em seus produtos finais, a fim de aumentar a aderência interfacial e resistência do compósito produzido.

As fibras vegetais apresentam características e composições químicas variadas (e da mesma maneira os diferentes polímeros), logo o efeito de um mesmo tratamento em diferentes fibras pode ser distinto, resultando em certo comportamento de tensão-deformação em determinadas regiões, denominadas deformações elásticas (regiões lineares) e deformações plásticas com rupturas frágeis (regiões que não permitem prever pontos de fraturas) (SYMINGTON et al., 2009 apoud THOMAS, 2011).

A escolha de um tratamento engloba vários fatores que devem ser considerados, tais como, a toxicidade do reagente, facilidade de remoção do reagente em excesso, custo, disponibilidade de recursos, tempo de aplicação, quantidade de resíduos gerada (THOMAS, 2011).

Outro ponto a ser considerado na escolha do tratamento diz respeito à resina usada como matriz. Sabe-se que os polímeros termofixos, por exemplo, quando comparados aos polímeros termoplásticos, tendem a apresentar melhor compatibilidade com as fibras vegetais. Podem possuir ramificações distribuídas ao longo da sua cadeia principal, com grupos funcionais polares que favorecem o molhamento das fibras (JOSEPH et al., 2000; LI et al., 2000; PAIVA e FROLLINI, 2000).

Assim, os tratamentos químicos são normalmente classificados em função do tipo da ligação carbono - oxigênio - carbono (C-O-C) formada, destacando-se as ligações éter, éster e acetal (KUMAR, 1982). Para Bledski e Gassan (1999), podemos dividir os tratamentos superficiais em dois grupos: métodos físicos e métodos químicos.

Os métodos físicos promovem alterações físicas e morfológicas na estrutura das fibras, sem alterar sua composição química. Esse método aumenta a área superficial fibrilar, tornando-a mais rugosa devido à retirada da camada de cera natural e/ou aderida, conseqüentemente, isso afeta outros aspectos como a absorção de água e densidade, decorrendo em ligações físicas e mecânicas superiores.

No que diz respeito aos métodos químicos, alteram a composição química da fibra provocando reações superficiais locais, chegando a atingir camadas mais internas. Introduzem

meios de ancoragem da fibra com a matriz, ou ativam grupos de hidroxilas presentes na celulose e hemicelulose, assim como, sítios de instaurações da lignina.

Tanto o método físico quanto o químico aumentam a adesão entre fibra e matriz, seja pelo aumento da rugosidade (físico), ou pela retirada da camada superficial (químico), que desenvolve uma camada reticulada de interação com a matriz, alterando a acidez da superfície fibrilar (JOSEPH et al., 2000).

Diversos são os reagentes utilizados e os tratamentos superficiais, tais como: solução alcalina com hidróxido de sódio (BARRETO, 2009; SILVA et al., 2015); ácido acético, cetona/água, soda cáustica (GUIMARÃES, 2012); sulfeto de sódio e anidrido acético (CALADO et al., 2003); acetona/água (IOZZI et al., 2010); acetilação e mercerização (NaOH) (MARTINS et al., 2002); solução alcalina com hidróxido de cálcio (FERREIRA et al., 2015), tratamento por plasma (CARNEIRO, 2013), entre outros métodos físico-químicos.

Objetivando melhorias na interface fibra/matriz, vários estudos estão sendo realizados para tratar as fibras modificando sua camada superficial, com o propósito de melhorar sua adesão à matriz. A seguir são abordados os tratamentos mais utilizados, bem como o tratamento por mercerização, foco deste trabalho.

#### 2.4.3.1 Acetilação e propionilação

São métodos de modificação superficial que visam tornar a fibra mais hidrofóbica. O grupo hidroxila dos constituintes fibrilar (hemicelulose, celulose amorfa e lignina) passam por reações de esterificação - reações químicas reversíveis na qual um ácido carboxílico reage com um álcool produzindo éster e água – com o grupo acetyl  $\text{CH}_3\text{CO}$  (JOHN E ANANDJIWALA, 2008; FERREIRA et al., 2007). Na Figura 16, é ilustrado o processo de acetilação na celulose amorfa.

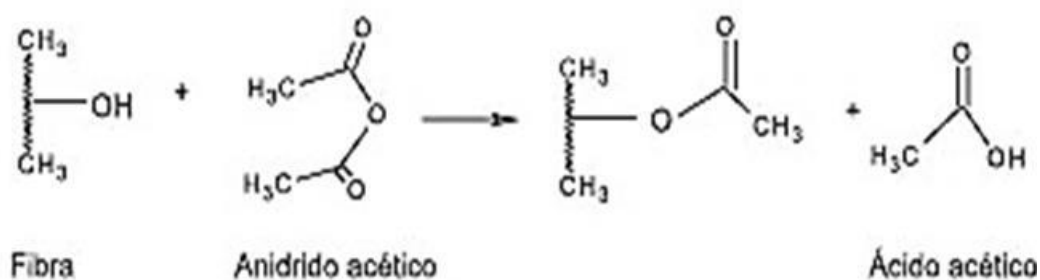


Figura 16 - Acetilação do grupo OH na celulose.

Fonte: Albinante et al.,2013.

Vale ressaltar que os constituintes da fibra, respondem de formas diferentes ao anidrido acético ou propiônico (reatividade durante estratificação), dispondo assim de um cuidado particular na escolha do tipo de material lignocelulósico a ser utilizado (ALBINANTE et al., 2013).

D' Almeida et al., (2005), estudaram o efeito da acetilação em fibras de bucha, e observaram aumento da área superficial para adesão. O tratamento ocasionou redução na polaridade das moléculas de celulose e exposição da estrutura fibrilar interna pela remoção da camada superficial.

Lopes et al., (2011), avaliou os efeitos da acetilação em fibras de caroá, e constatou redução de 42 a 47% da hidrofiliçidade e boas respostas às propriedades mecânicas, aumentando estabilidade térmica e reduzindo cristalinidade da celulose sem ocasionar degradações que comprometessem a adesão das fibras à matriz.

#### 2.4.3.2 Silanização

A silanização utiliza o silício no tratamento químico, onde as moléculas possuem uma extremidade hidrofóbica, que reage com a matriz, e uma hidrofílica que reage com os grupos OH das fibras (Figura 17).

Xie et al., (2010), verificaram a eficiência do tratamento químico com silanos na melhoria da interação entre fibras naturais e matriz polimérica olefínica, além de constataram melhoras nas propriedades mecânicas dos compósitos.

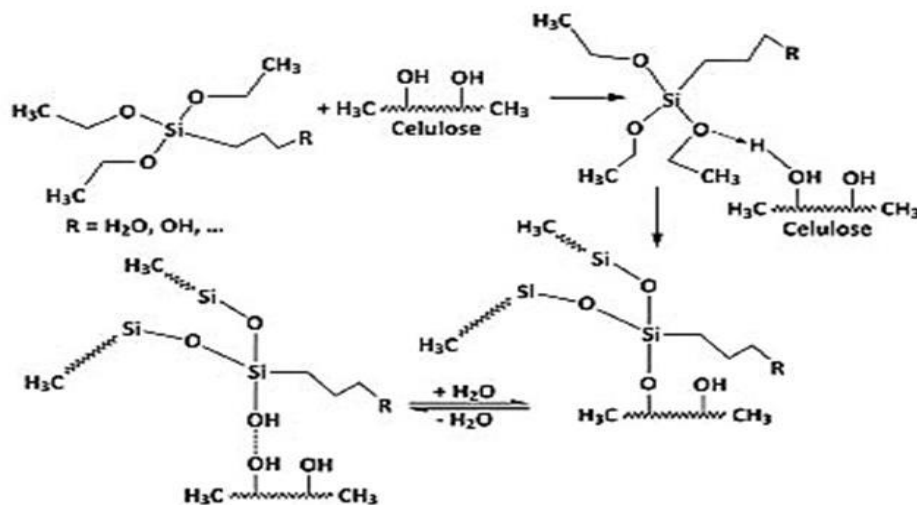


Figura 17- Interação de silano com fibra natural.

Fonte: Albinante et al (2013), adaptação de Huang (2009).

### 2.4.3.3 Tratamento por plasma

Esse tratamento é capaz de modificar a superfície fibrilar, sem acarretar mudanças drásticas à estrutura das fibras. Nas fibras naturais recomenda-se o tratamento a frio, onde há o equilíbrio entre a quantidade de elétrons que deixam os íons, e a quantidade de elétrons que se combinam com os íons para formar moléculas de gás (AHMED, 2007).

O tratamento por plasma a frio pode ser classificado a partir de dois processos que podem coexistir: formação de radicais e remoção de material na superfície (GARCIA e BITTENCOURT, 2010).

A formação de radicais livres ocorre a partir da quebra de ligações na superfície do polímero (AHMED, 2007), enquanto que a remoção de material da superfície do polímero pode ocorrer através da remoção de espécies da superfície do material após essas reagirem com as espécies do plasma - etching, ou pela remoção de espécies do material por meio da colisão entre átomos de alta energia presentes no plasma e os átomos da superfície do material - sputtering (FARIAS, 2012).

Carneiro (2013), avaliou o tratamento de fibras de coco por plasma para obtenção de nanofibras e produção de compósitos de matriz de PHB – Poli (3-hidroxibutirato). Os compósitos reforçados com fibras tratadas por plasma apresentaram um aumento nas propriedades mecânicas em relação a matriz de PHB puro e aos compósitos reforçados com fibras não tratadas.

### 2.4.3.4 Tratamentos por Mercerização na superfície das fibras

A mercerização (ou tratamento alcalino), é um método químico utilizado em diversas fibras vegetais, em solução aquosa de NaOH (MORAES et al., 2008; SYDENSTRICKER et al., 2003; AMICO et al., 2005). Além de ocasionar o rompimento da ligação de hidrogênio no grupo OH (presente na estrutura fibrilar) resultando em um aumento da rugosidade superficial, remove parcialmente alguns componentes da fibra como a lignina, hemicelulose, ceras e óleos, que recobrem a camada externa da parede celular da fibra, despolimerizando a celulose.

Esse método foi desenvolvido em 1844 por Mercer, no intuito de tratar tecidos, conferindo maior resistência à tração do algodão, e aumentando sua reatividade para melhor aderência pela tintura (COCKETT, 1961).



Nesse processo, há modificação da morfologia, dimensões e propriedades mecânicas das fibras (ALBINANTE et al., 2013; FROLLINI e RAZERA, 2004; MERLINI et al., 2012), diminuindo os microvazios e tornando as fibras mais uniformes e rugosas, além de alterar a proporção entre comprimento/diâmetro da fibra, o que influenciará nas propriedades mecânicas dos compósitos (BLEDZKI e GASSAN, 1999; CAMPOS et al., 2011; KABIR et al., 2012).

Para esse tipo de tratamento, variáveis como concentração da solução, tempo e temperatura, são condições fundamentais, que influenciaram na modificação das fibras vegetais submetidas a esse processo. Segundo Ray et al., (2001) KALIA et al. (2009) e tratamentos severos comprometem a capacidade das fibras como reforço em compósitos, facultando o desfibrilamento (quebra dos feixes fibrilares em fibras menores).

Da mesma forma, a mercerização ocasiona um inchamento nas fibras, que somado à remoção parcial da hemicelulose e lignina, promove empacotamento das cadeias de celulose, aumentando sua cristalinidade e a relação comprimento/diâmetro BLEDZKI e GASSAN, 1999; PAIVA e FROLLINI, 1999), e reduzindo as propriedades mecânicas (RODRIGUEZ et al., 2007).

Alguns pesquisadores também registraram redução nas propriedades higroscópicas das fibras, com a remoção da hemicelulose, sendo esta um dos principais constituintes responsáveis pela sorção de umidade (SYMINGTON et al., 2009).

O grau de inchamento e, conseqüentemente, o tipo de estrutura cristalina obtida dependem do tipo e da concentração da substância alcalina usada no tratamento (WEYENBERG et al., 2006).

Esmeraldo (2006) estudou o tratamento alcalino em fibras de juta e coco com teor de soluções em 5% e 10% de NaOH (60°C por 6h). Verificou-se um aumento da resistência à tração em torno de 25% para os compósitos poliméricos epoxídicos com 20% em massa de fibras, tratados em solução de 5% de NaOH, além de melhoria na adesão interfacial.

Paul et al., (1997) detectaram um decréscimo no teor de umidade de fibras de sisal submetidas ao tratamento alcalino, atribuindo o fato ao aumento da cristalinidade.

Na literatura encontram-se relatos de melhorias mecânicas dos compósitos reforçados por fibras tratadas com álcalis (GASSAN e BLEDZKI, 1999; RAY et al., 2001; AZIZ e ANSELL, 2004), atribuídas ao fato do tratamento alcalino acarretar melhor adesão das fibras, através da remoção de substâncias de sua camada superficial, produzindo uma topografia de superfície mais rugosa (BISANDRA e ANSELL, 1991).

Rout et al., (2001), compararam as fibras tratadas e estudaram a influência da modificação superficial das fibras de coco em concentrações de 2, 5 e 10% de hidróxido de sódio e constataram aumentos significativos nas suas propriedades mecânicas e redução de absorção de água, quando comparados as fibras sem tratamento.

Huang (2009), aplicou o tratamento alcalino nas fibras secas de coco usando diferentes concentrações de NaOH. Observou melhoras significativas nas propriedades mecânicas das fibras de coco, formando compósitos de fibra de coco/polipropileno (PP) que, apresentaram melhores propriedades mecânicas quando comparados ao polímero puro, em consequência da maior interação entre a fibra e o polímero provavelmente devido aumento da área superficial causado pela maior rugosidade da superfície.

Guimarães (2012), tratou quimicamente partículas de pseudocaule de bananeira visando à produção de painéis aglomerados e verificou a necessidade de um estudo mais detalhado a respeito da concentração e tempo do tratamento, uma vez que não foram observadas boas respostas às propriedades mecânicas e de absorção.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição da Pesquisa

A pesquisa foi dividida em duas fases: a primeira etapa refere-se ao tratamento químico e a caracterização da fibra vegetal (*in natura* e tratada), e a segunda etapa refere-se à produção dos compósitos, bem como, suas caracterizações. Nos itens subsequentes são descritos os materiais e métodos utilizados para caracterização da fibra e do painel de piaçava, dispondo de planejamento experimental ( $2^2+1$ ), com objetivo de avaliar o desempenho dos compósitos produzidos.

##### 3.1.1 Materiais

As fibras de Piaçava, oriundas do município de Barcelos, a 396 km de Manaus em linha reta e aproximadamente 495 km por via fluvial Rio Negro, Estado do Amazonas, foram obtidas na empresa Irajá Fibras (O.A. Nunes Neta – ME), localizada na cidade de Manaus. Estas foram adquiridas já beneficiadas, ou seja, previamente cortadas e penteadas, e dispostas em fardos de 30 kg ou mais (Figura 18).



Figura 18 - Fibras em fardo.

Para produção dos compósitos, utilizou-se a resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona, proveniente da Empresa Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda, São Carlos – SP. Essa resina é constituída de dois componentes: LECOPOL F 0911 – componente poliól (derivado vegetal), e LECOPOL E 0921 – isocianato (isocianato aromático), evidenciados na Figura 19.



Figura 19 - Poliól e pré-polímero, respectivamente.

Para o tratamento das fibras, fez-se uso do hidróxido de sódio a 95% PA-Lentilhas (Figura 20), proveniente da Empresa Nuclear, fornecedor Instrumental Técnico Ltda, Manaus-AM.



Figura 20 - a) Hidróxido de sódio; b) Materiais utilizados para teste preliminar.

Fonte: Autora.

### 3.1.2 Metodologia

Para melhor compreensão do trabalho, na Figura 21, está representado o diagrama adotado para a execução do presente trabalho.

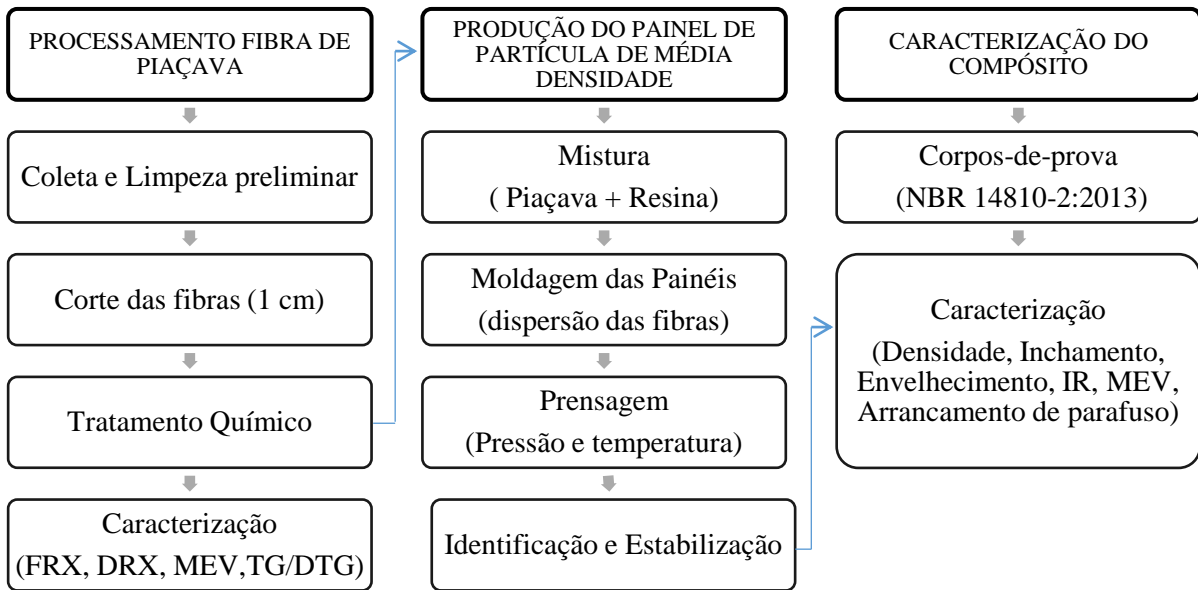


Figura 21- Diagrama de fluxo produtivo do trabalho.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.1 Processamento das Fibras de Piaçava

Para caracterização da fibra de Piaçava, cujas características foram abordadas no item 2.4, e conseqüentemente, a produção dos painéis fez-se necessário efetuar a limpeza superficial das fibras, tendo em vista, a quantidade de matéria orgânica e agregados finos presentes nas amostras coletadas.

Após coleta, as fibras foram lavadas em água corrente e, posicionadas para secagem em temperatura ambiente de 40°C durante 6 h, ilustrado na Figura 22.

Após secagem, as fibras foram armazenadas, até execução das outras etapas, incluindo o corte das fibras, tratamento, caracterização e moldagem dos corpos-de-prova.

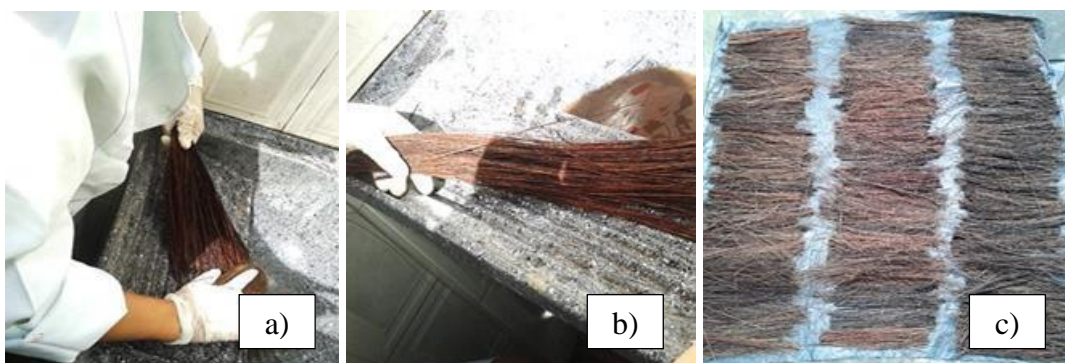


Figura 22- Limpeza preliminar das fibras: a) e b) Processo de lavagem, c) Secagem inicial do material.

### 3.1.2.2 Tratamento Químico

O tratamento químico adotado foi o de Mercerização, também denominado, tratamento alcalino. Para escolha do teor de solução de hidróxido de sódio (NaOH), foram feitos testes preliminares em concentrações de 5% e 10%, com imersão em solução aquosa durante 30 e 60 minutos, ilustrados na Figura 23a e 23b. O objetivo foi avaliar a concentração a ser adotada e igualmente o período de imersão do material, levando em consideração a intensidade do tratamento alcalino na superfície fibrilar. Para essa avaliação utilizou-se Lupa tipo microscópio portátil, modelo Carton, ampliação total de 60x, Figura 24.

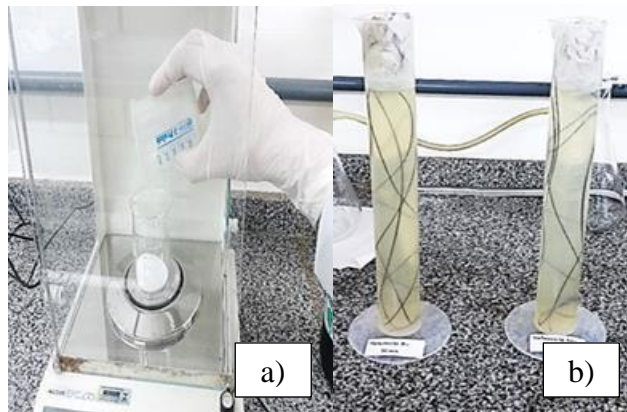


Figura 23 - Tratamento químico: a) Preparo da solução de NaOH, b) Tratamento por concentração e duração.



Figura 24 - Lupa tipo microscópio Carton.

Fonte: Autora.



### 3.1.2.2.1 Tratamento Químico das fibras para produção de painéis

Após escolha das condições de tratamento alcalino, as fibras *in natura*, já limpas, foram cortadas em tamanho de 1 cm e separadas em quantidades necessárias para produção de placas de média densidade, considerando o planejamento experimental - com fibras tratadas a 5% e 10% de NaOH.

Para ambas concentrações, as fibras foram imersas em solução alcalina durante 60 minutos. Após esse período, as fibras foram lavadas abundantemente em água corrente proveniente do reservatório da instituição (UFAM), até obtenção de potencial hidrogeniônico  $\text{pH}=7$  (neutro), cujo processo é ilustrado nas Figuras 25 e 26. Após essa etapa, as fibras foram secas em temperatura ambiente de  $36^\circ\text{C}$  por 4 h, e em seguida em estufa com temperatura de circulação de  $60^\circ\text{C}$  durante 6 h (Figura 27), para retirada parcial de umidade. Com o intuito de verificar a umidade residual da fibra, utilizou-se o analisador halogêneo de umidade, modelo OHAUS (Figura 28), cuja capacidade é de 5 gramas. Foram coletadas amostras de fibras por bandeja, contendo estas, entre 9% e 12 % de umidade, próximo às condições da fibra *in natura*, cuja umidade foi de aproximadamente 13% de umidade.

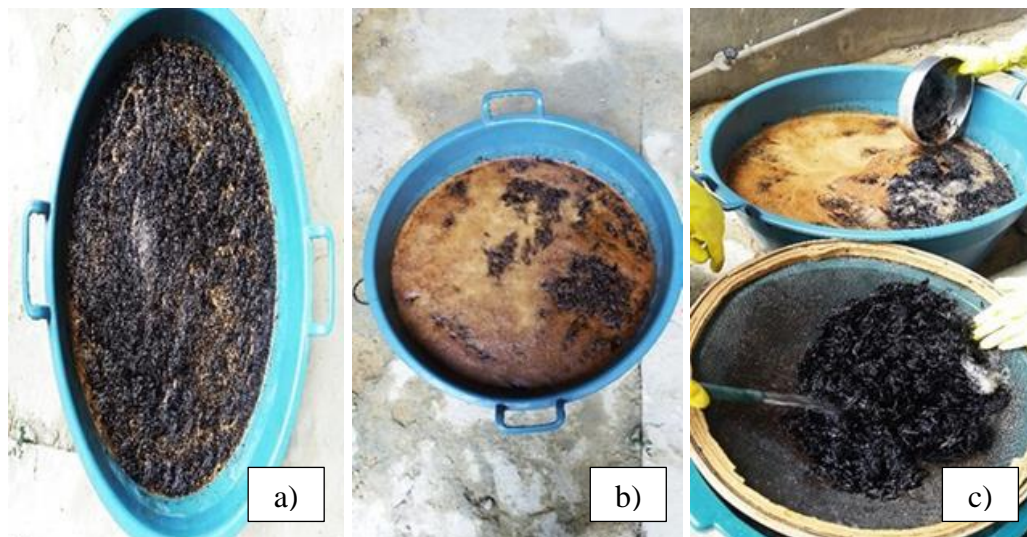


Figura 25 - Mercerização das fibras de piaçava: a) Imersão em solução de hidróxido de sódio, b) Fibras com imersão a 60 minutos, c) Lavagem em água corrente do material.

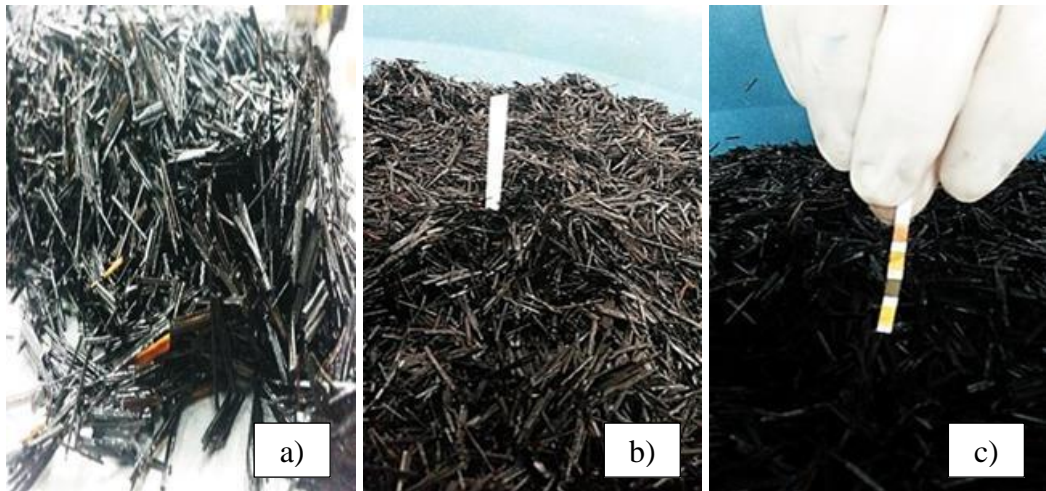


Figura 26 - Checagem de pH.

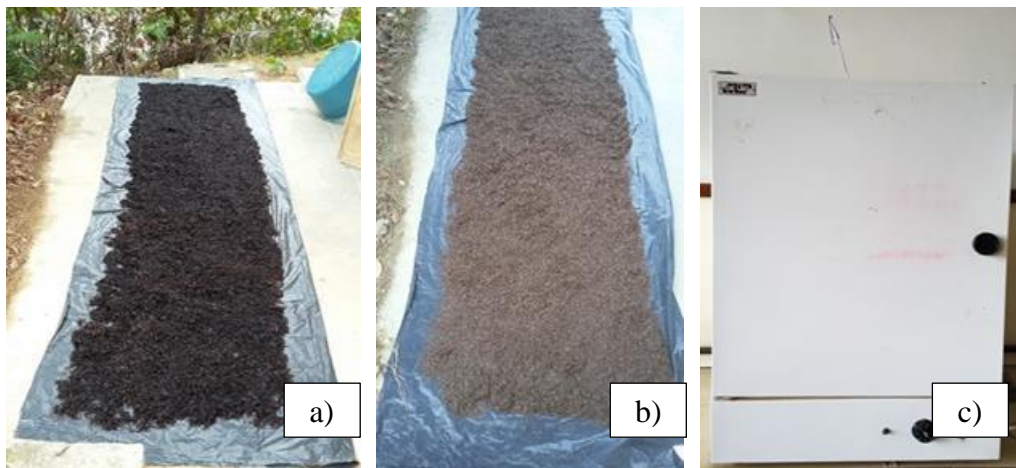


Figura 27 - Secagem das fibras: a) Fibras postas para secagem em temperatura ambiente, b) Fibras após 4 horas em temperatura ambiente, c) Estufa.



Figura 28 - Analisador halogêneo de umidade.

Fonte: Autora.



### 3.1.2.3 Caracterização Química da fibra de Piaçava

A caracterização química da fibra foi efetuada no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LaMAC/UFAM, com base em procedimentos estabelecidos em literatura, (BISANDA e ANSELL, 1991; ROUT et al., 2001; DEUS et al., 2005; ESMERALDO, 2006; NASCIMENTO, 2009; D'ALMEIDA et al., 2011a; D'ALMEIDA et al., 2011b; GUIMARÃES, 2012; DUTRA, 2014).

#### 3.1.2.3.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX/EDX)

A Fluorescência de raios-x, consiste em um método de análise simultânea não destrutiva, onde os elementos individuais presentes na amostra são detectados pela radiação característica emitida. “A energia desses raios X está relacionada com a diferença energética entre os níveis envolvidos nas transições e adota valores característicos para cada elemento” (AQUINO, 2003).

Segundo Aquino (2003), por se tratar de uma análise que atinge a superfície da amostra, deve-se atentar para possíveis elementos que podem acarretar erros nos resultados, tais como o tamanho de partícula, a rugosidade, e a preparação das amostras.

O objetivo deste ensaio foi identificar a composição química da fibra, *in natura* e tratada, avaliando possíveis alterações dos compostos presentes após o tratamento alcalino. As amostras *in natura*, com 5% de NaOH e 10% de NaOH, foram moídas manualmente, e conduzidas em porta amostra para o equipamento PANalytical Epsilon3-XL, ilustrado na Figura 29.

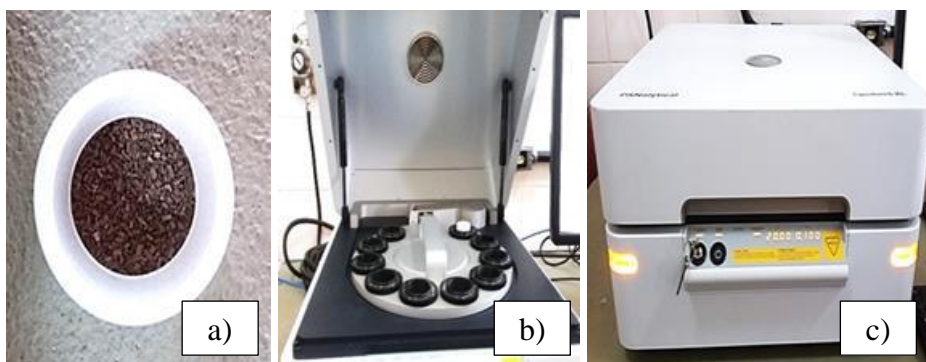


Figura 29 - Procedimentos FRX: a) amostra para FRX, b) material posicionado em porta amostras do equipamento, c) Equipamento PANalytical Epsilon3-XL.

### 3.1.2.3.2 Difractometria de Raios X (DRX)

As fibras de piaçava *in natura* e mercerizadas foram caracterizadas por Difração de Raios X. Os estudos de difração foram realizados sob condições ambientes, no equipamento EMPYREAM PIXcel 3D (Panalytical) do Laboratório de Materiais/LABMAT da UFAM – Figura 30, utilizando radiação Cu Ka ( $1.5406\text{\AA}$ ), operando a 40 Kv e corrente de 40Ma. A varredura foi realizada num intervalo de  $5^\circ < 2\theta < 45^\circ$  a uma taxa de  $1^\circ/\text{min}$  e passo  $0,0001^\circ$ . O índice de cristalinidade (Ic) e o percentual cristalino (% Cr) foram calculados utilizando as seguintes equações (1) e (2):

$$Cr\% = \frac{I_{002}}{I_{002} + I_{101}} \times 100 \quad (1) \quad I_{cr} = \frac{I_{002} - I_{101}}{I_{002}} \quad (2)$$

Adotou-se o método de Segal et al., (1959) para medições empíricas, no intuito de uma comparação das amostras, onde  $I_{002}$  e  $I_{101}$  são as intensidades dos picos correspondentes as regiões cristalinas e não cristalinas, na escala  $2\theta$  para  $22^\circ$  e  $18^\circ$ , respectivamente. A finalidade deste ensaio foi caracterizar estruturalmente o material, identificando suas características quanto à cristalinidade, antes e após o processo de mercerização.



Figura 30- Equipamento DRX.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.4 Caracterização Morfológica

A caracterização Morfológica da fibra foi efetuada em parceria com a Universidade Federal Do Rio de Janeiro/COPPE-UFRJ, departamento NUMATS, no laboratório de Técnicas Analíticas. As análises foram realizadas através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), pelo equipamento de bancada modelo HITACHI TM 3000, em voltagem de 15 Kv, em modalidade SEI (elétrons secundários), representado na Figura 31. O objetivo foi avaliar a morfologia da fibra de piaçava para correlacioná-la com suas propriedades, bem como, suas possíveis modificações em resposta à mercerização.



Figura 31 - HITACHI TM3000.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.5 Caracterização Física

#### 3.1.2.5.1 Análise Termogravimétrica (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A análise termogravimétrica (TG), estuda a estabilidade térmica do material, enquanto na Termografia derivada (DTG) as curvas são registradas a partir das curvas TG e correspondem à derivada primeira da variação de massa em relação ao tempo, que é registrada em função da temperatura ou do tempo (CANEVAROLO, 2007). O equipamento registra a decomposição térmica da amostra, resultado de sua perda de massa (degradação) sob forma de produtos voláteis.

As amostras de piaçava *in natura* e tratadas foram moídas manualmente em pequenas partículas, e dispostas em equipamento TA Instruments Systems SDT Q600 (Figura 32), com taxa de aquecimento de 10°C/min, até temperatura máxima de 600°C, em atmosfera de

nitrogênio. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LaMAC/UFAM.



Figura 32 - TA Instruments Systems SDT Q600.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.6 Produção do compósito

Após tratamento e caracterização da fibra de Piaçava, seguiu-se com o processo de produção dos painéis (placas) de média densidade, realizado na Universidade Federal do Amazonas/UFAM, no laboratório de Ensaio de Materiais - LEM . Para produção de painéis e procedimentos de preparação e acondicionamento de corpos de prova foi adotado como referência, a norma de Painéis de Partícula de Média Densidade, NBR 14810-2:2013.

Após processo produtivo, os painéis foram classificados e acondicionados em temperatura ambiente por um período de 48 horas, visando cura de resina e conseqüentemente estabilização do compósito. Após esse período, os corpos-de-prova foram preparados de acordo com especificações da norma para realização dos ensaios de caracterização física e mecânica.

### 3.1.2.7 Planejamento de Experimentos (Design of Experiments - DOE)

O delineamento experimental da pesquisa, consistiu em um planejamento com ponto central ( $2^2 + 1$ ), considerando os fatores “tratamento” e “resina”. A análise estatística foi realizada utilizando programa Statistic 7, para verificação de interação entre os fatores e suas

significâncias (dados ANOVA e gráficos de superfície). As condições do tratamento são apresentadas na Tabela 2, e a Figura 33 ilustra o delineamento adotado.

Tabela 2 - Delineamento Experimental (DOE).

TRATAMENTO	FATOR	RESINA	NOMENCLATURA	COND.
Sem Tratamento	1	15%	15 ST	●
Sem Tratamento	1	20%	20 ST	●
5% NaOH	0	17,5%	5 CT	●
10% NaOH	-1	15%	15 CT	●
10 % NaOH	-1	20%	20 CT	●

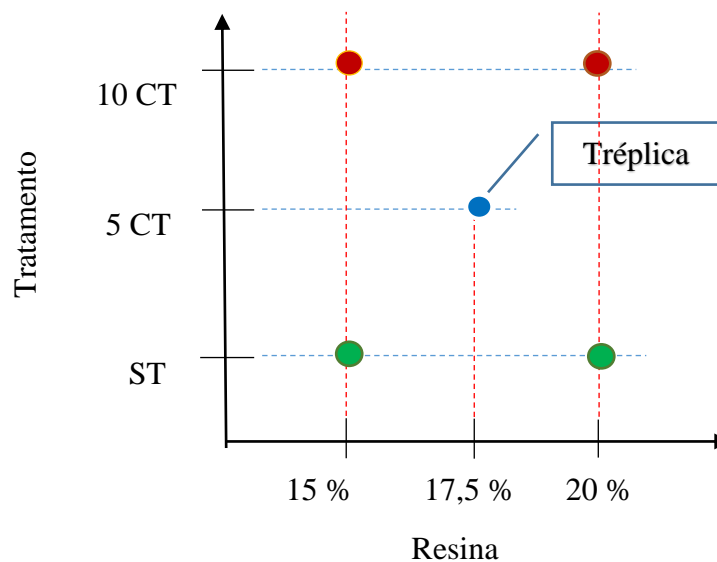


Figura 33 - DOE.

### 3.1.2.8 Produção dos painéis

Para produção de 10 painéis no formato 400 x 400 mm, utilizou-se aproximadamente 30 kg de fibras de piaçava. Cada painel dispôs de 1280 gramas de fibras, com densidades nominais de 0,8 g/cm<sup>3</sup>, nas condições *in natura* e tratadas (tratamento químico de acordo com o item 3.1.2.2.1), conforme planejamento experimental.

### 3.1.2.8.1 Aplicação de adesivo

As fibras tiveram suas massas determinadas em balança industrial marca KNWAAGEN, e separadas em uma recipiente (Figura 34). De acordo com as proporções dos fatores experimentais designadas em delineamento (variáveis), aplicou-se as concentrações referentes ao adesivo ( 15%, 17,5% e 20%).

Os componentes foram pesados em balança analítica SHIMADZU (Figura 35). A mistura foi realizada primeiramente pela adição de póliol, homogeneizando manualmente o material, intercalando-se com a dosagem de pré-polímero. O processamento da mistura durou aproximadamente 15 minutos (Figura 36), a fim de garantir a molhabilidade adequada das fibras pela resina.



Figura 34- a) e b) Pesagem e separação das fibras.

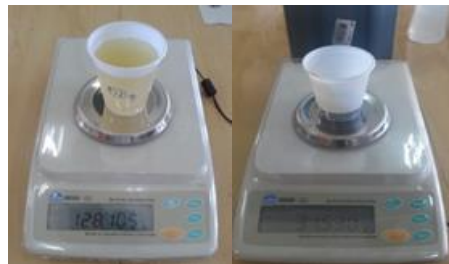


Figura 35 - Pesagem dos componentes da resina em balança analítica.



Figura 36 - Processamento da mistura: a) Adição do Poliól, b) Adição do Pré-polímero, c) Incorporação do adesivo (mistura).

Fonte: Autora.



### 3.1.2.8.2 Formação de colchão e Pré-prensagem

As fibras foram distribuídas em fôrma de madeira com dimensões de 400 x 400 mm, posicionada sobre bandejas metálicas envolvidas por papel alumínio (Figura 37a). Para controlar a dispersão das fibras durante processo de prensagem, também utilizou-se molde metálico sob as bandejas metálicas (abaixo da fôrma de madeira), conforme Figura 37 b e c. O material foi conformado uniformemente, afim de não apresentar variações de densidade em sua extensão, e pré- prensado a uma pressão de aproximadamente 1 MPa (Figura 38 a e b). O intuito da pré-prensagem foi melhorar a distribuição e compactação das fibras, reduzindo sua altura e minimizando vazios.

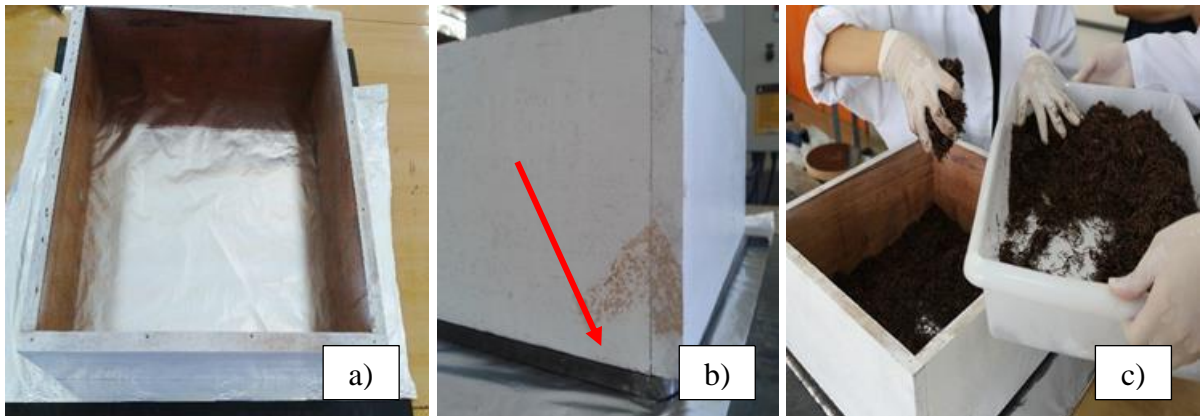


Figura 37 - Processamento dos painéis: a) Forma de madeira posicionada sobre bandejas metálicas, b) Moldes metálicos, c) dispersão das fibras.



Figura 38 - Formação de colchão: a) Material após pré-prensagem, b) Registro de altura do material conformado.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.8.3 Prensagem

A prensagem foi realizada utilizando o método de compressão a quente, com o uso da Prensa hidráulica HIDRAL-MAC, localizada no LEM/UFAM. Este processo ocorreu na temperatura de  $95 \pm 5^\circ\text{C}$ , pressão de 10 MPa, e duração de 10 min. Na Figura 39 (a) e (b), observa-se o equipamento e o posicionamento do material para execução da técnica, respectivamente.

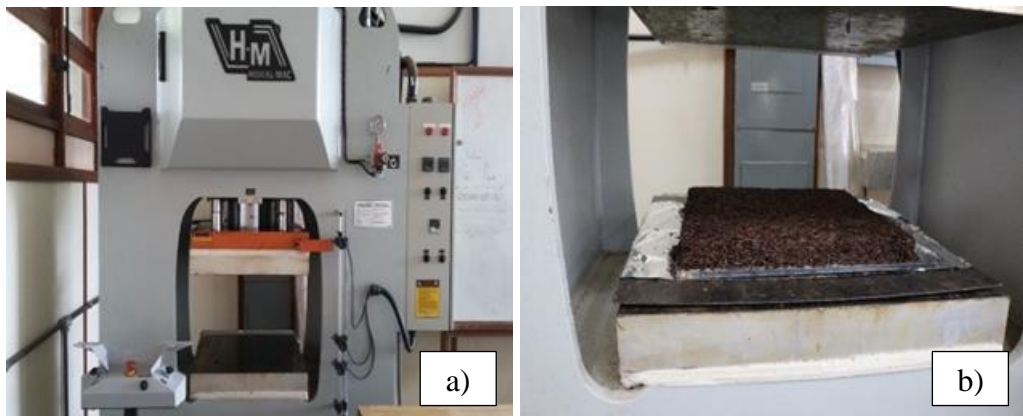


Figura 39 - Moldagem dos painéis: a) Prensa hidráulica HIDRAL-MAC, b) Material posicionado para prensagem.

### 3.1.2.8.4 Cura do compósito

Após a prensagem, os painéis produzidos foram classificados, armazenados em bancadas e acondicionados em local arejado, para estabilização por 48 horas (Figura 40).



Figura 40 - Estabilização dos compósitos.

Fonte: Autora.



### 3.1.2.8.5 Preparação das amostras

Os painéis foram esquadrejados de acordo com as especificações da norma adotada (NBR 14810-2: 2013) (Figura 41). Em seguida, as amostras foram identificadas, e classificadas para armazenagem de acordo com as caracterizações a serem realizadas (Figura 42).

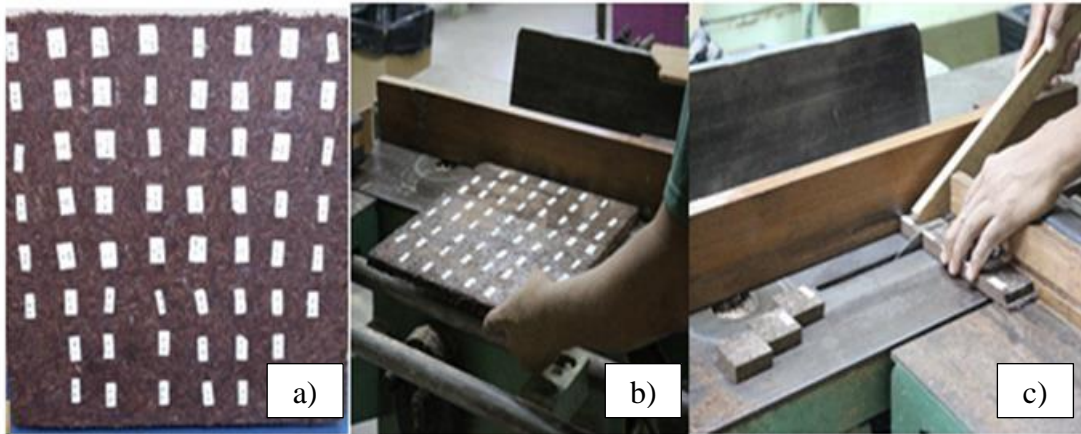


Figura 41 - Esquadrejamento dos corpos-de-prova: a) Identificação, b) e c) Corte das amostras.

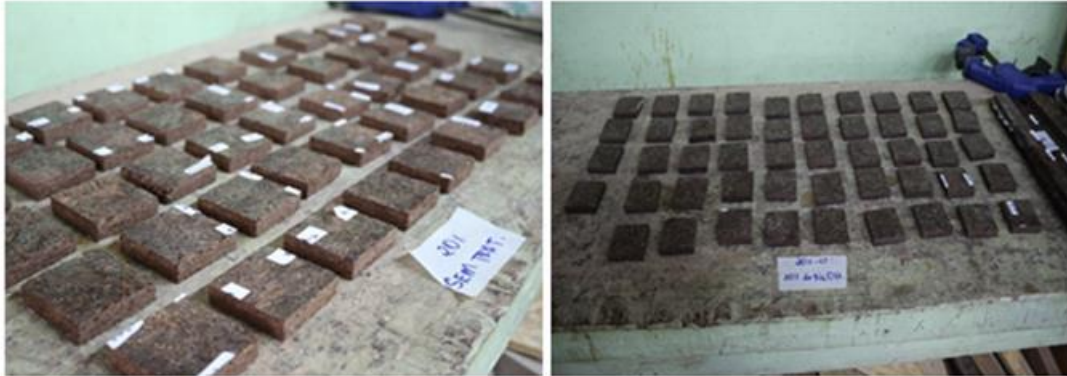


Figura 42 - Classificação dos corpos-de-prova.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.9 Caracterização Física do compósito

As caracterizações físicas do compósito seguem conforme especificações da norma NBR 14810-2: 2013, para painéis de partículas de média densidade. O objetivo foi avaliar a interferência do tratamento alcalino nas propriedades físicas do compósito, tais como, densidade, inchamento, degradação, absorção de calor, e interação fibra/matriz.

### 3.1.2.9.1 Ensaio de Densidade

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LAMAC, da Universidade Federal do Amazonas/UFAM. Foram utilizados 10 corpos-de-prova para cada condição do planejamento experimental, com dimensões 50 x 50 mm, devidamente identificados. A massa individual de cada corpo-de-prova foi registrada por meio de balança analítica SHIMADZU, com precisão de 0,01g e em seguida planilhadas. Da mesma forma se efetuou a coleta de dados para as dimensões das amostras (largura e comprimento) por paquímetro analógico de 6” marca ZAAS (Figura 43), e medidas as espessuras (ponto de intersecção das diagonais) por micrômetro digital Mitutoyo (Figura 44) com precisão de 0,01 mm. Os resultados foram obtidos utilizando a equação (3):

$$D = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (3)$$

Sendo:

$$V = b1 \times b2 \times e$$

Onde:

D = densidade do corpo de prova (Kg/m<sup>3</sup>);

M = massa do corpo-de-prova (g);

V = volume do corpo-de-prova (mm<sup>3</sup>);

L = b1 = largura (mm);

C = b2 = comprimento (mm);

E = e = espessura do corpo-de-prova (mm).

Na sequência calculou-se a densidade média ( $D_{média}$ ) expressa em Kg/m<sup>3</sup>, para cálculo final de variação percentual da densidade dos corpo-de-prova ( $D\%$ ), conforme equação (4), e analisados estatisticamente por meio da ferramenta Statistc: a interação dos fatores, sua influência individual, e seus gráficos de superfície.

$$D\% = \frac{(D - D_{média})}{D_{média}} \times 100 \quad (4)$$

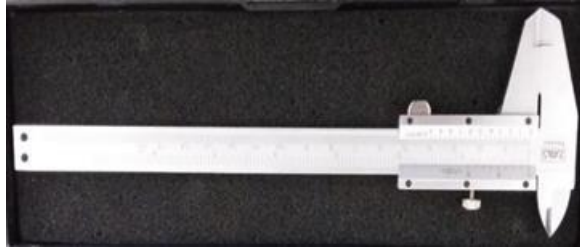


Figura 43 - Paquímetro analógico de 6 in.



Figura 44 - Micrômetro digital Mitutoyo.

### 3.1.2.9.2 Ensaio de Inchamento durante 24 horas

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos – LaMAC, da Universidade Federal do Amazonas/UFAM. Foram utilizados 10 corpos-de-prova para cada condição do planejamento experimental, com dimensões 50 x 50 mm, devidamente identificados. Utilizando-se um micrômetro digital Mitutoyo (Figura 45) com precisão de 0,01 mm, mediu-se a espessura inicial, no ponto de intersecção das diagonais de cada amostras, conforme Figura 46.



Figura 45 - Medição de espessura em micrômetro.

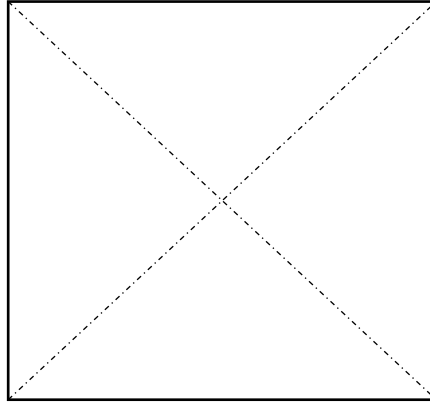


Figura 46 - Ponto de medição da espessura no corpo de prova.

Fonte: ABNT NBR 14810-2: 2013.

Em seguida, os corpos-de-prova foram imersos em um recipiente com água destilada a uma temperatura de 20°C, ficando submersos e com um nível de água de 25 mm acima da superfície superior das amostras (Figura 47). Após 24 horas os corpos-de-prova foram removidos da imersão e retirado o excesso de água do material (Figura 48), bem como, coletadas as novas medidas de espessura das amostras (Figura 49). Os resultados foram expressos com base em equação (5), e análise estatística.

$$I = E_1 - \frac{E_0}{E_0} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

I = inchamento em espessura do corpo-de-prova (%);

E<sub>1</sub> = espessura final após imersão (mm);

E<sub>0</sub> = espessura inicial antes da imersão (mm).

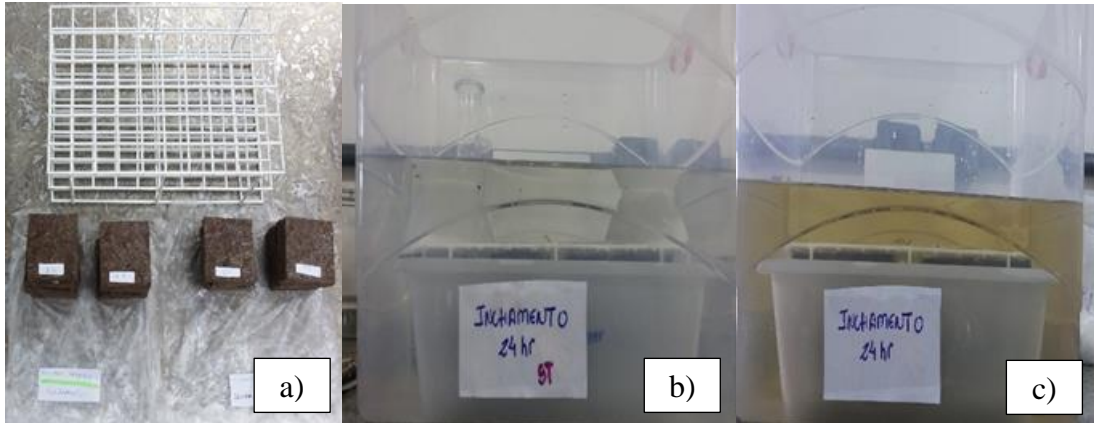


Figura 47 - Ensaio de inchamento: a) Materiais selecionados para ensaio, b) Imersão de compósitos sem tratamento, c) Imersão de compósitos tratados.

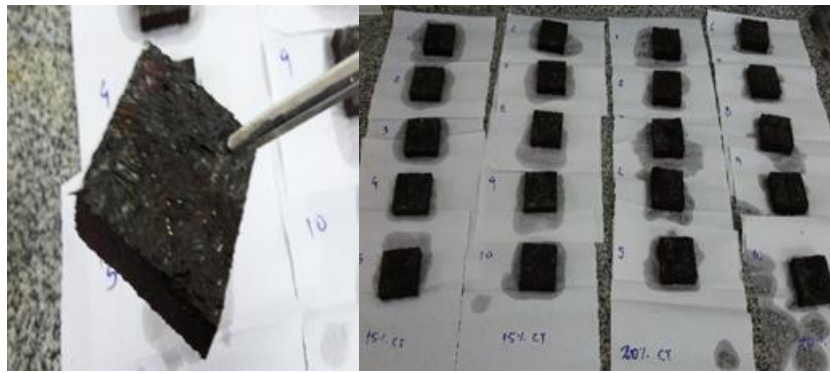


Figura 48 - Retirada de excesso de água dos corpos-de-prova.



Figura 49 - Verificação de espessura após 24 horas.

### 3.1.2.9.3 Envelhecimento

O ensaio de envelhecimento foi realizado na Universidade de São Paulo, em Pirassununga, no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, Departamento de Engenharia de Biosistemas. As amostras para cada condição do delineamento experimental, em dimensões 50 x 50 mm, foram expostas a uma simulação de envelhecimento acelerado durante 8 dias, no equipamento EQUILAM (Figura 50), em porta amostras adaptados (Figura



51). As condições de simulação foram de: 16 horas de irradiação UVB a 60°C, e 8 horas de condensação com 100% de umidade.



Figura 50 - Simulador de envelhecimento EQUILAM.

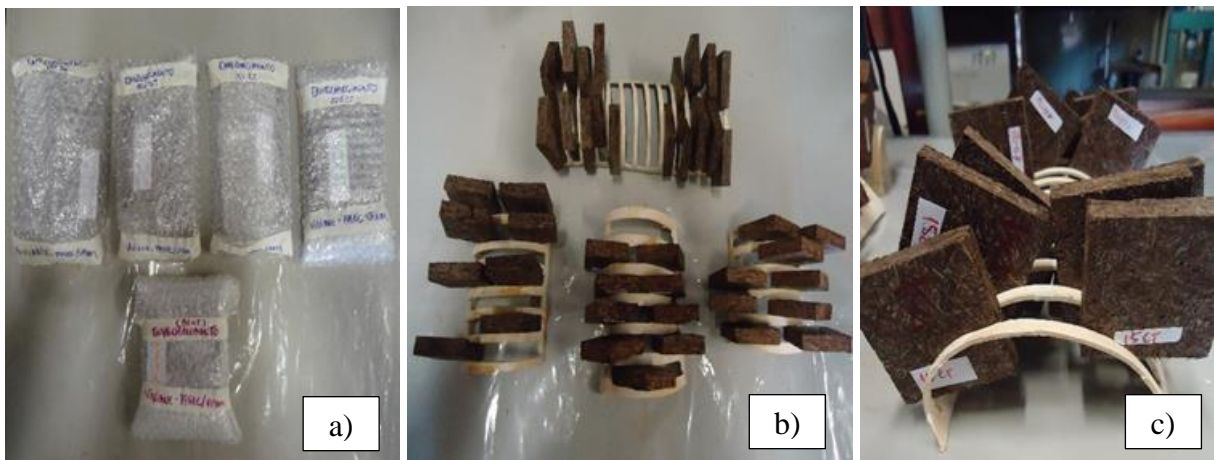


Figura 51 - Preparação de corpos-de-prova para ensaio de envelhecimento: a) Amostras separadas, b) e c) Corpos-de-prova em porta amostra adaptado.

#### 3.1.2.9.4 Termografia por infravermelho (TI/IR)

A análise termográfica foi realizada na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Amazônia Oriental, em Belém do Pará, no Laboratório de Agrometeorologia. Utilizou-se câmera térmica FLIR T650SC da empresa FLIR SYSTEMS, com escala de temperatura de até 2.000°C, sensibilidade 0,02°C e calibração automática. O objetivo foi

verificar a capacidade de absorção de calor através da superfície do material. Adotou-se para esse experimento, um exemplar de cada amostra, em geometrias distintas apresentadas na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 - Referência das amostras estudadas segundo delineamento experimental.

<b>AMOSTRA</b>	<b>GEOMETRIA</b>
15ST	(25x5 cm)
20ST	(25x5 cm)
5CT1	(5x5 cm)
5CT2	(5x5 cm)
5CT3	(5x5 cm)
15CT	(25x5 cm)
20CT	(5x5 cm)

Os corpos-de-prova foram dispostos em porta amostra adaptado de isopor (Figura 52), por ser este um material isolante e a fim de refletir a luz solar recebida, diminuindo conseqüentemente a absorção de calor.

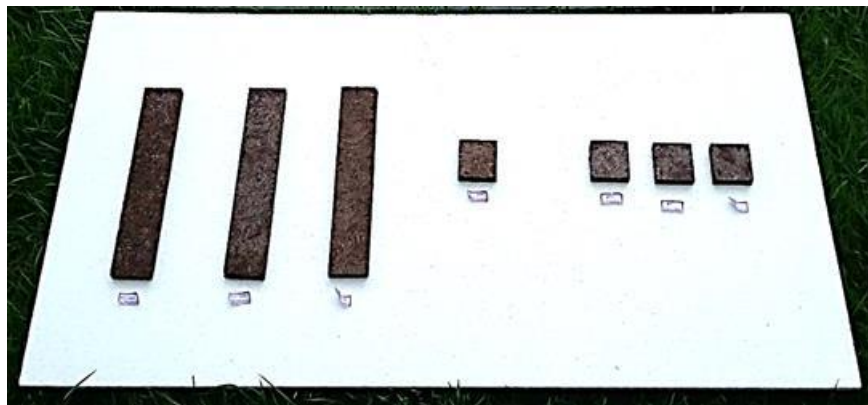


Figura 52 - Disposição dos compósitos em porta amostra.

Fonte: Autora.

O ensaio foi realizado das 9:00 h às 11h e 20 minutos, a uma temperatura máxima de 30,4 °C, monitorada através de um sensor térmico-hídrico (Hobo). Foram determinados blocos de ensaio por sorteio, segundo delineamento em blocos casualizados. Determinou-se 5 blocos de análise, com 10 tomadas fotográficas em intervalos de 1 minuto entre os registros. Configurando-se os seguintes Blocos, apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Blocos ao acaso.

<b>Bloco 1</b>	15ST	20ST	5CT1	5CT2	5CT3	15CT	20CT
<b>Bloco 2</b>	5CT2	20ST	20CT	15ST	15CT	5CT3	5CT1
<b>Bloco 3</b>	15ST	5CT3	20CT	20ST	5CT2	5CT1	15CT
<b>Bloco 4</b>	5CT3	15ST	5CT1	5CT2	20CT	20ST	15CT
<b>Bloco 5</b>	15ST	5CT3	5CT2	20CT	5CT1	15CT	20ST

Os resultados para o ensaio de termografia por infravermelho foram analisados por faixas de incidência de calor: F1, F2 e F3 (bordas e centro das amostras), indicadas na Figura 53, por meio do software FLIR TOOLS.

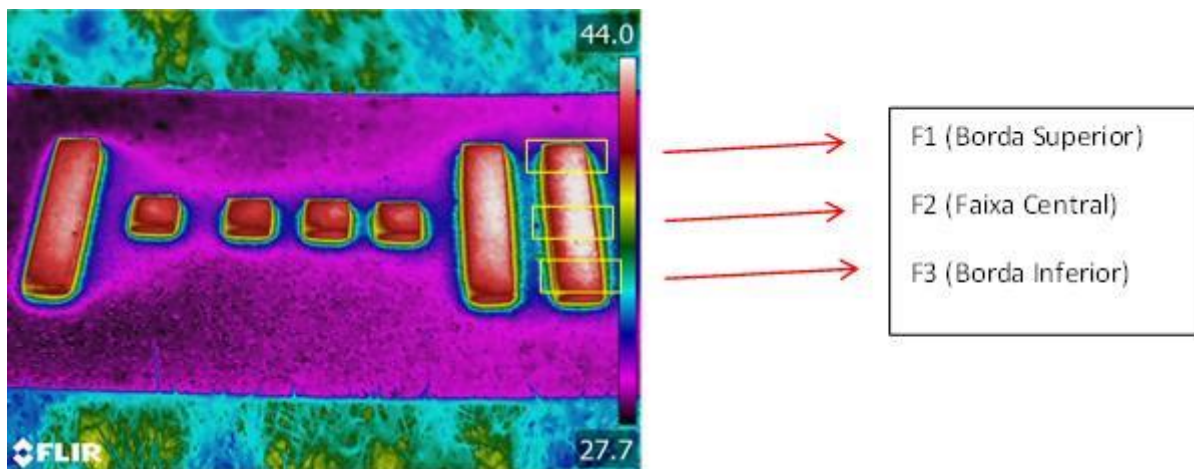


Figura 53 - Faixas de estudo termográfico.

Fonte: Autora.

### 3.1.2.9.5 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

As análises foram realizadas na Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE-UFRJ, no Laboratório de Técnicas Analíticas, departamento NUMATS. A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), foi realizada no equipamento de bancada modelo HITACHI TM3000, em voltagem de 15 Kv, em modalidade SEI (elétrons secundários), representado na Figura 31, do item 3.1.2.4. O objetivo foi avaliar a interação da fibra de piaçava com a matriz polimérica



poliuretana bicomponente derivada de mamona, verificando as melhorias de adesão do reforço à matriz, de acordo com as concentrações de tratamento químico.

Para a realização dos ensaios, amostras foram cortadas em dimensões de 10 x 10 mm, e embutidas em proporções 1:1 de resina poliéster e catalisador (Figura 54). Os recipientes para embutimento do material foram untados por cera de carnaúba, a fim de facilitar o desmolde das amostras. As amostras permaneceram em cura por 24 horas e em seguida foram polidas em Lixadeira Politriz (Figura 55), com velocidade de até 600 rpm (rotações por minuto). Utilizou-se lixas para madeira variadas (n° 60, 80, 120, 240, 360, 400, 600, 1500) durante o polimento. A regularidade da superfície foi acompanhada por microscópio óptico Olympuz SZX61, ilustrado na Figura 56.

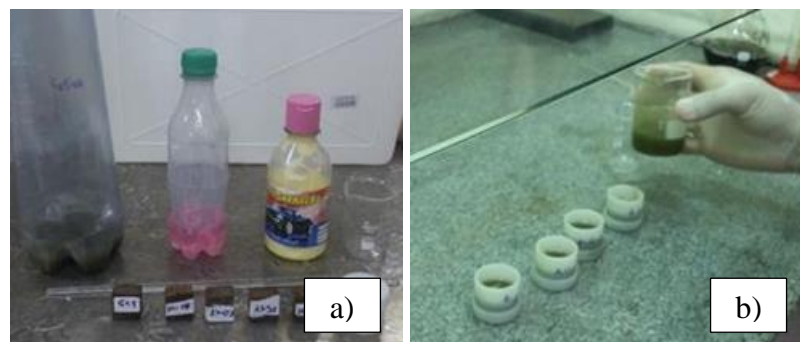


Figura 54 - Confeção das amostras para MEV: a) Materiais para envelopamento, b) Amostras preparadas para cura.



Figura 55 - Lixadeira politriz.

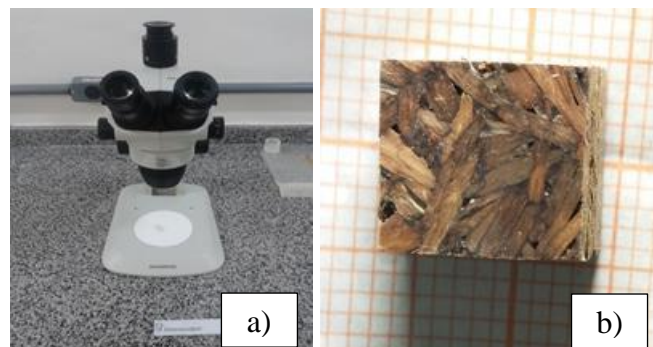


Figura 56 - Acompanhamento de superfície: a) Microscópio óptico Olympus, b) Superfície das amostras.

### 3.1.2.10 Caracterização Mecânica

A caracterização mecânica foi realizada na Universidade de São Paulo – USP, em São Carlos, no Laboratório de Madeira e de Estruturas de Madeira/ LAMEM. Os ensaios seguiram as especificações da norma adotada, NBR 14810-2: 2013. O objetivo foi avaliar em quais propriedades mecânicas o tratamento químico contribuiu positivamente, e em que concentrações de resina o compósito mostrou-se mais eficiente.

#### 3.1.2.10.1 Arrancamento de Parafuso

Foram utilizados 20 corpos-de-prova de dimensões 50 x 50 mm, já identificados e classificados de acordo com delineamento experimental (Figura 57). As amostras foram separadas por ensaio, 10 corpos-de-prova para resistência ao arrancamento de superfície, e 10 para o ensaio de resistência ao arrancamento de topo.

As amostras foram perfuradas com auxílio de furadeira de bancada com broca de 2,8 mm (Figura 58), com orifício de profundidade de  $(15\pm 1)$  mm, onde foram inseridos os parafusos para madeira n° 10, de acordo com o tipo de ensaio (Figura 59).

Em seguida os corpos-de-prova foram acoplados nos acessórios da máquina universal de ensaios conforme Figura 60. Os ensaios foram realizados a uma velocidade de 15 mm/min, sendo registrados os valores obtidos pela leitura do indicador de cargas, durante rompimento do material (Figura 61). Os valores encontrados foram expressos em Newtons, com precisão de 0,1 N, conforme norma.



Figura 57 - Separação das amostras para cada tipo de arrancamento.

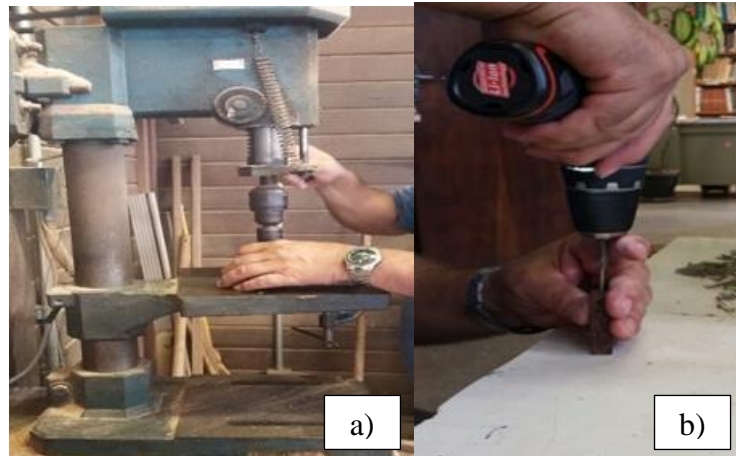


Figura 58 - a) e b) Inserção de parafuso.

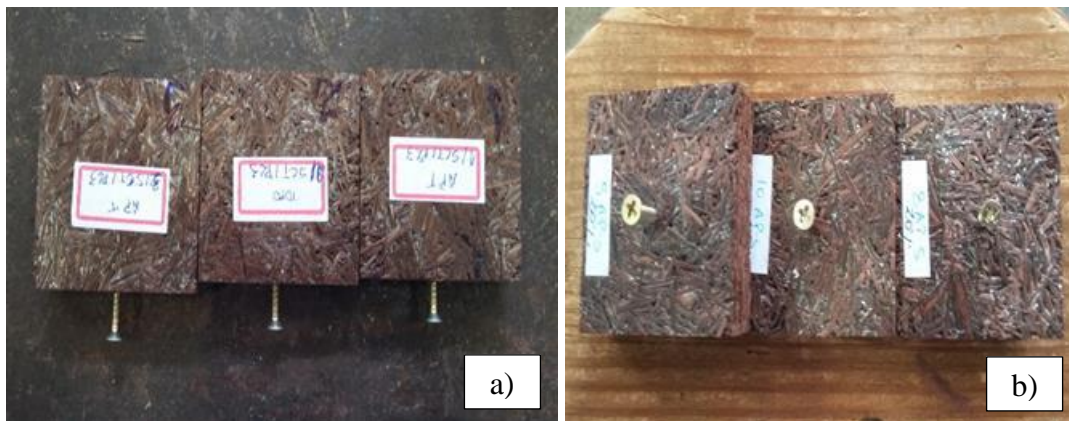


Figura 59 - Corpos-de-prova: a) Amostras para arrancamento de topo, b) Amostras para arrancamento de parafuso.

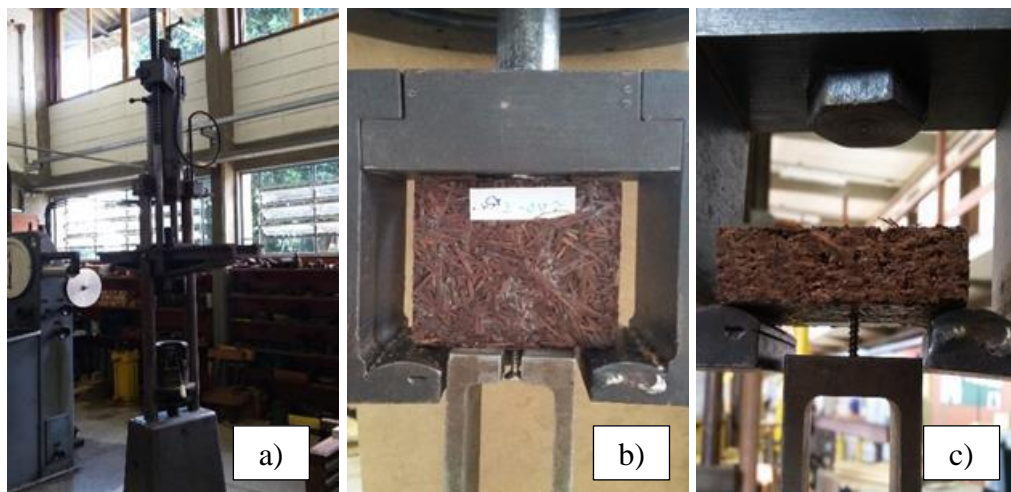


Figura 60 - Corpos-de-prova preparados para ensaio: a) Máquina universal, b) Arrancamento de parafuso de Topo, c) Arrancamento de parafuso de Superfície.



Figura 61- a) Máquina universal, b) Corpos-de-prova após ensaio.

Fonte: Autora.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização da Fibra

Os efeitos da mercerização nas fibras de piaçava amazônica foram estudados utilizando análises de FRX, DRX, MEV e TG/DTG. Optou-se pelo tratamento em ambas concentrações (5% e 10% de NaOH) com duração de 60 minutos, uma vez que, com o tratamento de 30 minutos não foi observada nenhuma variação superficial em nível microscópico (análise da seção longitudinal para uma mesma amplitude em fibras tratadas e *in natura*).

#### 4.1.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-x por Energia Dispersiva (FRX/EDX)

Os resultados de FRX são evidenciados na Tabela 5. Observou-se que após o processo de mercerização, há uma diminuição do teor de Silício (Si) presente nas fibras. As fibras *in natura* que apresentavam 34,9 % de (Si) tiveram o percentual deste elemento reduzido em 9,6% e 6,6%, para as soluções com concentração de 5 e 10% de NaOH, respectivamente. Tal resultado ressalta o fato de que a mercerização favorece a remoção deste elemento aumentando a rugosidade da fibra. Isto é vantajoso pela adesão da fibra à matriz, facilitando o bloqueio mecânico a partir do aumento da área de superfície disponível, e melhorando as propriedades mecânicas dos compósitos quando consolidado (MOKALOA & BATANE, 2014).

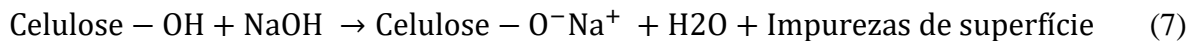
Tabela 5: Composição química das amostras de fibra de Piaçava *in natura* e tratadas obtidas pela fluorescência de raios-X.

<b>Elemento</b>	<b>Fibra <i>in natura</i> (%)</b>	<b>5% NaOH (%)</b>	<b>10% NaOH (%)</b>
<b>Na</b>	<b>0,000</b>	<b>8,435</b>	<b>22,842</b>
<b>Mg</b>	0,541	0,026	0,169
<b>Al</b>	21,109	6,491	8,194
<b>Si</b>	<b>34,965</b>	<b>9,664</b>	<b>6,668</b>

Além disso, na Tabela 5 nota-se que após o tratamento há presença de sódio na fibra. Isto é possível uma vez que o tratamento altera a estrutura da fibra e existe a reação de



hidróxido de sódio com celulose, evidenciado na equação (7) (MWAIKAMBO & ANSELL, 2002).



Os demais constituintes estão em minoria no material fibroso, uma vez que são inerentes ao clima e ambiente de desenvolvimento da palmeira.

#### 4.1.2 Difratomia de Raios X (DRX)

A Figura 62 ilustra o difratograma de Raios X, relativas às amostras de fibras *in natura* e tratadas a 5 % e 10% de NaOH. Os difratogramas analisados apresentaram picos relativos aos planos cristalinos característicos de materiais lignocelulósicos (CALADO et al., 2000; VIJAY ET AL., 2012; PEREIRA, 2013), em que pode-se observar um plano de reflexão em (002), para  $20^\circ < 2\theta < 22^\circ$ , relativo aos planos de rede de anéis glicosídeos de estrutura celulósica (GONÇALVES et al., 2015).

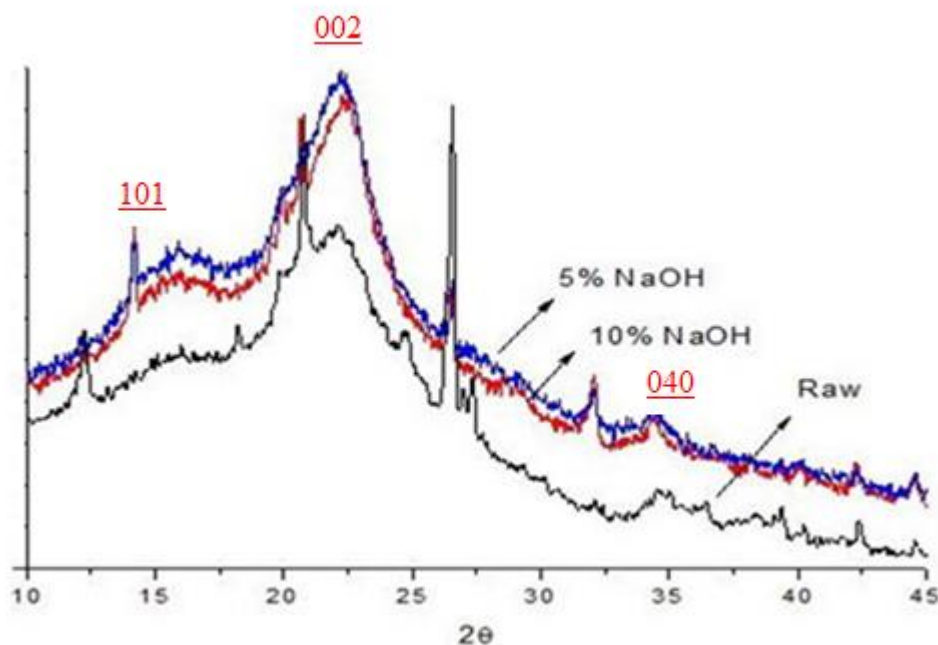


Figura 62 - Difratomias para fibras tratadas e não-tratadas.

Também são identificados halos correspondentes à porção não cristalina da fibra (hemicelulose e lignina) (MIRANDA et al., 2015; SINGH, 2004), nos planos (101) e (040), relacionados aos picos  $15^\circ < 2\theta < 18^\circ$  e  $2\theta = 35^\circ$ . Os picos mais proeminentes (101 e 002) são associados à fase de celulose I (cristalina) (OUDIANI et al., 2011).

Outros picos presentes nas fibras tratadas podem ser atribuídos à presença de sal de sódio, uma vez que, a celulose interage com a solução alcalina provocando um aumento na orientação dos cristais/cristalitos. Desta forma, a celulose assume um comportamento de ácido monobásico fraco, formando sal de sódio em proporção crescente com a concentração de álcalis (KRÄSSIG, 1993a; GOSWAMI et al., 2009; DONNAN, 1924; ŠIROKÝ et al., 2009).

Na Tabela 6, observa-se um ligeiro aumento no índice de cristalinidade ( $I_c$ ) e percentual cristalino (% Cr), indicando cristais de celulose mais orientados (GEETHAMMA et al., 1995), conseqüentemente devido à remoção de das regiões não cristalinas (ZIMMERMANN et al., 2014), corroborando com as análises térmicas (item 4.1.4) e morfológicas (item 4.1.3).

Tabela 6 - Dados de DRX para as fibras *in natura* e tratadas quimicamente.

<b>Amostra</b>	<b><math>I_{002}</math> (<math>2\theta</math>)</b>	<b><math>I_{101}</math> (<math>2\theta</math>)</b>	<b>C.I.</b>	<b>%Cr.</b>
<b>Não tratada</b>	3093,94	2499,56	0,19	55,31
<b>5% NaOH</b>	3982,73	2790,97	0,30	58,79
<b>10% NaOH</b>	3835,82	2615,45	0,31	59,45

A intensidade relativa para fibra *in natura* em  $2\theta = 22^\circ$  e  $2\theta = 18^\circ$  foi de 3093.94 (u.a.) e 2499,56 (u.a.) respectivamente, para as fibras tratadas a 5% e 10% de NaOH,  $2\theta = 22^\circ$  foi de 3982,73 e 3835,82 (u.a.) com  $2\theta = 18^\circ$  a uma intensidade relativa de 2790,97 e 2615,45 (u.a.) respectivamente.

O índice de cristalinidade para a fibra de piaçava *in natura* foi de 0.19 apresentando percentual cristalino de 55,31%, para as fibras tratadas a 5% de NaOH e 10% de NaOH (a 60 min), o percentual cristalino foi de aproximadamente 58,80% e 59,46%, com índice de cristalinidade de 0,29 e 0,31, consecutivamente.

O aumento do índice de cristalinidade nas fibras de piaçava tratadas indicou que a mercerização induziu a cristalinidade devido à remoção de materiais amorfos como a hemicelulose, a lignina e outros (VIJAY et al., 2012; GONÇALVES et al., 2015; CALADO et al., 2000; KALIA, 2011). A ampliação desses domínios cristalinos pela remoção parcial da fase não cristalina e/ou melhor empacotamento da cadeia celulósica na fibra, pode contribuir para um bom desempenho mecânico da mesma (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

#### 4.1.3 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

A Figura 63a contem as micrografias da morfologia superficial da fibra e compreende feixes de fibrilas individuais que foram ligadas em conjunto por ligações intermoleculares fracas, ricas em lignina (MWAIKAMBO & ANSELL, 2002).

Na Figura 63b, destacam-se protruções, que são partículas ricas em sílica (D'ALMEIDA et al., 2006; NASCIMENTO et al., 2012). Apesar de contribuir para rigidez na fibra, a sílica aliada aos extrativos, a matéria orgânica, bem como a outros polissacarídeos presentes na superfície fibrilar podem comprometer o processo produtivo do compósito, principalmente durante a fase de prensagem pela má adesão da resina à parede celular vegetal.

Após o tratamento, a topografia superficial (Figura 64b) apresenta-se mais rugosa comparada à superfície anterior ao tratamento (Figura 64a), além de a superfície parecer mais limpa. Isso provavelmente é devido ao processo de mercerização que remove a lignina, pectina, substâncias cerosas e óleos naturais que cobrem a superfície externa da parede celular da fibra, revelando as fibrilas, resultando em uma superfície com topografia rugosa (MWAIKAMBO & ANSELL, 2002; NASCIMENTO et al., 2012).

Assim, com o aumento da concentração de solução de hidróxido de sódio, observou-se um aumento da rugosidade, como ilustrado nas Figuras 66a e 66b e isso pode contribuir para uma melhor interface fibra/matriz (Figura 65a e 65b).



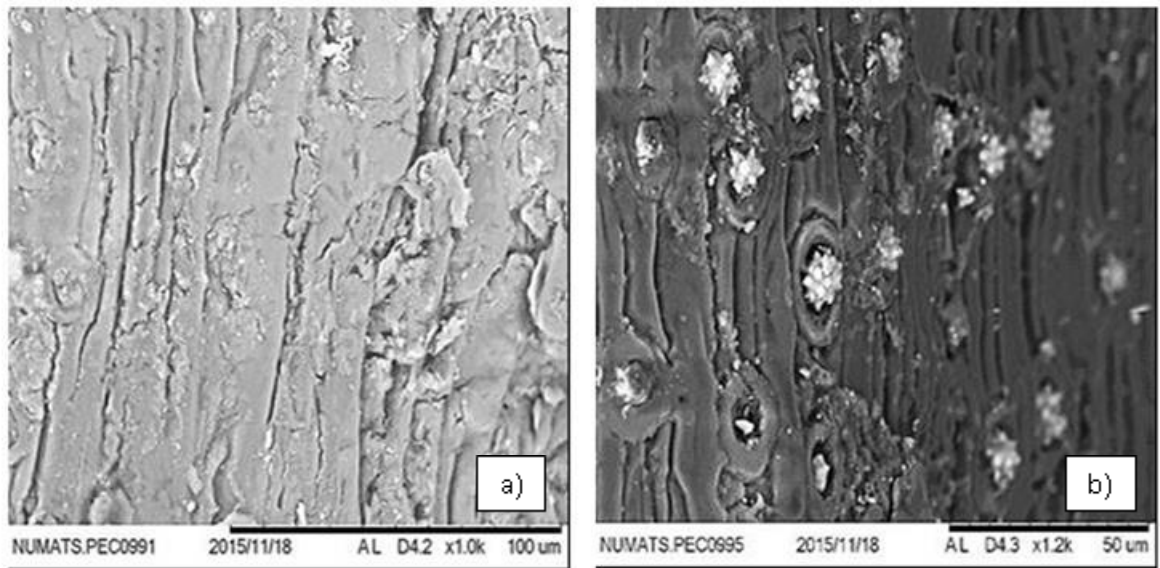


Figura 63 - Micrografias da fibra *in natura* (a) superfície, (b) protruções.

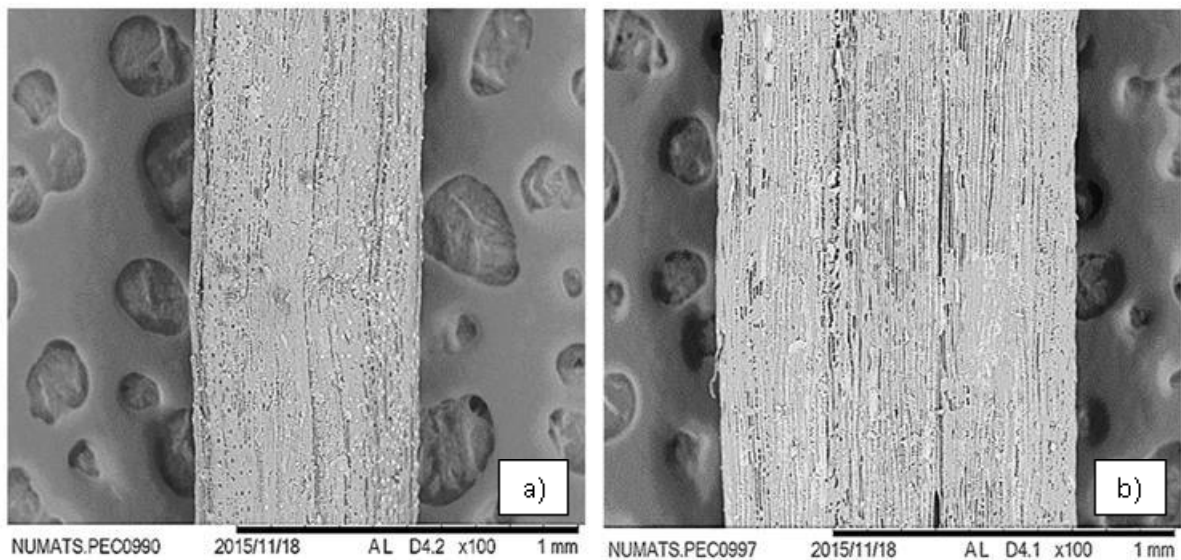


Figura 64 - Micrografias comparativas da superfície fibrilar da piaçava amazônica: a) *in natura*, (b) tratada a 5 % de NaOH.

Fatores como o tempo de imersão e concentração da solução aquosa são importantes para não comprometerem a estrutura fibrilar. Altas concentrações induzem a degradação e desfibrilação do material lignocelulósico influenciando na resistência mecânica da fibra, assim como nas propriedades mecânicas dos compósitos a serem produzidos (PEREIRA, et al., 2011).

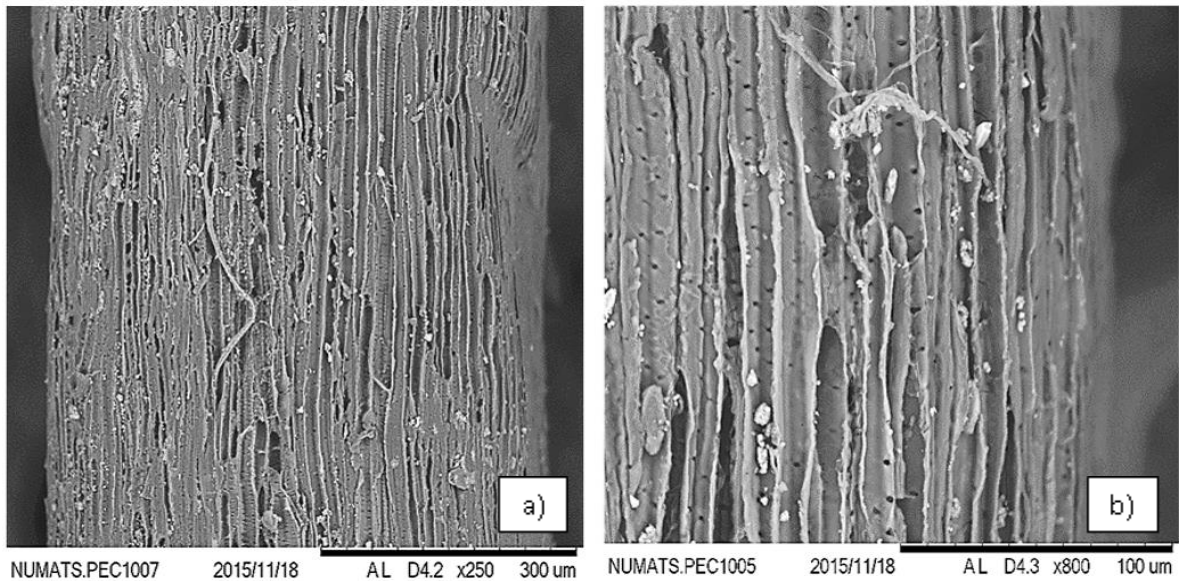


Figura 65 - Micrografias da fibra de piaçava tratada a 10% de NaOH, vista das fibrilas: (a) x250, (b) x800.

Na Figura 66 está ilustrada a seção transversal da fibra de piaçava. Após o tratamento (Figura 66b), a espessura da parede das células apresentou variações e isso pode ser atribuído à remoção de materiais orgânicos, como lignina e outras substâncias (MWAIKAMBO & ANSELL, 2002).

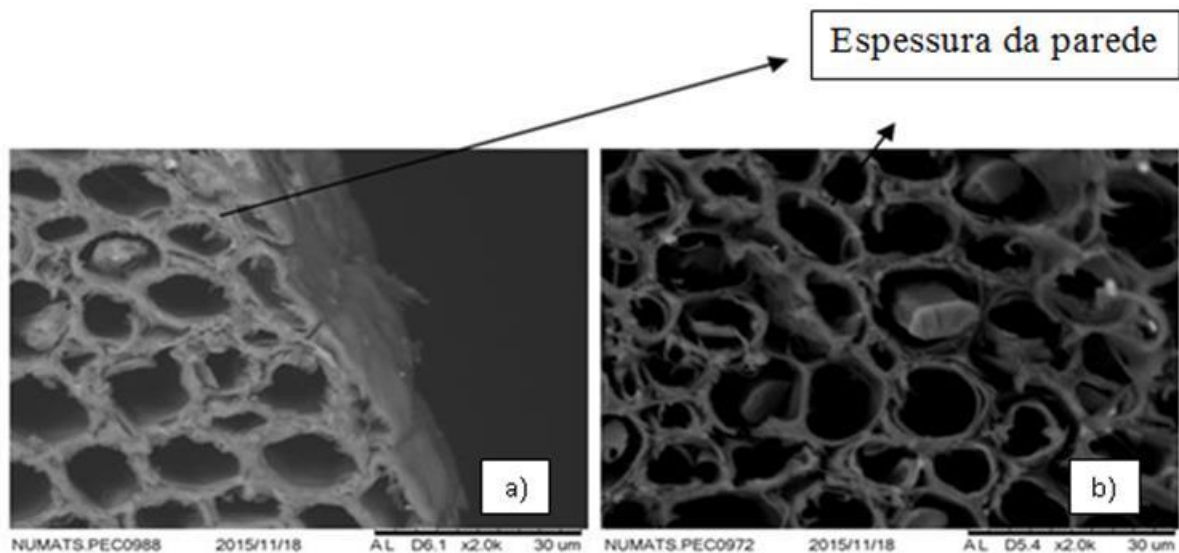


Figura 66 - Micrografias da seção transversal das fibras: (a) sem tratamento, (b) 10% NaOH.

A análise apresentada corrobora com os dados de FRX, onde as micrografias ressaltam a porosidade da fibra pela remoção de material orgânico e protrusões ricas em sílica, fato evidenciado na redução do percentual de Silício na superfície fibrilar, após mercerização.

#### 4.1.4 Análise Termogravimétrica (TGA) e Termogravimetria Derivada (DTG)

Os resultados da análise termogravimétrica são apresentados nas Figuras 67 e 68. Na Figura 67, é possível observar o comportamento de decomposição da fibra não tratada. Há uma pequena perda de massa em baixa temperatura (11,88%) entre 25 °C e 112 °C que pode ser atribuída à água na forma de umidade absorvida ou água combinada (KABIR et al., 2013). O início da degradação térmica da fibra ocorre a cerca de 180 °C, com a decomposição da hemicelulose. De acordo com a literatura, a curva TGA da hemicelulose apresenta três estágios de decomposição (de 25 a 180 °C, de 180 a 280 °C e de 280 a 500 °C). O pico a 361 °C pode estar associado à decomposição da celulose. Este valor é maior do que o relatado para a amostra de celulose pura (KABIR et al., 2012) e a piaçava Bahia da espécie “*Attalea funifera*” (Li X et al., 2007). A decomposição térmica da lignina variou de 150 a 450 °C (KABIR et al., 2012). Um pico claro para a lignina não foi observado nesta curva.

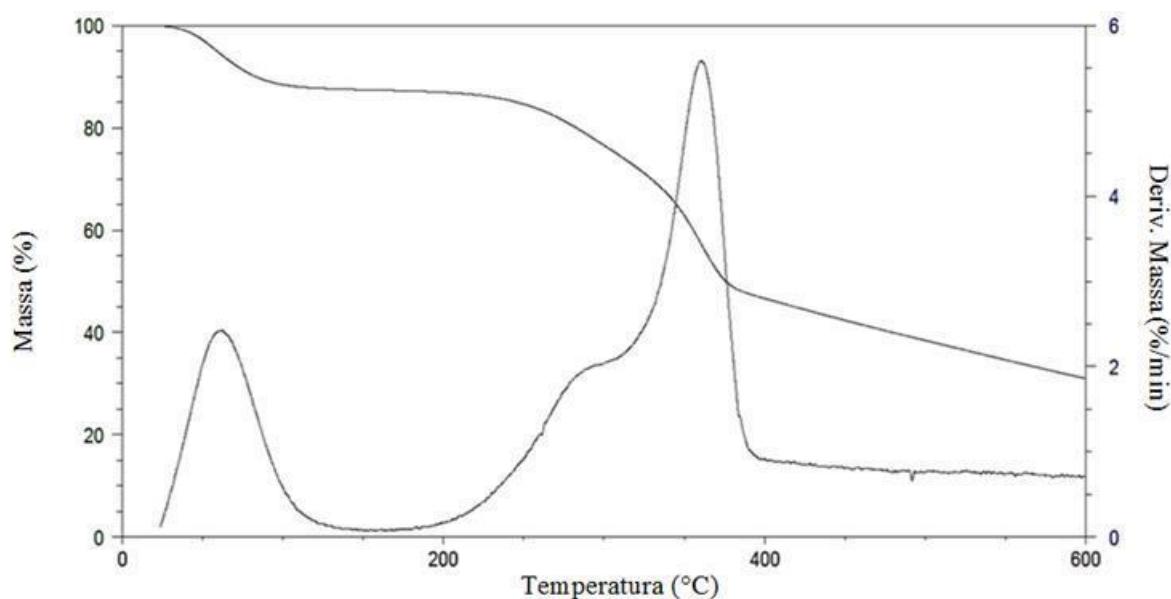


Figura 67 - Curvas de TG e DTG para a fibra *in natura*.

Na Figura 68 são apresentadas as curvas de TG e DTG para a fibra *in natura* e fibra mercerizada. As fibras mercerizadas (5 e 10% NaOH) apresentaram temperaturas de decomposição mais baixas em comparação à fibra não tratada. Para a principal região de decomposição das fibras (200 - 400 °C), as fibras tratadas apresentaram maior perda de peso do que a fibra não tratada, indicando que os tratamentos removeram os constituintes da fibra.

Além disso, nas curvas DTG das fibras mercerizadas, o pico a cerca de 250 °C não é visível, indicando a remoção da hemicelulose na fibra (MWAIKAMBO & ANSELL, 2002).

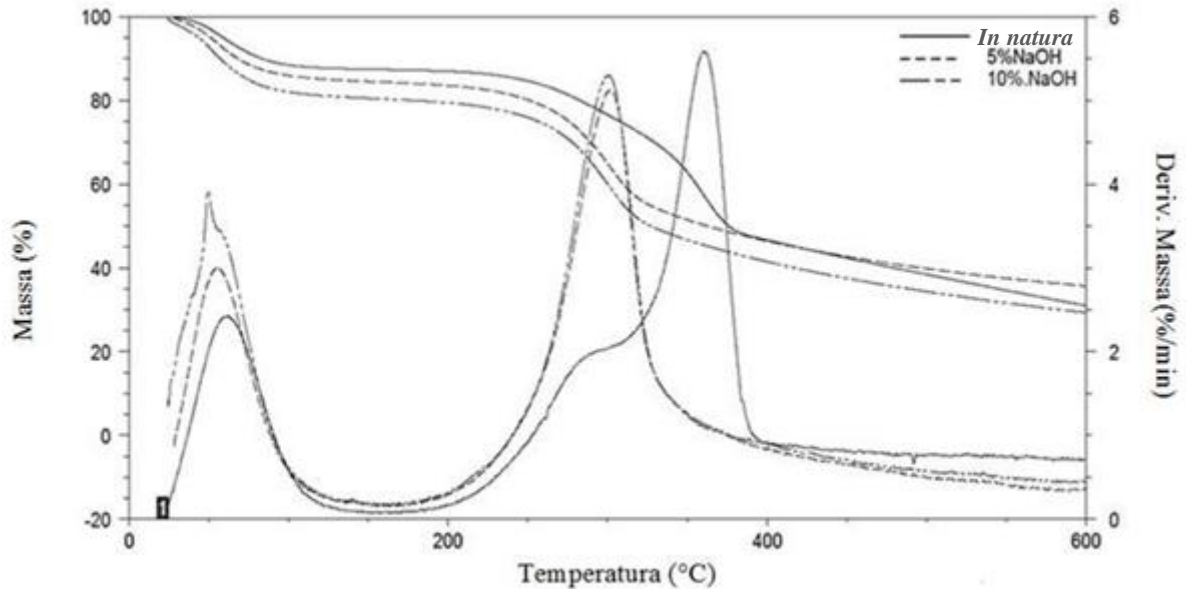


Figura 68 - Curvas TG e DTG para as amostras de fibras tratadas e sem tratamento.

## 4.2 Caracterização Física do compósito

### 4.2.1 Ensaio de Densidade

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios obtidos para a propriedade física de densidade aparente, bem como, desvio padrão dos painéis em estudo. Os painéis de Piaçava apresentaram características de média densidade, variando de 0,60 g/cm<sup>3</sup> (601,231 kg/cm<sup>3</sup>) a 0,82 g/cm<sup>3</sup> (820,733 kg/cm<sup>3</sup>), sendo o painel de 15 CT (10% NaOH) o de maior densidade aparente. O maior módulo máximo de variação da densidade foi de 12,70 % para as placas de 20 CT (10% NaOH).

As diferenças apresentadas nas placas com densidade nominal abaixo de 0,70 g/cm<sup>3</sup> podem ser atribuídas à perda de material durante o processamento do compósito (IWAKIRI et al., 2008). Da mesma forma, as maiores densidades podem ser atribuídas e indicarem alta umidade das fibras, uma vez que, a umidade aliada à temperatura facilita a plasticização da resina oferecendo menor resistência à compactação (SOUZA, 2012).

Comparando os resultados das amostras sem tratamento (15 ST e 20 ST), observar-se um aumento da densidade com o aumento da quantidade de resina. Para as amostras com

tratamento, o mesmo não pode ser observado, ou seja, com o aumento da quantidade de resina observou-se uma menor densificação. Essa variação pode estar relacionada com o processo de pré-prensagem, uma vez que este aumenta a consistência do colchão, reduzindo espaços vazios e conseqüentemente alterando a densidade do material (KELLY, 1977; IWAKIRI, et al., 2005; KOLLMAN et al., 1975 ). Por outro lado, os resultados das amostras sem tratamento (15 ST) e com tratamento (15 CT) podem ser um indicativo de aumento considerável na compactação. Nesse caso, o processo de compactação pode ter sido mais eficiente devido ao aumento da porosidade das fibras, após o tratamento (LI et al., 2007).

Tabela 7 - Valores médios para Densidade.

Amostra	Condições de Processamento		Densidade Média (Kg/m <sup>3</sup> )	DP	D%*
	Tratamento - NaOH (%)	Resina (%)			
15 ST	0	15	601,231	45,385	11,413
20 ST	0	20	709,882	23,782	5,525
5 CT	5	17,5	792,679	20,556	8,209
15 CT	10	15	820,733	43,659	9,070
20 CT	10	20	692,868	40,233	12,696

\*Módulo máximo de variação da Densidade

De acordo com análises da ANOVA, Tabela 8, os fatores, tratamento e resina, não apresentaram nível de significância para esta análise com p-valor de 0,179, e baixo grau de correlação, com  $R^2 \cong 63,28\%$ . No gráfico de superfície, conforme Figura 69, é possível identificar, quanto maior a concentração do tratamento alcalino (10% NaOH) e menor teor de resina maiores são os resultados médios da densidade dos compósitos.

Tabela 8 - Dados ANOVA para densidade.

Fator	p -Valor	Correlação (R <sup>2</sup> )
<b>Tratamento</b>	0,242600	
<b>Resina</b>	0,893809	0,63237
<b>Interação</b>	0,179949	

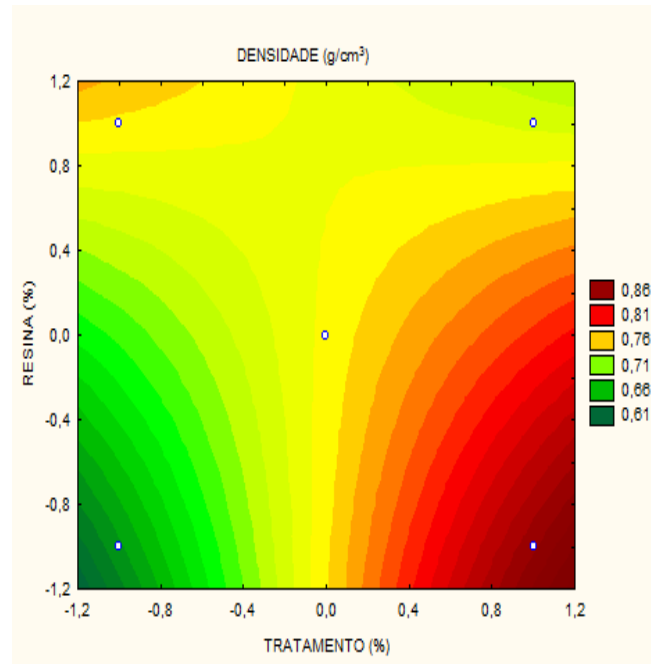


Figura 69 - Curvas de Nível para ensaio de Densidade.

#### 4.2.2 Ensaio de Inchamento durante 24 horas

Para os ensaios de inchamento após 24 horas, observa-se na Tabela 9, que os valores apresentaram-se inferiores à tolerância máxima de 17% recomendada pela norma NBR 14810-2: 2013 (ABNT, 2013). O painel de 5CT (5% NaOH), apresentou inchamento máximo com variação de espessura de 19,11% e desvio padrão de 10,00. O alto desvio pode estar relacionado com a falta de homogeneidade durante o processamento de mistura da resina com as fibras, como observado por Fiorelli et al., (2011) para painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar.

O inchamento mínimo foi de 5,63 % com desvio de 1,55 no painel de 20 ST. Observa-se que para as amostras sem tratamento quanto maior a quantidade de resina e densidade menor o inchamento. Já para as amostras com tratamento é considerando os desvios padrão, não foram observadas variações no inchamento.

Tabela 9 - Valores médios para inchamento em espessura após 24h.

Condições de Processamento		Amostra	Inchamento 24 h (%)	DP
Tratamento - NaOH (%)	Resina (%)			
0	15	15 ST	15,10	5,14
0	20	20 ST	5,64	1,55
5	17,5	5 CT	19,11	10,00
10	15	15 CT	8,43	1,86
10	20	20 CT	9,76	2,44

A interação entre os fatores foi similar ao de densidade, onde não houve significância para as condições estudadas e apresentando grau de correlação de apenas  $R^2 \cong 12\%$  e p-valor de 0,651 na relação tratamento/resina (Tabela 10), neste caso, a propriedade física de inchamento apresentou baixa relação linear entre as variáveis estudadas. Considerando as curvas de nível do gráfico de superfície (Figura 70) é possível verificar que, quanto maior o teor de resina e maior a concentração da solução alcalina, menor a sorção de água pelos compósitos. Isto evidencia o caráter hidrofóbico da resina (VILLAR, 2004; LOPES, 2009), e da mesma forma, a influência da mercerização na característica hidrofílica das fibras, proporcionando redução da umidade nas mesmas (SREEKALA et al., 2002), melhor adesão à matriz, e conseqüentemente dificultando a difusão das moléculas de água pelos vazios (SILVA, 2003).

Tabela 10 - Dados ANOVA para ensaio de inchamento 24 h.

Fator	p -Valor	Correlação (R <sup>2</sup> )
<b>Tratamento</b>	0,913961	
<b>Resina</b>	0,732390	0,11864
<b>Interação</b>	0,651956	



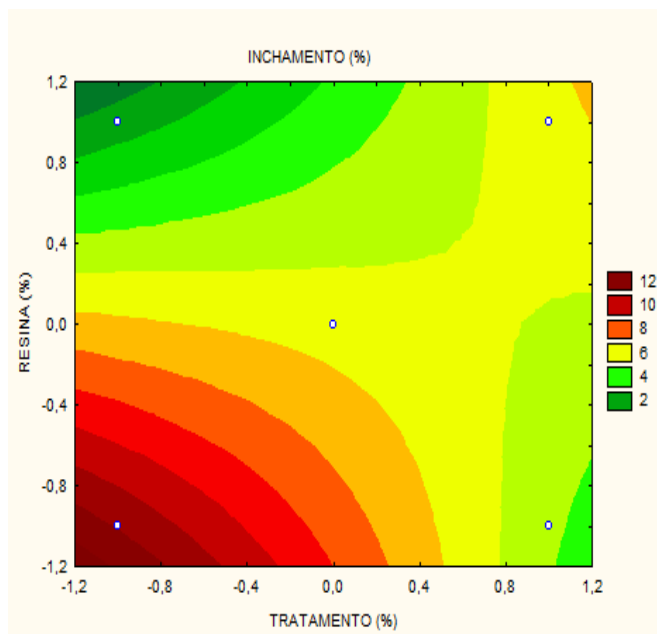


Figura 70 - Curvas de Nível para ensaio de inchamento.

Marinho et al., (2013) observou que o compósito de poliuretano derivado de óleo de Mamona associado a partículas de Bambu não apresentaram variação no inchamento com a variação da quantidade de resina, sendo os valores de  $15,6 \pm 2,70$  % para o compósito de 15% de resina e  $12,3 \pm 1,69$  % para o teor de 20 % de resina. No presente trabalho observou-se uma diminuição no inchamento com o aumento da resina, o que pode estar relacionado com o caráter hidrofóbico da matriz poliuretana.

Os resultados obtidos no presente trabalho, são semelhantes aos obtidos por Barbirato et al., (2014), com painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira Itaúba para 15 % de resina, e Paes et al., (2011) em estudo de qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* sob diferentes condições de pressão e temperatura.

#### 4.2.3 Inchamento após o Envelhecimento

A propriedade de inchamento também foi analisada após o ensaio de envelhecimento acelerado e os resultados são apresentados na Tabela 11. Em comparação aos resultados de inchamento obtidos no item 4.2.2 é possível observar que as amostras com tratamento apresentaram maior estabilidade após o envelhecimento (15 CT e 20 CT) quando comparadas a amostra sem tratamento (15 ST e 20 ST).



Tabela 11 - Valores médios para envelhecimento acelerado, sobre propriedade física de inchamento.

Condições de Processamento		Amostra	Env. Inch (%)	DP
Tratamento - NaOH (%)	Resina (%)			
0	15	15 ST	13,23	1,37
0	20	20 ST	10,90	2,36
5	17,5	5 CT	6,96	1,53
10	15	15 CT	9,32	1,63
10	20	20 CT	9,44	2,86

Assim como as demais propriedades físicas abordadas, as análises de ANOVA indicaram que não houve influência dos fatores isoladamente, bem como na interação entre o tratamento e o percentual de resina (p-valor de 0,777), nas condições estudadas e grau de correlação  $R^2 \cong 46,75\%$  (Tabela 12).

No gráfico de superfície (Figura 71a e 71b) é possível verificar que, quanto maior a concentração do tratamento e maior o teor de resina, menor é o inchamento nas amostras envelhecidas. Estes resultados indicam estabilização do compósito mesmo exposto a processo de degradação intenso, resultado da capacidade do adesivo poliuretano molhar grande parte dos substratos e formar pontes de hidrogênio com estes, e devido à sua baixa viscosidade contribuir na formação de ligações covalentes e maior penetração nos poros com substratos que tenham hidrogênio ativo (SEBENIK & KRAJNC, 2007).

Davies e Evrard (2007), avaliaram os efeitos do envelhecimento em poliuretanos quando imersos em água do mar natural e artificial por até 5 anos a temperaturas diferentes. Constataram que não houve degradação significativa para os poliuretanos estudados e que a cinética de degradação é mais lenta para o poliuretano rígido. Isto resulta em efeitos secundários tais como a pós-cura, que modifica o material, mas não permite que a degradação permanente seja induzida, além do aumento da rigidez no compósito ao longo do tempo, fato também presenciado por Boubakri et al., (2010)

Tabela 12 - Dados ANOVA para ensaio de inchamento após envelhecimento.

Fator	p -Valor	Correlação (R <sup>2</sup> )
<b>Tratamento</b>	0,571153	
<b>Resina</b>	0,797998	0,4675
<b>Interação</b>	0,777382	

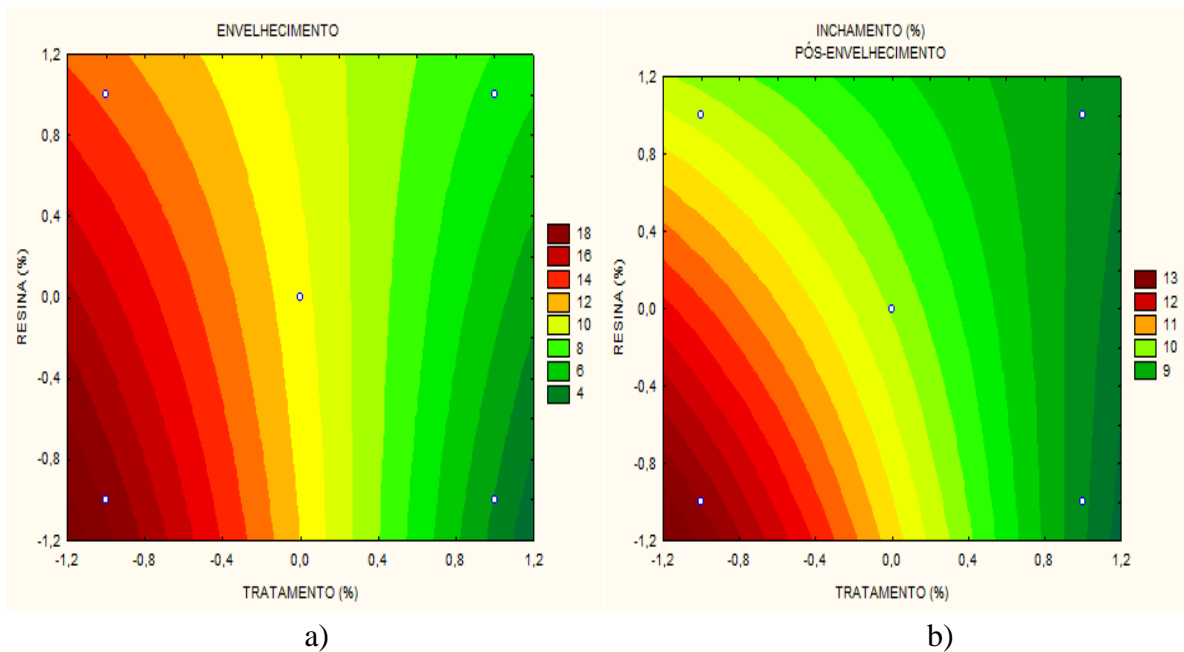


Figura 71 - Curvas de Nível para envelhecimento: a) envelhecimento acelerado, b) % inchamento após envelhecimento.

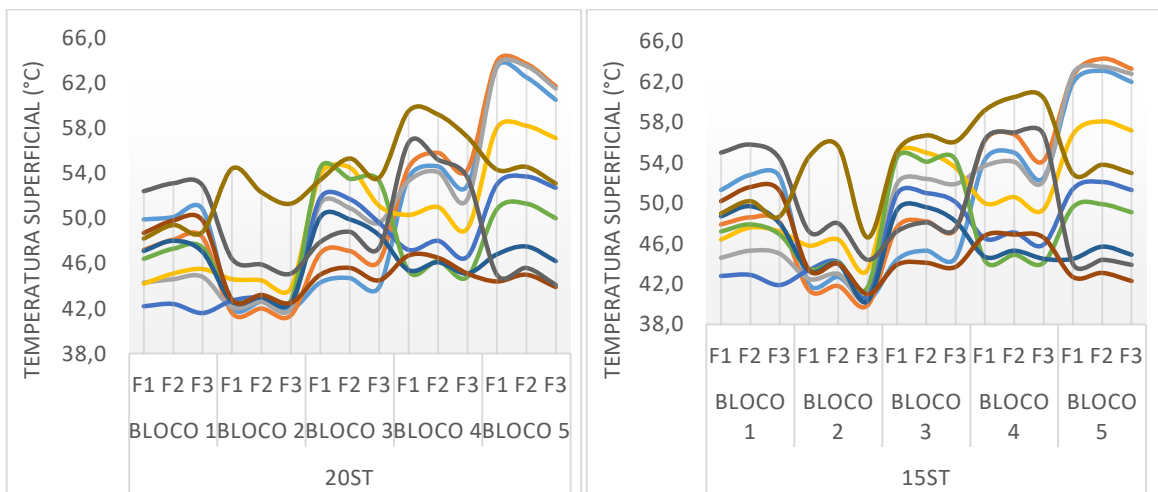
Estudos considerando os efeitos do envelhecimento em compósitos abordam normalmente as características mecânicas, uma vez que, estas são as mais afetadas pelo processo (MOTTA et al., 2002; AZEVEDO, 2009). Dentre os outros efeitos que podem ser considerados nesse ensaio temos a radiação simulada emitida, polímeros sob efeito da radiação tem alterações na cor e estrutura distorcida em virtude da formação de vazios, o que leva a uma fragilidade e amarelamento do compósito (MOTTA et al., 2002; AZEVEDO, 2009), além de efeitos sobre a adesividade (SEBENIK & KRAJNC, 2007).

Segundo Skiens (1980), todos os polímeros possuem graus de resistência diferentes à radiação, porém todos sofrem efeitos em suas propriedades. A mudança de cor, por exemplo, pode ser atribuída as reações de oxidação do poliuretano que levam à formação de uma camada oxidada na superfície do polímero (BOUBAKRI et al., 2010).

Outro fator a se considerar é o teor de umidade das fibras, estas ao serem aquecidas tendem a se expandir e a se contrair por efeito térmico, e tal perda de umidade reflete-se no compósito. Manríquez (2012) e Moraes (2009) concluem que tais variações podem contribuir para perda de resistência mecânica do compósito ou degradação mais rápida dos polímeros da madeira.

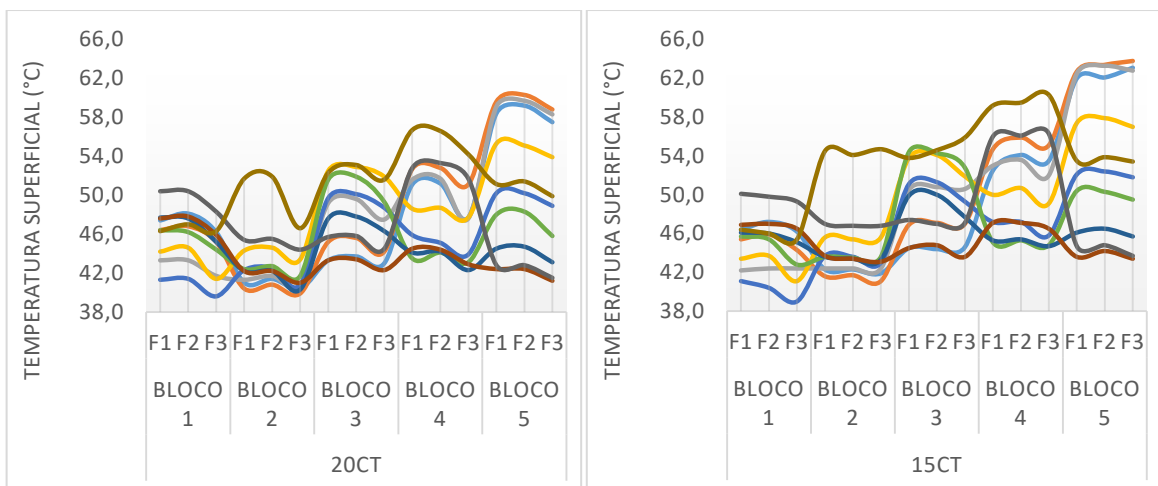
#### 4.2.4 Termografia por infravermelho (TI/IR)

Na análise termográfica foram geradas cerca de 50 fototermografias, com perfis de peculiaridades em determinados pontos. Verificando a radiação da superfície das amostras constatou-se, conforme Figura 72, que quanto maior o período de exposição às irradiações solares, maiores as temperaturas. Isso é observado com maior clareza no bloco 5, para todas as amostras (Figura 72a a 72g), que apresenta maior absorção de calor e cujas tomadas foram realizadas de 11:00 h às 11 h 20 minutos.



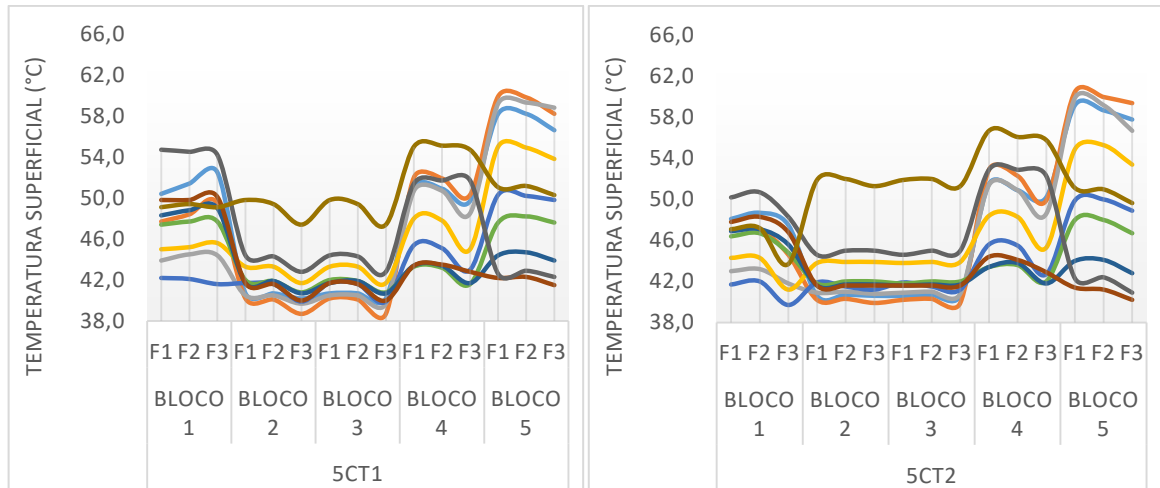
a)

b)



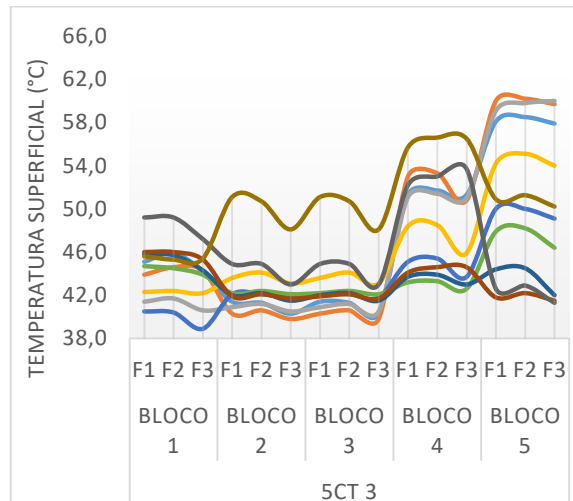
c)

d)



e)

f)



g)

Figura 72 - Variação de amplitude térmica nos blocos de cada amostra, (a) 15ST; (b) 20ST; (c) 15CT; (d) 20CT; (e) 5CT1; (f) 5CT2; (g) 5CT3.

Observa-se, na Figura 73, que o painel com máxima temperatura foi o de 15ST (15% de resina e fibra sem tratamento), variando de 46,6 °C a 64,3 °C, e apresentando amplitude térmica de 17,7 °C, o que evidencia a refletividade do material e consequentemente seu potencial de absorção de carga térmica.

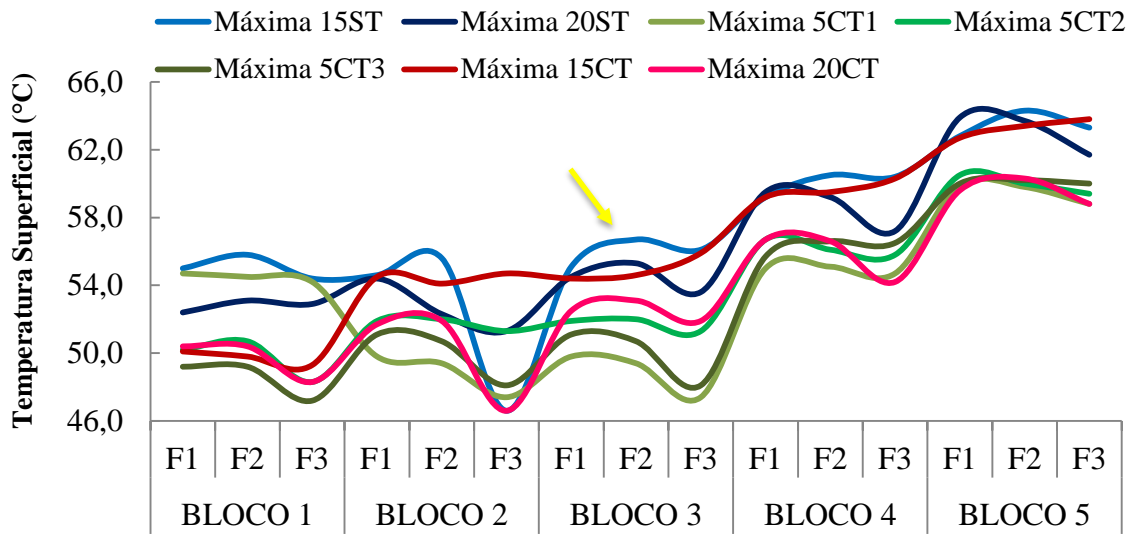


Figura 73 - Máximas temperaturas.

O painel que apresentou menor temperatura superficial foi o de ponto central 5CT1 (17,5% de resina com fibras tratadas a 5% de NaOH), Figura 74, variando de 38,7°C a 43,3°C. Nota-se amplitude térmica igual a 4,6°C, sugerindo maior estabilidade das amostras e consequentemente, melhor resposta como isolante térmico (BEZERRA, 2003).

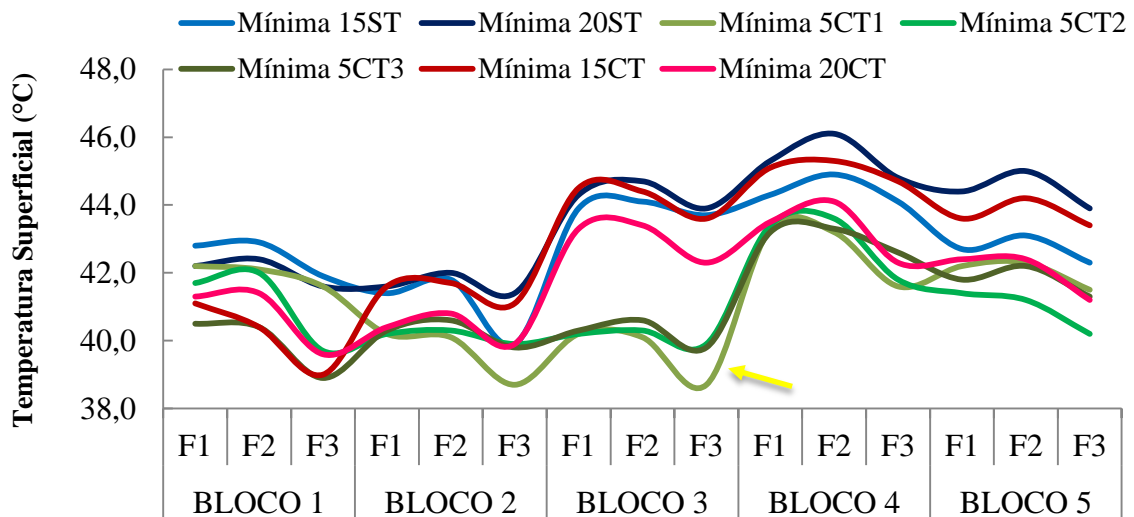


Figura 74 - Mínimas temperaturas.

Comparando-se as médias globais obtidas nos painéis com tratamento a 10% de NaOH, na Figura 75, constatou-se que os painéis de 15CT (15% de resina com fibras tratadas a 10% de NaOH) e 20CT (20% de resina com fibras tratadas a 10% de NaOH) apresentaram

respectivamente 48,8°C e 47,1°C, uma temperatura de superfície mais baixa quando comparados ao painéis sem tratamento. Esses resultados podem estar relacionados com a influência do tratamento químico nas propriedades térmicas das amostras, bem como, tipo e concentração de resina utilizados, corroborando com Lopes (2009) a respeito da potencialidade do poliuretano como isolante térmico.

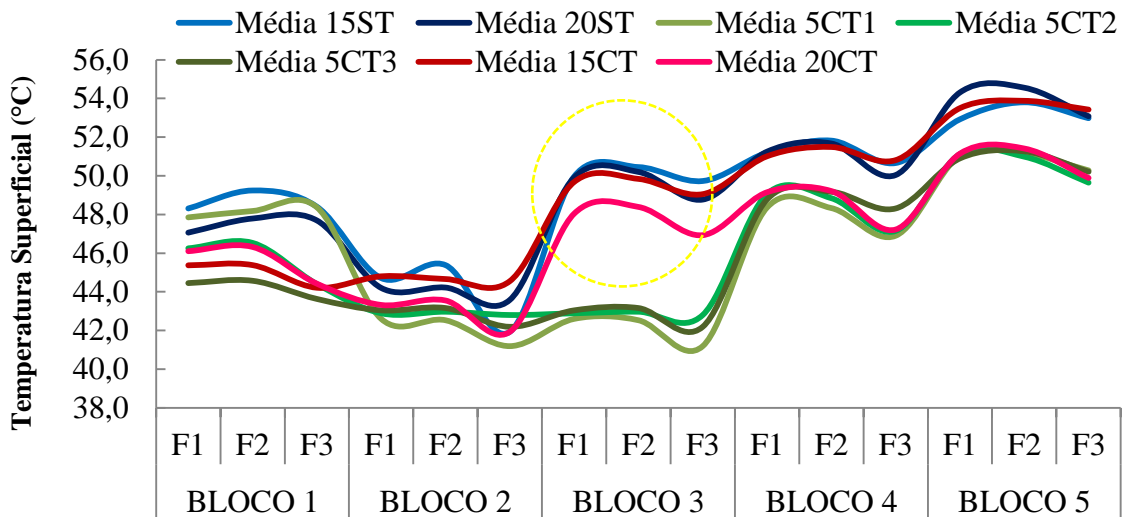


Figura 75 - Médias das temperaturas absorvidas pelas placas.

Ao analisarmos os fatores experimentais, verificou-se que a quantidade de resina e o tratamento alcalino podem modificar as características térmicas das amostras. Isso está evidenciado na Figura 76, ao compararmos as tomadas fotográficas no bloco inicial e no bloco final para os compósitos com e sem tratamento nas fibras. Observa-se que em temperaturas mais baixas, o tratamento pode ter influenciado no aquecimento da superfície dos painéis. Porém, o mesmo não pode ser verificado quando os painéis são expostos à temperaturas mais altas.

De acordo com Siau (1984), o fluxo de calor na madeira, ou materiais lignocelulósicos, varia em seus planos anatômicos e em função de irregularidades existentes como fendas, nós, entre outros. Logo, à medida que a temperatura aumenta durante os processos de aquecimento, as mudanças continuam afetando os compósitos e consequentemente suas propriedades físico – mecânicas.

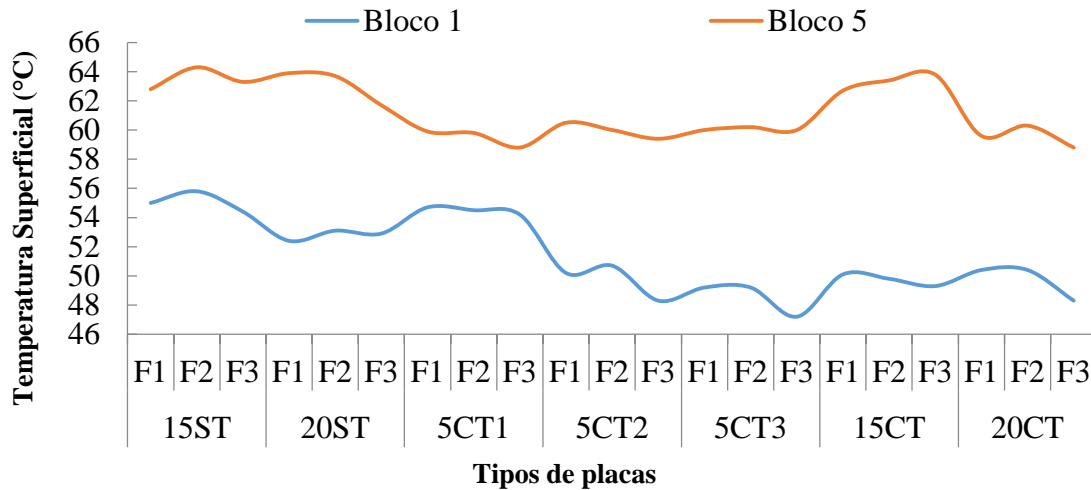


Figura 76 - Influência dos fatores experimentais: Bloco 1 (Inicial - 9:00/9:20) e Bloco 5 (Final - 11:00/11:20).

#### 4.2.5 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

As figuras 77, 78 e 79 referem-se a imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura da superfície de compósitos de piaçava nas diferentes condições de processamento, com fibras tratadas a 5% e 10% de NaOH, e com fibras in natura.

Nas Figuras 77 a) e b), é possível verificar falhas de preenchimento no compósito com fibras sem tratamento, indicando uma menor adesão interfacial fibra/matriz. As fibras possuem em sua superfície ceras e extrativos acumulados naturalmente e/ou por meio do processo de extração, beneficiamento e armazenamento do material (MATTOSO et al.,1997; CHAND et al.,1992; D'ALMEIDA et al., 2006), que diminuem a adesão das fibras ao compósito (JOSEPH et al, 1996; GEETHAMMA et al., 1998; IOZZI& MARTINS, 2010).

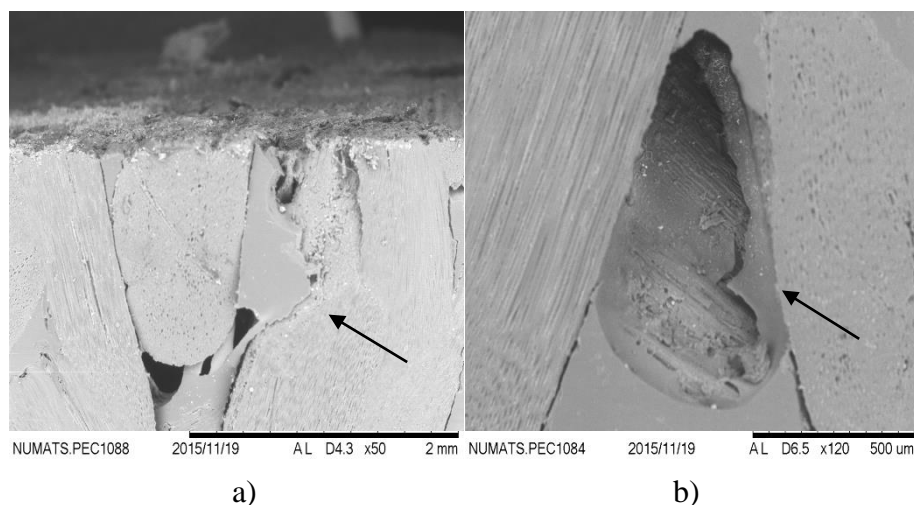


Figura 77 - Micrografias de compósito com fibras de piaçava in natura: a) baixa adesão interfacial, b) falha de preenchimento.

Nos compósitos com fibras tratadas a 5 % e 10 % de NaOH é possível verificar a influência da mercerização na relação interfacial do compósito (Figuras 78 e 79). A superfície da fibra pode tornar-se mais rugosa aumentando a área superficial fibrilar e facilitando ancoragem à matriz (BLEDZKI & GASSAN, 1999), contribuindo para o mecanismo de adesão mecânica (MERLINI, 2011).

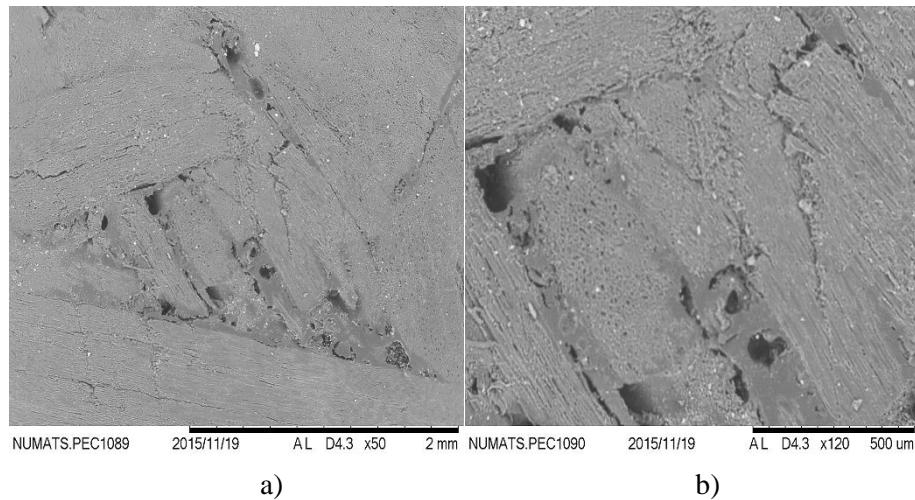


Figura 78 - Micrografias do compósito com fibras tratadas a 5% de NaOH: a) e b) adesão fibra/matriz.

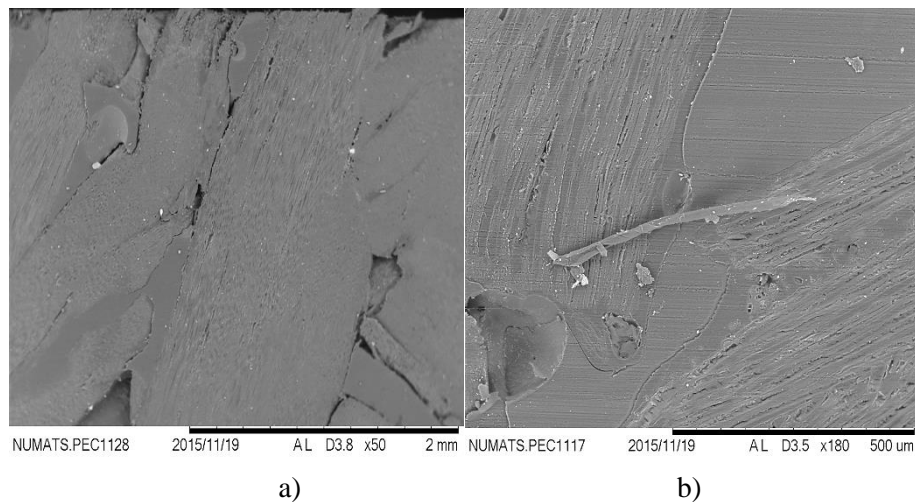


Figura 79 - Micrografias do compósito com fibras tratadas a 10% de NaOH: a) e b) interface fibra/matriz.

Contudo, na Figura 80 as micrografias destes compósitos evidenciam presença de formação de bolhas, tal indicação pode contribuir para redução da tensão de ruptura do material (AZEVEDO, 2009). Esse efeito pode ser decorrente do processo de cura do



compósito, onde pode haver liberação de  $\text{CO}_2$  (VILLAR, 2004) e desprendimento de vapor de água (MARINHO et al., 2013), bem como, bolhas incorporadas na resina durante a mistura pela falta de adsorção e molhamento efetivo (ZANGIACOMI, 2002).

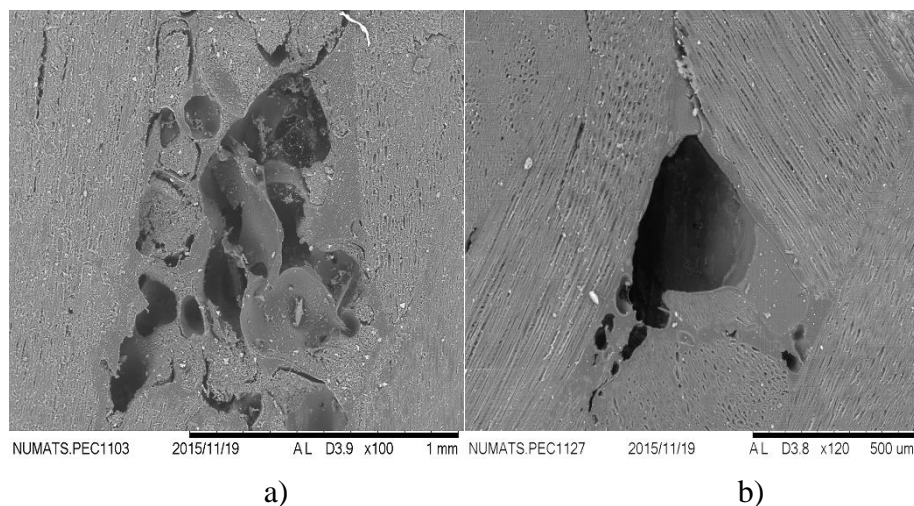


Figura 80 - Micrografias indicando formação de bolhas: a) Compósito de 5 % NaOH, b) Compósito de 10% NaOH.

## 4.3 Caracterização Mecânica

### 4.3.1 Arrancamento de Parafuso

Os valores médios obtidos para resistência ao arrancamento de parafuso são apresentados na Tabela 13, o qual os parâmetros normativos estão de acordo com a NBR 14810-2: 2002 (ABNT, 2002). As condições experimentais analisadas atenderam as especificações mínimas exigidas de 800 N para resistência ao arrancamento de parafuso de topo - APT, com exceção da placa sem tratamento com teor de 15% de resina (15 ST), que apresentou 573, 68 N. Para o arrancamento de parafuso de superfície - APS, somente a placa tratada a 10 % de NaOH com teor de 15 % de resina (15 CT) obteve valor médio aproximado ao exigido da norma de 1020 N.

A placa 15 CT foi a única que mostrou-se eficiente para ambos os ensaios, atingindo o dobro da resistência mínima exigida para arrancamento de topo com valor médio de 1647, 517 N, resultado maior que o obtido por Souza (2012), para painéis de partículas orientadas (OSB) fabricados com *Pinus sp* e resina poliuretana à base de mamona.

Tabela 13 - Valores médios para resistência ao arrancamento de parafuso - Superfície e Topo.

Arrancamento de superfície	Indicador de cargas (N)					
	15% ST	20% ST	15% CT 10% NaOH	20% CT 10% NaOH	17,5 % CT 5% NaOH	NBR 14180/2002
MÉDIA	573,689	931,632	1019,892	848,275	882,598	1020
DP	196,231	83,356	152,983	108,559	163,869	

Arrancamento de topo	Indicador de cargas (N)					
	15% ST	20% ST	15% CT – 10% NaOH	20% CT – 10% NaOH	17,5 % CT- 5% NaOH	NBR 14180/2002
MÉDIA	573,689	1049,311	1647,517	1402,351	1261,821	800
DP	163,476	265,760	225,552	179,363	207,410	

Os resultados do tratamento estatístico apresentaram-se significativos para a interação entre os fatores e para o tratamento, nas condições estudadas. O grau de correlação de  $R^2 \cong 93,33\%$  foi obtido para APS e  $R^2 \cong 97,73\%$  para APT (Tabela 14 e 15), onde o tratamento alcalino mostrou-se mais significativo para o aumento da resistência ao arrancamento de parafuso.

Tabela 14 - Dados ANOVA para o arrancamento de parafuso AP-S.

Fator	p -Valor	Correlação (R <sup>2</sup> )
<b>Tratamento</b>	0,038954	0,93336
<b>Resina</b>	0,168514	
<b>Interação</b>	0,014303	

Tabela 15 - Dados ANOVA para o arrancamento de parafuso AP-T.

Fator	p -Valor	Correlação (R <sup>2</sup> )
<b>Tratamento</b>	0,002098	0,97734
<b>Resina</b>	0,203049	
<b>Interação</b>	0,014767	

As curvas de nível para ambos os ensaios podem ser visualizadas nas Figuras 81 e 82.

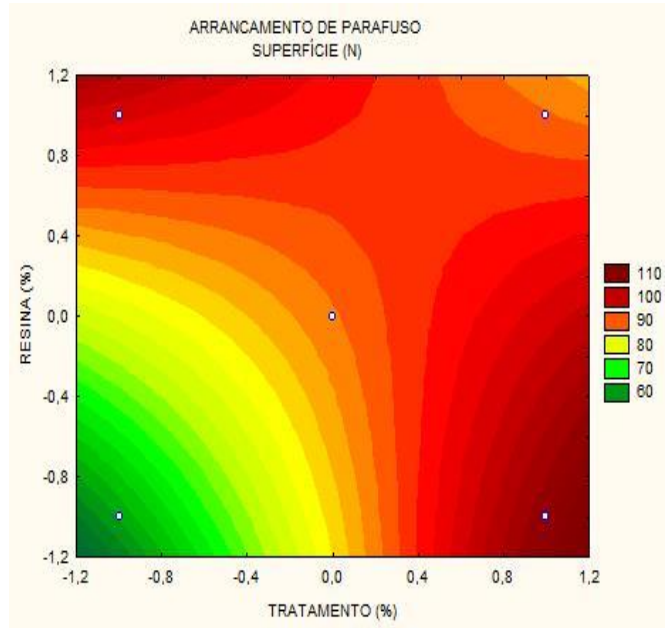


Figura 81 - Curvas de nível AP-S.

Observa-se que para o arrancamento de parafuso de topo (Figura 85) quanto maior o tratamento maior a resistência, o que pode estar relacionado ao aumento de adesão da fibra à matriz.

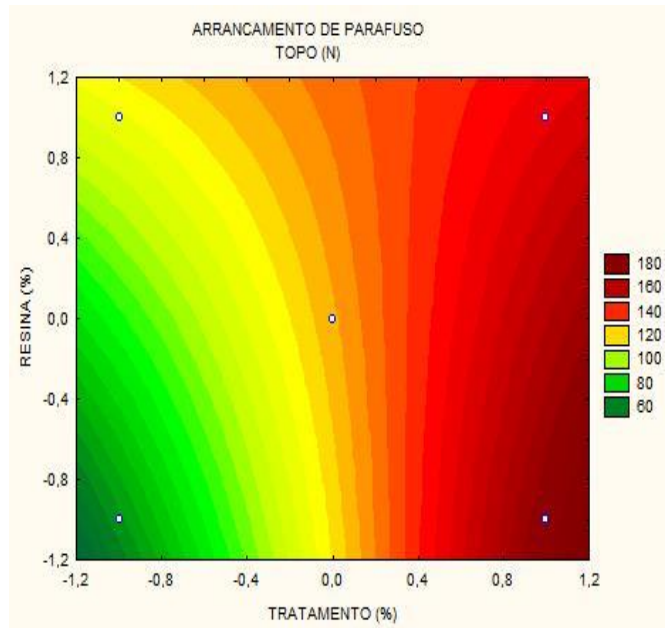


Figura 82 - Curvas de nível AP-T.

## 5 CONCLUSÃO

O tratamento químico por mercerização das fibras de piaçava acarretou modificações superficiais na microestrutura fibrilar. O processo retirou parcialmente alguns constituintes como lignina, hemicelulose, extrativos orgânicos e componentes inorgânicos, implicando em aumento da porosidade, rugosidade e área superficial. O tratamento também contribuiu para o aumento de cristalinidade da fibra e molhabilidade pela resina, implicando em aumento da aderência entre fibra/matriz e conseqüentemente aumento das propriedades físico-mecânicas.

Para os ensaios de inchamento, a característica hidrofóbica da resina escolhida colaborou para uma menor variação dimensional de espessura dos painéis estudados, enquanto o tratamento alcalino auxiliou na estabilização da sorção de água dos compósitos, o que é observado também após o envelhecimento acelerado das amostras.

O compósito com teor de 15% de resina e concentração de solução alcalina a 10% de NaOH mostrou-se promissor, atendendo os requisitos da norma NBR 14810-2: 2013, com exceção do ensaio de tração perpendicular. Porém, salienta-se a necessidade de novos estudos para este ensaio, de forma a explorar as possíveis interferências do tratamento alcalino para esta propriedade mecânica.

Também pode-se constatar a influencia da mercerização nas fibras vegetais de piaçava Amazônica para a temperatura superficial dos compósitos, através do ensaio de termografia. Logo, os painéis produzidos com fibras tratadas a 20% (20CT) apresentaram temperaturas de superfície inferiores aos outros painéis estudados.

A qualidade dos painéis produzidos com Piaçava (*Leopoldinia piassaba*) indicam que esta fibra pode ser uma fonte de matéria prima, adequada para inserção como reforço em compósitos poliméricos. Os compósitos produzidos podem atender não somente o mercado da construção civil, como também, os campos de design e movelaria, contribuindo para uso de tecnologias mais ecológicas e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

AGARWALL, B.D.; BROUTMAN, L.J. **Analysis and Performance of Fiber Composites**. Nova York: John Wiley & Sons. 2000.

AGRELA, S. P. **Preparação e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade com resíduos de fibras de piaçava de espécie *Attalea funifera* Mart.** Dissertação Mestrado. Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia - UFBA, 2009.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. **Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira**. In: Seminário Iberoamericano de materiales fibrorreforzados, 1., y reunión proyecto PIP VIII.5 Cytel, 3., Cali. Universidade del Valle, Cali, 1997.

AHMED, A. **A review of plasma treatment for application on textile substrate**. Degree of BSc, Faculty of Textile Science. Textile Institute of Pakistan. Pakistan, 2007.

AQUINO, R.C.M.P. **Desenvolvimento de Compósitos de fibras de Piaçava da espécie *Attalea Funifera* Mart e matriz de resina poliéster**. Tese em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goitacazes – RJ, agosto – 2003.

AQUINO, R. C. M. P.; ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N. **Desenvolvimento de Compósitos de Matriz Polimérica e Piaçava**. Net, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 14. 2000, São Pedro – SP. Anais. Disponível em: < <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC201-008.pdf> >.

AQUINO, R. C. M. P.; D'ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N. **Flexural mechanical properties of Piassava fibers (*Attalea funifera*) – Resin matrix composites**. Journal of materials Science Letters, v.20, p.1017-1019, 2001.

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. **Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas**. Quim. Nova, v. 36, n. 1, p. 114 – 122, 2013.

ALBUQUERQUE, C.E.C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados.** Tese em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 150 p, 2002.

ALTOÉ, L.; FILHO, D.O. **Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios.** Acta Tecnológica, v. 7, n. 1, p.55 – 59, 2012.

ALVES, W. F. **Preparação e caracterização de blendas de poliuretano derivado do óleo de mamona e poli (o-metoxianilina) e sua avaliação como sensor.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 122 f. 2005.

AMERICAN SOCIETY OR TESTING AND MATERIALS - ASTM G53-96: **Practice for Operating Light - and Water - Exposure Apparatus (Fluorescent UV - Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials (Withdrawn 2000)**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1996.

AMERICAN SOCIETY OR TESTING AND MATERIALS - ASTM D1037-12: **Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

AMERICAN SOCIETY OR TESTING AND MATERIALS - ASTM D3878 – 95. **Standard terminology of high - modulus reinforcing fibers and their composites.** 1995.

AMICO, S.C.; SYDENSTRICKER, T.H.D.; SILVA, P.S.C.P. **Evaluation of the influence of chemical treatment on the tensile strength of sisal fibers by a weibull distribution analysis.** Metals Materials and processes, v.17, n. 3-4, p.233-42, 2005.

ARRAKLIZ, F.Z.; EL ACHABY, M.; KALOW, A.C.; VAUDREVIL, S.; BENMOUSSA, K.; BOUHFID, R.; FASSI-FEHRI, O.; QAISS, A. **Mechanical properties of high density polyethylene reinforced with chemically modified coir fibers Impact of chemical treatments.** Mater Des; v.37, p. 279-383, 201.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA. **Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. São Paulo: Prata Design, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 14810-2: **Chapas de madeira aglomerada**. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 4 p. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1: **Painéis de partículas de média densidade**, parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-2 **Painéis de partículas de média densidade**, parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

AZEVEDO, E. C. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretana derivado do óleo de mamona**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia, Área de concentração: Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

AZIZ S.H.; ANSELL M.P. **The Effect of Alkalization and Fibre Alignment on The Mechanical and Thermal Properties of Kenaf and Hemp bast Fibre**. Composites: Part 1- Polyester Resin Matrix, Composite and Science Technology; v. 64, p.1219-1230, 2004.

BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; BARRERO, N.G.; et al., **Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira itaúba**. Crowded hybrid panel manufactured with peanut hulls reinforced with itaúba wood particles. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685-697, 2014. ISSN 0103-9954.

BARBOSA, A.P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti**. Tese em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos Dos Goytacazes, RJ, 2011.

BADER, M. G. **Reinforced thermoplastics**, em Kelly, A; Mileiko, S. T. "**Handbook of composites**", eap. 4, Elsevier Science Publishers, London, p.177- 219, 1983.

BARRETO, A.C.H., **Modificações químicas em fibras lignocelulósicas para aplicação na elaboração de biocompósitos de matriz fenólica derivada do LCC e na biossorção de metais**. Dissertação em Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 401 p. 2001.

BARROS, D. V., SILVA, L.K.X., KAHWAGE, P.R., JR. LOURENÇO, J.B., SOUZA, J.S., SILVA, A.G.M., FRANCO, I.M., MARTORANO, L.G., GARCIA, A.R. **Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography**. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.68, n.2, p.422-430, 2016.

BECKER, D.; KLEINSCHMIDT, A. C.; BALZER, P. S.; SOLDI, V. **Influence from the sequence for the mixture of PP-MA on the properties of PP and banana fiber composite**. Polímeros, 21, n.1, p.7, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282011005000012>.

BENINI, K.C.C.C. **Desenvolvimento e Caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras Lignocelulósicas: HPS/Fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Dissertação em Engenharia Mecânica na área de Materiais, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2011.

BEZERRA, L.A.C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.

BISANDA, E.T.N. E ANSELL, M.P. **The Effect of Silane Treatment on the Mechanical and Physical Properties of Sisal-Epoxy Composites**, Composite ScienceTechnology, v.41, p.165-178, 1991.



BLEDZKI A. K.; REIHMANE, S.; GASSAN J. **Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites.** J. Appl. Polym. Sci., v.59, p.1329-1336,1996.

BLEDZKI A. K; GASSAN J. **Composites Reinforced with Cellulose Based Fibres,** Progress in Polymer Science, v. 24, p.221-274, 1999.

BOLOGNESI, L. **Quantificação de formaldeído em extrato aquoso obtido da emissão de painéis de madeira por espectrofotometria acoplada à injeção em fluxo.** Dissertação de Pós-Graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

BONELLI, C.M.C.; ELZUBAIR, A.; SUAREZ, J. C. M. **Comportamento Mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava.** Polímeros: Ciência e tecnologia, v.15, n.4, p. 256-260, 2005.

BOUBAKRI, A.; HADDAR, N.; ELLEUCH, K.; BIENVENU, Y. **Impact of aging conditions on mechanical properties of thermoplastic polyurethane.** Materials & Design, v.31, n.9, p.4194-4201, 2010.

BOUBAKRI, A.; GUERMAZI, N.; ELLEUCH, K.; AYEDJ, H.F. **Study of UV-aging of thermoplastic polyurethane material.** Materials Science and Engineering: A, v.527, n.7-8, p.1649-1654, 2010.

BORGES, J.C.S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica.** Dissertação em Termociências. Engenharia Mecânica, Universidade Federal Do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2009.

BOYNARD, C.A.; D`ALMEIDA, J.R.M., **Morphological Characterization and Mechanical Behavior of Sponge Gourd (Luffa Cylindrica) - Polyester Composite Materials,** Polymer-Plastic. Technology Engineering, v.39, n.3, p. 1789-1791, 2000 a.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G., BARROS, M. T., SPENCER, M., PORTO, M., et al. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável** (2ª ed.). São Paulo: Prentice Hall, 2005.

BREIJO, G. F. **La célula vegetal: Estructura celular e intercomunicaciones**. Universidad Politécnica de Valencia. Disponível em: <[http:// biovegetal.es/docencia-asignaturas-impartidas/biología-de-la-plantas/tema-1](http://biovegetal.es/docencia-asignaturas-impartidas/biología-de-la-plantas/tema-1)>.

BRITZ, C. A.; NOGUEIRA, V. **Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura da madeira**. Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

BROWING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 574 p. 1963.

BUCKERIDGE, M.S., SILVA, G.B. & CAVALARI, A. A. **Parede Celular**. In: Kerbauy, G.B. (ed). 2ed. Fisiologia Vegetal, Guanabara Koogan: Rio de Janeiro. p. 165-181, 2008.

CALADO, V.; BARRETO D.W.; D'ALMEIDA, J.R.M. **The effect of a chemical treatment on the structure and morphology of coir fibers**, Springer, J. Mat. Sci. Let.; v. 19, p. 2151-2153, 2000.

CALADO, V.; BARRETO, D.W; D`ALMEIDA, J.R.M., **Effect of a Two Step Fiber Treatment on the Flexural Mechanical Properties of Sisal-Poliester Composites**, Polymers& Polymer Composites, v.11, n.1, p.31-36, 2003.

CALLISTER JR, W.D.; RETHWISCH, D. G. **Livro: Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. (2013).

CALLISTER JR, W.D. **Livro: Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 705p, 2008.

CAMPOS, C.I.; ROCCO LAHR, F.A. **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído.** *Matéria*, v. 9, n.1 p 32- 42. Rio de Janeiro, 2004.

CAMPOS, C.I.; LAHR, F.A.R. **Pinus e eucalipto para produção de painéis.** *Revista da madeira*. Edição nº 103, 2007.

CAMPOS, A.; TEODORO, K.B.R.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L.H.C.; MARTINS-FRANCHETTI, S.M. **Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal.** *Polímeros*, v.21, p.217, 2011.

CANEVAROLO JR, S.V. **Ciência dos Polímeros.** São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2006.

CANEVAROLO JR, S.V. **Técnicas de caracterização de polímeros.** São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2007.

CANGEMI, J. M.; CLARO NETO, S.; SANTOS, A. M. **Biodegradation: an alternative for minimizing the impacts from plastic residues.** *Química nova na escola, BRASIL*, v. 22, p. 17-21, 2006.

CANGEMI, J. M.; CLARO NETO, S.; SANTOS, A. M. **Poliuretanos: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil.** *Química nova na escola, BRASIL*, v. 31, n.3, p. 159-164, 2009.

CANGEMI, M. **Biodegradação de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona.** Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

CARASHI, J. C. & LEÃO, A. L. **Compósitos de Polihidroxidobutirato com Fibras Naturais.** Congresso Brasileiro de Polímeros, in: Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros. Gramado, RS., p.566, 2001.

CARNEIRO, M. R. D. **Tratamento de fibras de coco por plasma para obtenção de nanofibras e produção de compósitos de matriz de PHB.** Monografia em Engenharia de

Materiais da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Março, 2013.

CARRASCO, E.V.M.; OLIVEIRA, A.L.C.O.; MANTILLA, J. N. R. **Influência da temperatura na resistência e no módulo de elasticidade em madeira de híbridos de eucaliptos**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 389-400, 2016. ISSN 0103-9954.

CHAND, N.; ROHATGI, P. K. **Potential use, mechanical properties and thermal studies of sabai grass fibre**. J. Mater Sci. Lett: v.11, p. 578-580, 1992.

COCKETT, S.R.; HILTON, K.A. **Dyeing of Cellulosic Fibres**, Academic press New York and London, 1961.

COGNARD, P. **Handbook of adhesives and sealants, volume 1: basic concepts and high tech bonding**. Editora Elsevier. Versailles, 2005.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Proposta de Preços Mínimos Safra 2015/2016, Produtos da Sociobiodiversidade**. Diretoria de Política Agrícola e Informações Superintendência de Gestão da Oferta – Brasília, v. 2, p. 1-159, 2015. ISSN: 2359-4160.

COSTA, A. **Coletâneas de anatomia da madeira**, (2001). Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlando/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>. Acessado em: 6 outubro 2016.

COUTTS. R.S.P. **High yield woods pulps as reinforcement for cement products**. Appita, v.39, n.1, 1986.

CRUZ, R. **Cana de açúcar tratada com cal virgem: Uma alternativa**. REHAGRO, 2011. Disponível em: <<http://rehagro.com.br/plus/modulos/noticias>>, acesso em: 17/02/2016.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. **Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do**

**processamento mecânico da madeira de Pinus elliotii Engelm.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 4, pp. 421-429, 2005a.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Capítulo III: Composição Química dos Materiais Lignocelulósicos.** In: Celulose e Papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2ª. Edição. SENAI & IPT, 1988.

D'ALMEIDA, S. F. M.; NOGUEIRA, Z. S. N. **Effect of Void Content on the Strength of Composite Laminates.** Composite Structures, 28 (2), pp. 139-148, 1994.

D'ALMEIDA, A. L. F. S.; CALADO, V.; BARRETO, D. W.; D'ALMEIDA, J. R. M. **Acetilação da fibra de bucha (Luffa cylindrica).** Polímeros: Ciência e Tecnologia. v. 15, n. 1, p. 59-62, 2005.

D'ALMEIDA, J. R. M.; AQUINO, R. C. M. P.; MONTEIRO, S. N. **Tensile mechanical properties, morphological aspects and chemical characterization of piassava (Attalea funifera) fibers.** Composites: Part A, v.37, pp. 1473-1479, 2006.

D'ALMEIDA, A.L.F.S.; CALADO, V.; BARRETO, D.W.; D'ALMEIDA, J.R.M. **Effect of surface treatments on the dynamic mechanical behavior of piassava fiber-polyester matrix composites.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v.103, n. 1, p. 179-184, 2011.b.

D'ALMEIDA, A.L.F.S.; D'ALMEIDA, J.R.M; BARRETO, D.W.; CALADO, V. **Effect of surface treatments on the thermal behavior and tensile strength of piassava (Attalea funifera) fibers.** Journal of Applied Polymer Science, v.120, n.5, p. 2508-2515, 2011.a.

DATTOMA, V.; MARCUCCIO, R.; PAPPALETTERE, C.; SMITH, G. M. **Thermographic investigation of sandwich structure made of composite material.** NDT&E International, v.34, pp.512-520, 2001.

DAVIES, P. & EVRARD, G. **Accelerated ageing of polyurethanes for marine applications.** Polymer Degradation and Stability, v.92, p.1455-1464, 2007.

De DEUS, J.F.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. **Effect of drying, molding pressure, and strain rate on the flexural mechanical behavior of piassava (*Attalea funífera* Mart) fiber-polyester composites.** *Polymer Testing*, v.24, n.6, p. 750-5, 2005.

DIAS, F. M. LAHR, F. A. R. **Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood.** *Materials Research*, v.7, n.3, p.413-420, 2004.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada.** Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DOAN, T.T.L.; GAO, S.L.; MADER E. **Jute polypropylene composites I. Effect of matrix modification.** *Compos Sci Technol*; v.66, n. 7-8, p.952-63, 2006.

DUTRA, J.R. **Avaliação numérica e experimental de compósitos sanduíches feitos com serragem e fibras de piaçava.** Dissertação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del-Rei, 2014.

ELZUBAIR, A. & SUAREZ, J. C. M. **Mechanical behavior of recycled polyethylene/piassava fiber composites.** *Materials Science & Engineering: A*; v. 557, p. 29-35, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.m.s.e.a.2012.06.051>.

EMPERAIRE, L.; LESCURE, J. **La piaçabeira (*Leopoldinia piaçaba* wall.), palmier d'amazonie centrale et son exploitation.** In: LESCURE, J. (ed) - *Extractivisme em Amazonie brésilienne. Rapport final de la Convention SOFT.* Paris: Min. Environnement, 1992.

ESMERALDO, M.A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural.** Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará. 119f. 2006.

FELIX, M. J.; GATENHOLM, P. J. **The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibres and polypropylene.** Journal of Applied Polymer Science: 42, 609-620, 1991.

FENILLI, R.J. **Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação.** Revista Climatização e Refrigeração. Editora Nova Técnica, ISSN 1678-6866, São Paulo - SP n.94, 2008.

FERREIRA, M.; MORAIS, L.; PINO, J.C.D. **Química Orgânica.** ISBN 978-85-363-1075-6. Porto Alegre: Artmed, 2007.

FERREIRA, S.R.; SILVA, F.A.; LIMA, P.R.L.; FILHO, R.D.T.; **Effect of fiber treatments on the sisal fiber properties and fiber–matrix bond in cement based systems.** Construction and Building Materials 101 ,730–740, 2015.

FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R; NASCIMENTO, M. F. do; SAVASTANO-Jr. H.; ROSSIGNOLO, J. A. **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona: Produção e propriedades.** Acta Scientiarum: Technology, Maringá, v. 33, n. 4, p.401-406, 2011.

FIORELLI, J.; CURTOLOA, D.D.; BARRERO, N.G.; SAVASTANO, JR. H.; PALLONE, E.M.J.A.; JOHNSON, R. **Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product.** Ind Crop Prod; v.40: p.69-75, 2012.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FAO). **Wood handbook: wood as an engineering material.** General Technical Report FPL-GTR-190. WI: Madison, United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p, 2010.

FONTOURA, C. **Artesãos da Piaçava.** Odebrecht, 2012. Disponível em: <http://www.odebrechtonline.com.br/exclusivoonline/2012/03/02/artesaos-da-piacava>.

FRANCO, P. J. H.; GONZALEZ, A. V. **Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites** – Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v.35, p.339, 2004.

FROLLINI, E.; RAZERA, I. A. T. **Composites Based on Jute Fibers and Phenolic Matrices: Properties of Fibers and Composites**. Journal Applied Polymer Science, v. 91, p. 1077 – 1085, 2004.

GALEMBECK, F.; GANDUR, M. C. **Cientistas explicam o fenômeno da adesão**. Disponível em: [http://www.quimica.com.br/revista/qd393/adesivos\\_tec1.htm](http://www.quimica.com.br/revista/qd393/adesivos_tec1.htm). Acesso em: 05/10/ 2015.

GARCIA, J.; FONTES, P. **Termografia de Infravermelhos Aplicada a Instalações de Refrigeração**. Avances em Ciências e Técnicas do Frio – IV. IV Congresso Ibérico, II Congresso Iberoamericano de Ciências e Técnicas do Frio, CYTEF-2007.

GARCIA, T.; BITTENCOURT, E. “Plasma: tecnologia limpa”. **In: 3rd Amazonic Green Materials Meeting**, Manaus, AM, Brasil, 2010.

GASSAN J.; BLEDZKI A. K. **Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres**; Composites Science and Technology, v.59, p.1303-1309, 1999.

.GEETHAMMA, V.G.; JOSEPH R, T. S. **Short Coir fibre Reinforced Natural Rubber Composites: Effects of Fibre Length, Orientation and Alkali Treatmant**. Wiley, J. App. Poly. Sci.; v.55: p.583–594, 1995.

GEETHAMMA, V. G.; MATHEW, K. T.; LAKSHMINARAYANAN R. & THOMAS, S. **Composite of short coir fibers and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre**. Polymer, v.39, p.1483-1491, 1998.

GONÇALVES, A.P.B.; MIRANDA, C.S.; GUIMARÃES, D.H.; OLIVEIRA, J.C.; CRUZ A.M.F.; SILVA, F.L.B.M.; LUPORINI, S.; JOSÉ, N.M. **Physicochemical, Mechanical and Morphologic Characterization of Purple Banana Fibers**. Materials Research. v.18, p. 205-209, 2015;. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.366414>.



GOSWAMI, P.; BLACKBURN, R.S.; EL-DESSOUKY, H.M.; TAYLOR, J.; WHITE, P. **Effect of sodium hydroxide pre-treatment on the optical and structural properties of lyocell.** European Polymer Journal.; v.45, p. 455-465, ISSN: 0014-3057, 2009.

GONZAGA, A. L. **Madeira: Uso e Conservação.** Brasília-DF: Programa Monumenta, (Cadernos Técnicos, 6). 247p, 2006.

GRACIANO, D.E. **Aplicações da termografia infravermelha na produção animal.** Dissertação em Zootecnia. Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados. Mato Grosso do Sul, 2013.

GUIMARÃES, B. M.R., **Tratamento Químico de partículas de pseudocaule da bananeira visando à produção de painéis aglomerados.** Dissertação em Ciência e tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.

GUIMARÃES, B.M.G. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae.** Dissertação em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda. Universidade de São Paulo, 2014.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK S.K. **A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibers and their application perspectives.** Compos Part A - Appl S; v.77: p.1-25, 2015.

HARMIA, T.; HARTIKAINEN, J.; LINDNER, M. **Long Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites in Automotive Applications.** In: (Ed.). Polymer Composites: Springer, p.255-262. ISBN 0387241760, 2005.

HILL, C.; HUGHES, M. **Natural fibre reinforced composites opportunities and challenges.** Journal of Biobased Materials and Bioenergy, v. 4, n. 2, p. 148-158. ISSN 1556-6560, 2010.

HYER, M.W. **Stress analysis of fiber reinforced composite Materials.** Bostn: WCB McGraw Hill,1998.

HOLLAWAY, L. **A review of the present and future utilisation of FRP composites in the civil infrastructure with reference to their important in-service properties.** Construction and Building Materials, v. 24, n. 12, p. 2419-2445. ISSN 0950-0618, 2010.

HUANG, G. **Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment.** Mater. Des.; v. 30, n.9, p.3931-3934, 2009.

HULL, D. **An Introduction to Composite Materials.** Cambridge University Press, 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e silvicultura.** - ISSN 0103-8435 Prod. Extr. veg. e Silv., Rio de Janeiro, v. 29, p.1-56, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Celulose e Papel. Tecnologia da Fabricação de Pasta Celulósica,** v.1, 2a. ed. São Paulo,1988.

IOZZI, M.A.; MARTINS, M. A.; FERREIRA, F.C.; JOB, A.E.; MATTOSO, L.H.C. **Estudo da influência de tratamentos químicos da fibra de sisal nas propriedades de compósitos com borracha nitrílica.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 20, nº 1, pp. 25-32, 2010.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira reconstituída.** Editora FUPEF. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. **Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído.** Cerne, Lavras, v. 11, n. 4, pp. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. **Utilização de madeiras de Eucalyptus Grandis e Eucalyptus dunnii para produção de partículas orientadas - OSB.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 18, n. 2, pp. 265-270, 2008.

JAAKKOLA, Jouni J.K.; QUANSAH, R.; TARLO, Susan M.; CULLINAN, P; I. NEMERY, B. **Building materials and furnishing. Occupational and environmental lung diseases.** Editora John Wiley&Sons, Ltd. Gothenburg, 2010.

JANKOWSKY, I. P. **Colagem de Madeiras. Piracicaba:** ESALQ, 45p. 1988, citado por TRIANOSKY, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. p. 260, 2010.

JESUS, J.M.H. de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** São Carlos, 2000.

JOHN, L. **A volta por cima da velha piaçava.** Planeta Sustentável, 2011. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/biodiversa/a-volta-por-cima-da-velha-piacava>.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

JOHN, M.J.; ANANDJIWALA, R. D. **Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites.** Polymer composites, v. 29, n.2, p 187-207, 2008.

JOHN, V. M.; SILVA, V. G.; AGOPYAN, V. **Agenda 21: uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro.** II Encontro nacional e I Encontro Latino americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. ANTAC/UFRGS, Canela-RS, p. 91-98, 2001.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. **Biofibres and biocomposites.** Carbohydr. Polym. Issue:3, v.71, p.343-364, 2008.

JOSA, I. O. **Piaçabeiros e piaçaba no médio rio Negro (Amazonas – Brasil), socioeconomia da atividade extrativista e ecologia da Leopoldinia piassaba Wallace.**

Dissertação em Biologia Tropical e Recursos Naturais - INPA/UFAM, Mestre em Ciências Agrárias. Manaus, Amazonas. Julho, 2008.

JOSÉ, F. J.; BERALDO, A. L. **Chapas prensadas de partículas de bambu e adesivo poliuretana à base de óleo de mamona.** In: 10 EBRAMEM- Encontro 155 Brasileiro em Madeiras e em estruturas de Madeira, São Pedro -SP. Anais do X EBRAMEM. Botucatu -SP: UNESP, v. 1. p. 1-11, 2006.

JOSEPH, K.; THOMAS, S.; PAVITHRAN, C. **Effect of chemical treatment on the tensile properties of short sisal fibre-reinforced polyethylene composites.** Polymer, v.37, p.5139-5149, 1996.

JOSEPH, K.; MATTOSO, L.H.C.; TOLEDO, R.D., THOMAS, S.; CARVALHO, L.H.; POTHEN, L.; KALA, S.; JAMES, B. **Natural Fibers Reinforced Termoplastic Composites,** Natural Polymers and Agrofibers Based Composites- Ed. por Follini, E.; Leão, A.L.; Mattoso, L.H.C, São Carlos, p.159-20, 2000.

JOSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. **Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?** Composites: Part A., v.35, n. 3, p. 371-376, 2004.

JÚNIOR, H. S.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, L. **Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 17, n. 1, p. 113 – 124, 1997.

KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. **Chemical Treatments on Plant – Based Natural Fibre Reinforced Polymer.** Composites: An Overview. Composites: Part B, v.43, p.2883 – 2892, Elsevier ltda, Queensland, Australia, 2012.

KABIR MM, WANG H, LAU KT, F. CARDONA. **Effects of chemical treatments on hemp fiber structure.** Appl Surf Sci; v.276: 13-23. 2013.

KALIA, S.; KAITH, B.S.; KAUR, I. **Pretreatments of Natural Fibers and their Application as Reinforcing Material in Polymer Composites—A Review**. Polymer Engineering and Science, 2009.

KASTBERGER, G., STACHL, R. **Infrared imaging technology and biological applications**. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, v.35, n. 3, pp. 429-439, 2003.

KELLY, M. R. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: USDA/FS, 10 p. 1977. (General Technical Report FPL, 10).

KIM, J.T.; NETRAVALI, A.N.; **Mercerization of sisal fibers: Effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites**. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 41, pp. 1245-1252, 2010.

KLITZKE, R.J. **Secagem da madeira**. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Eds.). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, p.271-341, 2007.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; H, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**, 3.<sup>a</sup> Edição, Universidade Federal do Paraná, 2005.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology: wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag, v. 2, p. 703, 1975.

KOZLOWSKI, R.; RAWLUK, M.; BARRIGA, J. **State of the art-production, processing and applications of fibrous plants**. In: Sivam RL, Araújo RC, editors. 2nd international conference on textile engineering (SINTEX-2004) Proceedings, September 7–11, Natal, in CD-ROM, Paper No.TIP-1-007; 2004.

KOZLOWSKI, R.; WLADYKA-PRZYBYLAK, M. **Recent developments in composites from natural fibers and polymers.** In: Second International Conference on Textiles (SINTEX-II) Proceedings. Ed. RL Sivan and RC Araújo, Natal. September 2004.

KUMAR, S.; AGARWAL, S.C. **“Chemical Modification of Wood with Thioacetic Acid”**, in: **Graft Copolymerization of Lignocellulosic Fibers**, cap.19, American Chemical Society, New York, 1982.

LAVOINE, N.; DESLOGES, I.; DUFRESNE, A.; BRAS, J. **Microfibrillated cellulose-its barrierproperties and applications in cellulosic materials:** A review, Carbohydrate Polymers, 2012.

LEÃO, A.L.; ROWELL, R.; TAVARES, N. **Applications of Natural Fibers in Automotive Industry in Brazil-Thermoforming Process.** Science and Technology of Polymers and Advanced Materials-Emerging Technologies and Business Opportunities, New York, 1998.

LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: Um Reforço Alternativo de Compósitos Poliméricos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2008.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I.S. **Wood structure and composition.** New York: Marcel Dekker; 488 p, 1991.

LIMA, R.C.F.; MAGNANI, F.S.; NUNES, R. **Deteção de falhas em monumentos históricos de Olinda através de imagens por infravermelho- uma análise preliminar.** In: III Simpósio de Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais, Olinda - PE 2006. Anais do III Simpósio de Técnicas Avançadas em Conservação de Bens Culturais, Olinda – PE, 2006. ARC- Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação, 2006.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. **Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem.** Cerne, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LIMA, M. D. **Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Do Amazonas, Manaus, 2012.

LI, Y; MAI, Y.W.; YE, L. **Sisal Fibre and its Composites: a Reveiw of Recent Developments.** Composite Science Technology, v.60, p.2037-2055, 2000.

LI, X.; TABIL, L. G.; PANIGRAHI, S. **Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review.** Journal of Polymers and the Environment. London, v. 15, n. 1, p. 25-33, 2007.

LOPES, E. M. L. **Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de óleo de mamona utilizada em componentes da edificação (subcoberturas) estudo em Ilha Solteira, SP.** 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

LOPES, G. T. A.; NASCIMENTO, J. W.B.; VASCONCELOS, R. F.; DANTAS, J. M.R. **Avaliação dos efeitos da acetilação nas propriedades das fibras de caroá.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.1, p.84-89, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br> >

LUZI, F.; MITCHELL, M.; COSTA, L.N.; REDAELLI, V. **Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine.** Brescia, Italy: Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, 2013.

MALDAGUE, X.; MARINETTI, S. **Pulse phase infrared thermography.** Journal Applied Physics. Nova Iorque, v. 79, p. 2694-2698, 1996. Disponível em: [http://w3.gel.ulaval.ca/~maldagx/r\\_1086.pdf](http://w3.gel.ulaval.ca/~maldagx/r_1086.pdf). Acessado em: 15 outubro 2016.

MALLICK, P. K. **Fiber-Reinforced Composites**, Marcel Dekker Inc., New York, 1988.

MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

MANO, E. B.; SUAREZ, J. C. M.; ELZUBAIR, A.; BONELLI, C. M. C. **Comportamento Térmico, Mecânico e Morfológico de Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reciclado com Fibra de Piaçava**. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, vol.15, n.4, p.256-260. 2005.

MANRÍQUEZ F, M. J. **Coefficientes de modificação das propriedades mecânicas da madeira devidos à temperatura**. 259 f. Tese em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 2012.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M.R.; AMBRÓSIO, J.D.; NOBRE, A.D. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M. **Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de Óleo de Mamona associado com Partículas de Bambu**. *Polímeros*, vol. 23, n. 2, p. 201-205, 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/S0104-14282013005000007>.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York. Van Nostrand Reinhold, p. 453-454, 1992.

MARTINS, J. G. & ARAÚJO, J. **Madeiras**. Monografia do Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2ª Edição. Porto, Portugal. 2005.



MARTINS M.A.; FORATO L.A.; COLNAGO L.A.; MATTOSO L.H.C. **Characterization of Mercerized and Acetylated Sisal Fibers by Solid State NMR**. IV ISNaPOL, São Pedro, Brasil, p.85-90, 2002.

MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELO, A. A. S. **Sisal Fiber: Morphology and Applications in Polymer Composites**. in: “Lignocellulosic-Plastic Composites”, A. L. Leão; F. X. Carvalho & E. Frollini (Eds.), USP, São Paulo, p.241, 1997.

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Instituto Agronomico de Campinas, SP, Brasil, 1970.

MEIRA, M. **O tempo dos padrões**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Sociais do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade estadual de Campinas, p. 706, 1993.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Evolução em Tecnologia do Concreto**. In: Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENDONÇA, L.V. **Termografia por infravermelhos. Aplicações em Edifícios**. SPY Building – Inspeção de Edifícios. 2005. Disponível em: <http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/6b0dca6c9e15cc51dc73bde0562a31d5.pdf>. Acessado em: 4 abril 2016.

MERLINI, C.; AL – QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O.; PIRES, E. N. **Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi**. Polímeros, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

MESQUITA, A. S. G., **Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí**. Instituto Federal do Piauí. HOLOS, Ano 28, v. 2, p. 58, 2012.

MILANESE, A.C.; CIOFFI, M.O.H.; VORWALD, H.J.C. **Mechanical behavior of natural fiber composites**. Eng Procedia; v.10: p.2022-2027, 2011.

MOHAN TP, KANNY K. **Chemical treatment of sisal fiber using alkali and clay method.**

Compos Part A - Appl S; v.43, p.1989–1998, 2012

MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. **Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview.** Macromolecular Mater. and Eng., v. 276, p.1-24, 2000.

MOKALOBA N, BATANE R. **The effects of mercerization and acetylation treatments on the properties of sisal fiber and its interfacial adhesion characteristics on polypropylene.**

Int J. Eng. Sci. Tech; v. 6: p.83-97, 2014.

MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; CARVALHO, E.A.; D'ALMEIDA, J.R.M. **Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de Curauá.** Revista Matéria; v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.

MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. **Ensaio de pullout em fibras lignocelulosicas em emtologia de análise.** Revista Materia, V.11, n3, pp189-196. 2006.

MONTEIRO, S. N.; PERISSÉ, F. D. L.; COSTA, L. L.; BEVITORI, A. B.; SILVA, I. A. S.; BARBOSA, A.P. **Natural Lignocellulosic Fibers as engineering materials – na overview.** The minerals, metals & materials Society and ASM International 2011, 2966-Vol 42A, 2011.

MORAES, A.G.O.; JUNQUEIRA, D.; FRACASSI, F.T.; SILVA, H.S.P.; SIERAKOWSKI, M.R.; AMICO, S.C. **Estudo preliminar de agente de proteção no tratamento alcalino superficial de fibras vegetais para compósitos poliméricos.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, vol. 18, p.4730-40, B.R, 2008.

MORAES, P. D. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas.** Ambiente construído. v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

MOTTA, L. A. C.; SIKUNAS, N.; RODOLFO JUNIOR, A. **Durabilidade de polímeros. Trabalho apresentado à disciplina Princípios da ciência dos materiais aplicados aos**

**materiais de construção civil**, do departamento de construção civil da Escola Politécnica. USP, 2002.

MOTTA, S.R.F.; AGUILAR, M.T.P. **The Dialectic Creative Process for a Sustainable in the Constructed Environment**. In: Proceedings of the World Sustainable Building Conference - SB08, Melbourne. v. 2, p. 2640-2643, 2008.

MOTTA, S.R.F.; AGUILAR, M.T.P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações**. Gestão & Tecnologia de Projetos, Vol. 4, n. 1, 2009.

MOURA, M.F.S.F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A.G. **Materiais Compósitos - materiais, fabrico e comportamento mecânico**. Editora Publind stria, Ed. 1. Porto, 2005.

MUELLER, D. H. **Improving the impact strength of natural fibers reinforced composites by specifically designed material and process parameters**. INJ Winter, p. 31 – 38, 2004.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, p.112, 2009.

MURA, J. **Espectroscopia de Lente Térmica e técnicas convencionais aplicadas no estudo de biopolímeros e do PVA em função da temperatura**. Tese apresentada à Pós-Graduação em Física, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2005.

MYLSAMY, K.; HAMIDINIA, E.; TAJVIDI, M. **Mechanical propeeties of composites from sawdust and recycled plastics**. Journal of Applied Polymer Science, v. 100, n.5, p. 3641-5, 2006.

MYLSAMY, K.; RAJENDRAN, I. **Influence of alkali treatment and fibre length on mechanical properties of short Agave fibre reinforced epoxy composites**. Materials & Design, v. 32, n. 8-9, p. 4629-40, 2011.

MWAIKAMBO, Y.; ANSELL, M.P. **The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok for composite reinforcement.** *Angew Makromol Chem*, vol. 272, p. 108-116, 1999.

MWAIKAMBO, L.Y.; ANSELL, M.P. **Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute, and Kapok Fibers by Alkalization.** *J Appl Polym Sci*; v.84: p. 2222-2234, 2002.

NASCIMENTO, D.C. O. **Análise das propriedades de compósitos de fibras de piaçava e matriz de resina epóxi.** Tese em Engenharia de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes - RJ, 2009.

NASCIMENTO, D.C.O.; FERREIRA, A.S.; MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; KESTUR, S.G. **Studies on the characterization of piassava fibers and their epoxy composites.** *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v.43, n. 3, p.353-62, 2012.

NASSEH, J. **Manual de Construções de Barcos.** 3 ° edição, Booklook, Rio de Janeiro, 2004.

NASSEH, J. **Manual de Construções de Barcos.** 4 ° edição, Rio de Janeiro, p.95, 2011.

NECHWATAL, A.; MIECK, K.P.; REUBMANN, T. **Kenaf reinforced biodegradable composite.** *Comp. Sci. Technol*, v.63, p. 1273-1279, 2003.

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

NÓBREGA, F.S., FERREIRA, M.P., FACÓ, L.L., SELIM, M.B., ZOPPA, A.L.V. **Uso da Termografia para Avaliação da Resposta Tecidual após Implante de Polímero a Base de Poliuretana de Mamona em Osso III Metacarpiano de Equinos.** *Thermographic Assessment of the Inflammatory Response Following Castor Oil Polymer Implantation in Experimental Third Metacarpal Bone Defects in Horses.* *Acta Scientiae Veterinariae*, v.42, p. 1246, 2014. RESEARCH ARTICLE Pub. 1246: ISSN 1679-9216.

OUDIANI A.E.; CHAABOUNI, Y.; MSAHLI, S.; SAKLI, F. **Crystal Transition from Cellulose I to Cellulose II in NaOH Treated Agave Americana L. Fibre.** Carbohydrated Polymers. v. 86: p.1221 – 1229, 2011.

OKUMUZ, Z.; YANMAZ, L.E. **Instrumentation of thermography and its applications in horses.** J Anim Vet Adv; v.6, p.858–62, 2007.

OGUNNIYI, D.S. **Castor Oil: a vital industrial raw material.** Bioresource Technology, Essex, v. 97, p.1086-1091, 2006.

PADDAY, J.F. **Handbook of adhesion. Wetting and work of adhesion.** p. 594. 2ª Edição. Editora Chichester. Inglaterra: 2005.

PAES, J. B.; NUNES, S. T.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F. do; LACERDA, R. M. A. **Qualidade de chapas de partículas de Pinus elliottii coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura.** Quality of Pinus elliottii particle boards bonded with polyurethane adhesive under various combinations of temperature and pressure. Ciência Florestal, v. 21, n. 3, pp. 551-558, 2011. ISSN: 0103-9954.

PAIVA, J.M.F.; FROLLINI, E. **Matriz termofixa fenólica em compósitos reforçados com fibras de bagaço de cana de açúcar.** Polímeros: ciência e tecnologia, São Carlos, v.9, n.2, p.78-87, 1999.

PAIVA, J.M.F.; FROLLINI, E.; **Natural fibre reinforced thermoset composites, natural polymers and agrofibers composites,** São Carlos, 2000.

PANDEY, J.K.; AHN, S.H.; LEE, C.S.; MOHANTY, A.K.; MISRA, M. **Recent Advances in the Application of natural fiber based composites.** Macromolecular Materials and Engineering, v. 295, n. 11, p. 975-89, 2010.

PANAR, M.; EPSTEIN, B. N. **Multicomponent Polymeric Engineering Materials.** Science, v. 226, n. 4675, p. 642-646, 1984. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/content/226/4675/642.abstract>.

PARK, S.; BAKER, J.O.; HIMMEL, M.E.; PARILLA, A.; JOHNSON, D.K. **Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulose performance.** *Biotechnology for Biofuels*. 2010; 3-10. <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/1/10>.

PAUL, A.; JOSEPH, K.; THOMAS, S., **Effect of Surface Treatment on the Electrical properties of the Eletrical Properties of Low-Density Polyethylene Composites Reinforced with Short Sisal Fibers**, *Composite Science and Tecnology*, v.57, p.67-79,1997.

PEDRA, S.A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural.** Dissertação em Design Inovação e Sustentabilidade, Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), 2011.

PELIZZARI, E. **Aplicações da termografia como ferramenta de manutenção preditiva em conectores elétricos.** 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

PEREIRA, A.L.S.; CORDEIRO, E.M.S.; NASCIMENTO, D.M.; MORAIS, J.P.S.; SOUSA, M.S.M.; ROSA, M.F. **Extração e caracterização de nanocelulose de fibras do pseudocaule da bananeira.** Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação/V CONNEPI, 2011.

PETROVIC, Z. S. **Thermossetting resins from vegetable oils.** Annual technical conference, 57. New York. Proceedings. 1 CD ROM. 1999.

PINHEIRO, M. F. C. A. **Compósitos avançados reforçados com fibras naturais para a construção.** Dissertação em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

PUKANSKY, B. **Interfases and intherphases in multicomponente materials: past, presente, future.** *European Polymer Journal*, v. 41, p. 645-662, 2005.

PUTZ, F. E. **Biology and human use of Leopoldinia piaçaba**. Principes, Chicago, v.23, n.4, p.149156, 1979.

QUIRINO, M. G. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2010.

RAY, D.; SARKAR B. K.; RANA A. K.; BOSE N. R. **The Mechanical Properties of Vinylester Resin Matrix Composites Reinforced With Alkali-Treated Jute Fibres; Composites Part A**, v.32, p.119-127, 2001.

REDAELLI, V., BERGERO, D., ZUCCA, E., FERRUCCI, F., COSTA, L.N., CROSTA, L., LUZI, F. **Use of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications, Journal of Equine Veterinary Science**, v. 34, p. 345–350, 2014.

REIS, J.M.L.; MOTTA, E.P. **Mechanical behavior of piassava fiber reinforced castor oil polymer mortars**. Compos Struct; v.111: p.468-472, 2014.

ROCCO LAHR, F. A. & CHRISTÓFORO, A. L. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP; p. 339, 2013.

RODRÍGUEZ, E.; PETRUCCI, R.; PUGLIA, D.; KENNY, J.M.; VÁZQUEZ, A. **Characterization of composites based on natural and glass fibers obtained by vacuum infusion**. Journal of Composite Materials, v.39, n. 3, p. 265-82, 2005.

RODRÍGUEZ, E. S.; STEFANI, P. M.; VÁZQUEZ, A. **Effects of fibers álcali treatment on the resin trnasfer molding processing and mechanical properties of jute – Vinylester Composite** Journal of Composite Materials, v. 41; p. 1729, 2007; originally published online Dec 19; DOI: 101177/0021998306069889, 2006.

RONG, M.Z.; ZHANG, M.Q.; LIU Y, YANG G.C.; ZENG H.M. **The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites**. Compos Sci Technol; v.61, n.7-8: p.1437-1, 2001.

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

SANTOS, A. M. **Estudo de Compósitos Híbridos Polipropileno/Fibras de Vidro e Coco para Aplicações em Engenharia.** Dissertação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.

SANTOS, E.G. D. **Produção e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras de piaçava do tipo (*Leopoldinia Piassaba*) oriundas do Amazonas.** Monografia Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SATYANARAYANA, K.G.; GUIMARAES, J.L.; WYPYCH, F. **Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications.** Compos Part A - Appl S; v.38: p.1694-1709, 2007.

SEBENIK, U.; KRAJNC, M. **Influence of the soft segment length and content on the synthesis and properties of isocyanate terminated urethane prepolymers.** International Journal of Adhesion & Adhesives, v. 27, p. 527–535, 2007.

SEGAL, L.; CREELY, J.J.; JR MARTIN, A.E.; CONRAD, C.M. **An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Nature Cellulose Using the X-ray Diffractometer.** Textile Research Journal. v.29, p. 786-794; 1959.

SETHI S, RAY BC. **Environmental effects on fiber reinforced polymeric composites Evolving reasons and remarks on interfacial strength and stability.** Adv Colloid Interfac; v.217, p.43-67, 2015.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood.** 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 245 p. 1984.



SILVA, E.J.D.; MARQUES, M.L.; VELASCO, F.G.; FORNARI JR., C.C.M.; LUZARDO, F.H.M. **Degradação da fibra de coco imersa em soluções alcalinas de cimento e NaOH.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.10, p.981–988, 2015.

SILVA, J.L.G.; AL-QURESHI, H.A. **Mechanics of wetting systems of natural fibres with polymeric resin.** Journal of materials processing technology, v.92-93, p. 124-128, 1999.

SILVA, R.N.T. **Estudo da termografia por infravermelho: Aplicações na Engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de materiais.** Dissertação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.

SILVA, R.V.D. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** Tese em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2003.

SINGH V, TIWARI A, TRIPATHI D N, SANGHI R. **Grafting of polyacrylonitrile onto guar gum under microwave irradiation.** Wiley, J. Appl. Polym. Sci.; v. 92, p. 1569 – 1575, 2004.

ŠIROKÝ J, MANIAN AP, ŠIROKÁ B, ABU-ROUS M, SCHLANGEN J, BLACKBURN RS, BECHTOLD, T. **Alkali Treatments of Lyocell in Continuous Processes. I. Effects of Temperature and Alkali Concentration on the Treatments of Plain Woven Fabrics.** Journal of Applied Polymer Science. v.113, p.3646-3655, 2009. ISSN: 00218995.

SOLAL, C.; BOULANGER, G.; ROUSSELLE, C.; MANDIN, C.; DOR, F.; CABANES, P. **Evaluation des risques sanitaires pour la population générale liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs.** Air Pur. N°74. 2008.

SOUZA, A. M. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Pinus sp* com inclusão de telas metálicas.** 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2012.

SREEKALA, M. S.; KUMARAN, M. G.; THOMAS, S. **Water sorption in oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 33, p. 763-777, 2002.

SUDDDEL, B.C.; EVANS, W.J.; ISAAC, D.H.; CROSKY, A. **A survey into the application of natural fibre composites in the automotive industry.** In: Natural Polymers and Composites IV, p. 455-460. São Pedro, Brazil, 2002.

SUSHEEL K, RENU S. **Modification of Ramie Fibers Using Microwave-Assisted Grafting and Cellulase Enzyme-Assisted Biopolishing: A Comparative Study of Morphology, Thermal Stability, and Crystallinity.** J. Polym. Anal. Charact.; v.16: p.307–318, 2011.

SYDENSTRICKER, T.H.D.; MO CHNAZ, S.; AMICO, S.C. **Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites.** Polymer Testing. v. 22 n.4, p. 375-80, 2003.

SYMINGTON, M.; BANKS, W.; WEST, O.; PETHRICK, R. **Tensile testing of cellulose based natural fibers for structural composite applications.** Journal of Composite Materials; v.43, p. 1083-1108, 2009.

SZABO L. **A arquitetura no caminho da sustentabilidade.** Iniciativa Solvin, São Paulo, 2005.

TAJVIDI, M.; FALK, R. H.; HERMANSON, J. C.; FELTON, C. **Influence of natural fibers on the phase transitions in high-density polyethylene composites using dynamic mechanical analysis,** Proceedings of the 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, p. 187 – 195, 2003.

TAJVIDI, M; TAKEMURA, A. **Effects of Reprocessing on the Hygroscopic Behavior of Natural Fiber High-Density Polyethylene Composites.** Journal of Applied Polymer Science, v. 122, p. 1258–1267, 2011.

TAKINAMI, P. Y. I.; SHIMAZAKI, K.; COLOMBO, M. A.; MOURA, E. A. B. de.; MASTRO, N. L. del. **Gelatin/piassava composites treated by electron beam radiation**. Revista Matéria, v.15, n. 2, p. 303-308, 2010. ISSN: 1517-7076.

TARPANI, J.R., DE ALMEIDA, E.G.R., SIMÊNCIO, E.C.A., MOTA, L.P., PAZ, J.H.A.A., GUALBERTO, A.R.M., CARDOSO, F.L.A., GATTI, C.A. **Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras de Carbono**. Departamento de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, EESC-USP. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 19, n.4, p. 318-328, 2009.

TAVARES, S. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de artes**. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

TAVARES, S.G.; WALTER, M.E.; CASTRO, V.D.; MELO, R.A.; RODRIGUES, C.G.; JR.BARROS, M.C.; CARDOSO, C.R.; FRANCO, S.P.M.; MENDES, G.F.; CARNEIRO, M.O.D.; SILVEIRA, F.C. **Utilização da termografia infravermelha na determinação de propriedades térmicas de materiais produzidos a partir de fibra de bananeira**. E-xacta, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 67-80. Editora UniBH, 2011.

THOMAS, N.I.R. **Influência de tratamentos superficiais em fibras de Licuri na aderência interfacial do compósito com matriz poliéster**. Dissertação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure properties, utilization**. Editora Van Nostrand Reinhold. Nova York, 1991.

VAN DER WAALS, J.D. **The equation of state for gases and liquids**. Nobel lecture, 1910.

VAN DE WEYENBERG, I.; CHI TRUONG, T.; VANGRIMDE, B.; VERPOEST, I. **Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline**

**fibre treatment.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 37, n. 9, p. 1368-1376, 2006.

VAS, L. M.; RONKAY, F.; CZIGÁNY, T. **Active Fiber Length Distribution and its Application to Determine the Critical Fiber Length.** Polymer Testing, v.28, n.7, p. 752–759, 2009.

VENTURA, A. M. F. M. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas.** Ciência & Tecnologia dos Materiais, v. 21, p. 10-19, 2009.

VERATTI, A.B. **Manual do curso de formação de termografista nível I do ITC Infrared Training Center.** Rev. 1.1 Publicação N° 1560063\_E-pt/BR – Cap. 1/14. São Paulo, 2011.

VIEIRA, L. M. G. **Efeito do tratamento químico e da adição de nano sílica em compósitos híbridos de sisal.** Dissertação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São João del-Rei, 2013.

VIJAY, K.K; ANIL, K.; SUSHEEL,K. **Effect of Mercerization and Benzoyl Peroxide Treatment on Morphology, Thermal Stability and Crystallinity of Sisal Fibers.** International Journal of Textile Science, v.1, p. 101-105,2012.

VILAR, W.D. **Química e tecnologia dos poliuretanos.** [S.l.]: Grupo Pronor, 1993.

VINHA,S. G. **A piaçaveira e a vegetação associada no sul da Bahia,** 1997.

WEYENBERG, I. V.; TROUNG, T. C.; VANGRIMDE, B.; VERPOEST, I. **Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fibre treatment.** Compos. Part A: Appl. Sci. Manuf, v. 37, p.1368-1376, 2006.

WIKBERG, H.; MAUNU, S. L. **Characterization of Thermally Modified Hard-and Softwoods by 13C CPMAS NMR.** Carbohydrate Polymers, v.58, p. 461-466, 2004.

WILCZAK, L. **Avaliação do comportamento mecânico do adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado na produção de painéis compensados**. 61f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção Civil) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

XIE, Y.; HILL, C.A.S.; XIAO, Z.; MILITIZ, H.; MAI, C. **Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review**. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 41, n. 7, p. 806-819, 2010.

YOUNG, R. A. **Utilization of Natural Fibers: Characterization, Modification and Applications**. Madison, USA, 1997.

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

ZANGIACOMI, M. H. **Desenvolvimento e Análise de Compósitos reforçados com fibras de panox e fibras de aramida utilizados em materiais de fricção em freios automotivos**. Dissertação (mestrado em Engenharia Química), Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ZIMMERMANN, E.G.M.; TURELLA, T.C.; ZATTERA, A.J.; SANTANA, R.M.C. **Influence of chemical treatment of banana fiber composite of poly (ethylene-co-vinyl acetate) with and without blowing agent**. Polymer Science and Technology.; v. 24, p. 58-64, 2014.

ZWAN, J.T. **Application of waste materials – a success now, a success in the future**. In: WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTIONS: PUTTING THEORY INTO PRACTICE. Great Britain, 1997. Proceedings. Great Britain, p. 869-81, 1997.