



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

**ESTUDOS DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO
DE FIBRAS DO FRUTO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea* MART.) DA
AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE ECOPAINEL DE PARTÍCULAS
HOMOGÊNEAS DE MÉDIA DENSIDADE.**

Antonio de Lima Mesquita

2013



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

**ESTUDOS DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
FIBRAS DO FRUTO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea* MART.) DA AMAZÔNIA PARA
PRODUÇÃO DE ECOPAINEL DE PARTÍCULAS DE MÉDIA DENSIDADE .**

Antonio de Lima Mesquita

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Belém-Pará

Dezembro de 2013

ESTUDOS DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DO FRUTO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea* MART.) DA AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE ECOPAINEL DE PARTÍCULAS DE MÉDIA DENSIDADE.

Antonio de Lima Mesquita

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

Aprovada por:



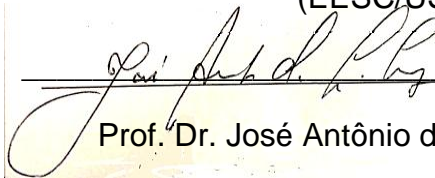
Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
(FEQ/ITEC/UFPA - Orientador)



Dra. Alba Lúcia Ferreira de Almeida Lins
(MPEG/DBO-PA – Membro)



Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr
(EESC/USP – Membro)



Prof. Dr. José Antônio da Silva Souza
(FEQ/UFPA – Membro)



Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama
(FEM/UFPA - Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

DEZEMBRO DE 2013

Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

|

M582e

Mesquita, Antonio de Lima

Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* MART.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas de média densidade (MDP) / Antonio de Lima Mesquita. - Belém, 2013.

149 f.

Tese (Doutorado) -- Faculdade de Engenharia Química - Instituto de Tecnologia - Universidade Federal do Pará.

Área de Concentração: Transformação de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria.

1. Fibras lignocelulósicas 2. Fibras vegetais
3. Compósitos 4. Resina de óleo de mamona
5. Mercerização biológica 6. Mercerização química.
I. Título.

Dedico este trabalho:

Dedico esta tese à minha família, Selminha (minha esposa), Bárbara e Deborah Mesquita (minhas filhas), que pacientemente e temporariamente viveram sem minha presença diária. Souberam entender, suportar a distância e, sobretudo, aprenderam que a vida é construção e compartilhamento dos nobres sentimentos que Deus ofereceu ao universo. Entenderam o significado da semente que plantamos e regamos juntos do início da formação da nossa família - que o sentimento mais nobre do universo é o amor incondicional. Amo vocês profundamente. Além disto, minha gratidão eterna aos meus queridos pais Edith e Raimundo Mesquita (in memoriam), pois sem os seus ensinamentos, eu não chegaria a lugar nenhum na vida; igualmente, meu reconhecimento aos queridos manos (Edna, Roberto, Ruy e Renato Mesquita- in memoriam) pela amizade e apoio incondicional à minha educação básica. Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

O período do Curso do Doutorado foi um dos mais significativos em minha vida, tanto do ponto de vista profissional, pessoal e especificamente espiritual. Aproveito, portanto, a oportunidade para agradecer de coração, primeiramente a Deus e a minha Mãe Divina, bem como aos amigos, colegas e depois às Instituições, e a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram na finalização desse sonho.

Ao meu orientador, Prof. Lênio Guerreiro de Faria pela orientação, compreensão, aceitação e respeito durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos Professores Juliano Fiorelli (Departamento de Biosistemas-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos -USP-Pirassununga) e Sérgio Francisco dos Santos (Laboratório de Construção e Ambiência-CONSTRAMBI - USP), pela co-orientação, constante apoio, amizade e importantes contribuições científicas para o desenvolvimento, aperfeiçoamento e melhoria deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo apoio de 18 meses de Bolsa de Doutorado.

Aos Professores e Doutores André Luiz Amarante Mesquita, Emanuel Negrão Macedo, João Nazareno Nonato Quaresma, José Antonio da Silva Souza, Claudio Blanco, Marco Antonio Menezes Neto, Célio Augusto Gomes de Souza, Wilson Negrão Macedo e a Carmem Gilda Dias, do Curso de Doutorado em Engenharia dos Recursos Naturais da Amazônia (UFPA), pelo compartilhamento dos conhecimentos.

Aos Professores e Doutores, Prof. Holmer Savastano Junior (Departamento de Biosistemas-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos-USP-Pirassununga), César Gonçalves de Lima (Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos-USP-Pirassununga), Júlio Cesar de Carvalho Balieiro (Departamento de Ciências Básicas- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos -USP-Pirassununga), e Carlito Calil Junior (Departamento de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos -USP- São Carlos) pelo compartilhamento de amizade, apoio e conhecimento durante a realização deste trabalho.

Aos estimados Professores e Doutores, Francisco Antonio Rocco Lahr (Departamento de Engenharia de Estruturas - Escola de Engenharia de São Carlos - USP- São Carlos) e André Luís Christoforo (Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de São João del Rei-MG), pelo apoio, incentivo e compartilhamento de amizade e conhecimento científico durante a realização deste trabalho.

À pesquisadora Dra. Margarida Fiuza de Melo (Instituto de Botânica de São Paulo-IBt) e sua família (irmãos do coração, Maria Arlete, Renato, Beto e Raul) pela contribuição na melhoria do texto, pelo constante apoio, incentivo, amizade e compartilhamento de conhecimento.

Aos pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, Dra. Alba Lins, Dr. Ricardo Secco, Dr. Mário Augusto Jardim, Tarcymara Garcia, Tatiane Kikuchi e à Profa. Eunice Gonçalves Macedo, pela contribuição e compartilhamento de conhecimento.

Ao Professor. Alcir Tadeu de Oliveira Brandão e ao técnico José Ricardo Oliveira, Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, pelo apoio no uso do Laboratório e auxílio na análise das propriedades químicas. Além disso, meu reconhecimento ao Artesão Paulo Tavares (Programa Pólo Joalheiro do Pará) pelos ensinamentos sobre o fruto do açaí.

Aos amigos de caminhada espiritual, Dr. Tarcísio José Machado, Profa. Izatilna, Dra. Zélia Andrade Henrique, Lincoln Alves, Antonio José Botelho, Renato Oliveira, Cláudia Piedade, Flavio Piedade e Ramyata, pelo compartilhamento da amizade e ensinamentos espirituais.

Ao Sinduscon, nas pessoas do Presidente Eng^o Eduardo Lopes e Eng^o.Cláudio Guenka, pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa. Ao Economista, Carlos Cardoso, Sebrae-AM, pela prestimosa ajuda e apoio.

Aos queridos amigos e colegas da família Constrambi, Diego Ferrari, Julio Cravo Machado, Debora Caroline Oliveira, Ugo Belini, Viviani da Costa Correa, Mariana Pavesi, Zaqueu Dias de Freitas, Matheus Roberto, Erika Yeuna, Bruna Barra, Marilu Santos Souza, Gonzalo Marmol, Ronaldo Teixeira, Gloria Urrea, Julian Mejia, Michele Oliveira, Stephen Bonilla, Rafael Filomeno e Marcio Rogerio da Silva, do Laboratório do Constrambi (Laboratório de Construção e Ambiência - USP- da Faculdade e Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP-Pirassununga), minha eterna gratidão a todos vocês.

Aos amigos Dr. Mário do Nascimento Guerreiro e Mário Nascimento Guerreiro Filho (Brasjuta) e ao Sr. Francisco Santos (Argil) pelo apoio constante, incentivo e compartilhamento de conhecimento sobre as fibras da Amazônia.

Ao amigo Juan Diego Correa Lopes (Latina Comunicadores - Belém), pela amizade e compartilhamento dos momentos especiais na terra das mangueiras.

Às colegas doutorandas da UFPA, Elza Brandao Santana, Lorena Gomes Corumbá e Maria da Conceição da Costa Valente e ao Eng. Aluizio Lins, pelo constante apoio e amizade no desenvolvimento inicial desta pesquisa.

Aos colegas do Doutorado da UFPA, Eduardo de Souza Mafra, Edmilson Urtiga, Elias Santos Junior, Ettiane Braga, Gerson Oliveira, Horácio Mourão, Jandecy Leite, João Bosco Soares, Marinilson Rodrigues, Narciso da Silva Cardoso (in memorian) e Rui Otoni, pelo compartilhamento de conhecimento e amizade.

Aos queridos médicos, Dra. Sandra Regina Arcêncio e Dr. Paulo Camargo Penteado (Hospital Alemão Oswaldo Cruz) e Dr. Januário Manoel de Souza (Hospital Beneficência Portuguesa) pela amizade, cuidado e zelo com minha saúde, minha eterna gratidão.

À Vanessa Rodrigues, Bibliotecária da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos-USP, pela contribuição na organização das referências bibliográficas.

Ao Rodrigo Vinicius Lourenço, Laboratório de Microscopia Eletrônica–MEV, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), pelas análises do MEV e pelo zelo no tratamento das imagens.

Aos fraternos amigos, Nubia Garzon (doutoranda), Diogo Sartori (doutorando) e Celso Peres (mestre), pois vocês além de amigos foram anjos da guarda, que durante esse período aqui em Pirassununga (Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos –USP- Pirassununga), compartilharam conhecimento, experiências, solidariedade, motivação, alegria, amizade e sonhos, minha eterna gratidão.

Ao amigo Silvio Costa pelo constante apoio, incentivo e amizade.

Finalmente, minha gratidão a todas as pessoas que torceram e intercederam por mim, mesmo que de forma anônima ou discreta.

A você Gerson Azuma e à todos meu muito obrigado.

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D.Eng.)

ESTUDOS DE PROCESSOS DE EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DO FRUTO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea* MART.) DA AMAZÔNIA PARA PRODUÇÃO DE ECOPAINEL DE PARTÍCULAS DE MÉDIA DENSIDADE.

Antonio de Lima Mesquita

Dezembro / 2013

Orientador: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

O tecido fibroso do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é descartado cerca de 1.200 t/dia, na Região Metropolitana de Belém (PA) após a produção de suco. Esse resíduo agroindustrial com pouca frequência é utilizado em caldeiras como fonte de cogeração de energia. Visando o aproveitamento da fibra do fruto, o objetivo deste trabalho foi estudar processos de extração das fibras e tratamento por meio da maceração biológica: espontânea e induzida e mercerização química: com NaOH, com e sem autoclave. Para tanto, foi realizada caracterização anatômica, química, física e mecânica das fibras de açaí com o intuito de utilizá-las para o desenvolvimento de novos materiais compósitos alternativos para indústria da construção civil. Para obtenção das fibras foram utilizados processos manuais e mecânicos. Para maceração biológica espontânea foi utilizada a água do Rio Guamá (AG) e a água da Cosanpa (AC) e na condição experimental biológica induzida foi utilizada a raspa da mandioca (MD). As concentrações de água e de raspa de mandioca foram 2%, 4% e 6% em massa. O tratamento químico alcalino foi realizado de duas formas: (1) utilizou-se uma solução alcalina de NaOH com as seguintes concentrações em massa: 0,5%, 1% e 2%; (2) parte das fibras tratadas foram colocadas no autoclave. Para o estudo anatômico o tecido fibroso foi macerado e analisado em microscopia ótica e eletrônica de varredura, para caracterizar os constituintes celulares. Para caracterização mecânica foi realizado o ensaio de tração axial das fibras de açaí, para a obtenção da resistência à tração máxima. Na caracterização química das fibras foram realizadas análises químicas do conteúdo total de lignina, celulose e hemicelulose. Após os tratamentos de maceração biológica e alcalina foram analisados estatisticamente os resultados dos ensaios mecânicos para escolher o melhor tratamento para as fibras que foram usadas na produção ecopainéis de partículas homogêneas aglomeradas com resina poliuretana bicomponente a base de óleo de mamona. Após a fabricação dos ecopainéis com a resina poliuretana foi

realizada a caracterização físico-mecânica e microestrutural que compreendeu a determinação das propriedades físicas: densidade aparente-(Dap), inchamento em espessura (IE) e absorção de água (Abs); e propriedades mecânicas: módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), resistência à adesão interna (RAI) e arrancamento de parafuso na superfície (RASup) e no topo (RAtop). Os resultados das caracterização das fibras indicaram a grande quantidade de esclereídes e fibrotraqueídes constituídos de numerosos apêndices presentes nas superfícies das fibras celulósicas (feixes vasculares) os quais são responsáveis pela resistência mecânica das fibras. As fibras apresentaram 30% de lignina, 44 %- 46% de celulose e 18% -20% de hemicelulose. As fibras do processo de mercerização alcalina NaOH com 0,5% em massa e autoclave foi selecionada para a fabricação dos ecopainéis. Os resultados das propriedades físicas, apresentaram ecopainéis de partículas homogêneas classificados como de média densidade na faixa de 713 a 745 kg/m³. Os valores médios dos ecopainéis com fibras tratadas de inchamento em espessura foram em média 36% e 40% inferiores, após 2 e 24 h, respectivamente, dos ecopainéis com as fibra não tratadas. As mesmas reduções de 35% e 17% nos valores de absorção de água, após 2 h e 24 h, respectivamente, foram observadas. As propriedades mecânicas dos ecopainéis com fibras tratadas apresentaram valores superiores em 31% no MOR, 89% no RAI e 54% no RAtop, comparado com os ecopainéis referência (fibras sem tratamento). Tais resultados sugerem a potencialidade da fibra do açai, com tratamento alcalino e submetido a autoclave, como matéria prima na produção de ecopainéis homogêneos particulados de media densidade (MDP) para uso comercial na indústria da construção civil e moveleira.

Palavras chaves: Fibras lignocelulósicas, fibras vegetais, compósitos, resina de óleo de mamona, maceração biológica, mercerização química.

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFGA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D.Eng.)

STUDIES OF EXTRACTION PROCESS AND CHARACTERIZATION OF THE AMAZON AÇAÍ (*Euterpe oleracea* MART) FIBERS FOR THE PRODUCTION OF MEDIUM-DENSITY-PARTICLEBOARDS ECO-PANELS.

Antonio de Lima Mesquita

December / 2013

Advisor: Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria

Concentration area: Use and Natural Resources Transformation

ABSTRACT

It is rejected around 1200 ton a day of açaí fibrous tissue after juice production in Belem Metropolitan Region, in the state of Para, Brazil. That agro-industry waste is rarely used in industrial boilers as an energy source. Focusing the use improvement of that fruit fiber, the objective of the present work was to study the fiber extraction process by biological mercerization (spontaneous and induced one) and chemical mercerization (with NaOH, with autoclave and without autoclave). With that purpose, it was carried out chemical, anatomical, physical and mechanical characterization of the açaí fibers for their application in the development of new alternative composite materials for the civil construction industry. In the spontaneous biological experimental condition, the water from Guamá River (AG) and Cosanpa (AC) was used. Cassava shavings (CS) were used in the induced biological experimental condition. The water and cassava shavings concentrations were of 2%, 4% and 6%. The alkaline treatment was performed in two different ways: (1) it was used an alkaline solution of NaOH with the following concentrations in mass: 0,5%, 1% and 2%; (2) part of the treated fibers were put in the autoclave. For the anatomic study the fibrous tissue was macerated and analyzed in light microscopy and scanning electron microscopy, so that it was possible to characterize the cellular constituents. For the chemical characterization of the fiber, chemical analyses were carried out in the total content of lignin, cellulose and hemicellulose. For mechanical characterization an tensile strength trial of the fibrous tissue was performed with the purpose of obtaining the maximum resistance to axial traction. After the treatments for biological and alkaline mercerization, the results were analyzed statistically for choosing the best treatment for fibers which were used for production of medium density eco-panels with polyurethane resin castor oil based. After the

manufacturing of ecopanels by using the polyurethane resin, the physic-mechanical and microstructure characterization were carried out. Those characterizations comprehended the physical properties determination: apparent density (D_{ap}), thickness swelling (TS) and water absorption (WA); and the mechanical properties determination: elasticity modulus (MOE), modulus of rupture (MOR), internal adhesion resistance (IAR) and screw pullout resistance for surface (RA_{surf}) and for top (RA_{top}). The results indicated the great amount of sclereids and fiber tracheids constituted of numerous attachments presented in the cellulosic fiber surfaces (vascular bundles) which are responsible for the fiber mechanical resistance. The fiber presented 30% of lignin, 44% - 46% of cellulose and 18% - 20% of hemicellulose. The fiber presented a value for maximum axial traction resistance in average superior in 68% when compared with the ones of reference condition. The fiber of alkaline mercerization process (NaOH 0.5% and autoclave) was selected for ecopanels manufacturing. The results of physical properties presented ecopanels of homogenous particleboards classified as of medium density of around 713 to 745 kg/m³. The results of average values for thickness swelling were 36% to 40% inferior to the values of swelling after 2 and 24 hours of non treated fiber ecopanels. The use of treatment with NaOH autoclave made possible reductions of 35% and 17% in the water absorption after 2 hours and 24 hours. The mechanical properties presented values superior in 31% (MOR), 89% (RAI) and 54% (RA_{top}), when compared to the reference panels (without treatment). Those results suggest the açai fiber potentiality as raw material in particulate ecopanels production (MDP) for commercial use in civil construction and furniture industry.

Key words: Lignocellulosic fibers, vegetal fibers, composites, castor oil resin, biological mercerization, chemical mercerization.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 –REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO AÇAÍ	6
2.1.1 Caracterização morfológica da espécie	8
2.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA SEMENTE.....	9
2.2.1 Composição física.....	9
2.2.2 Composição química.....	10
2.2.3 Fisiologia da semente	12
2.3 UTILIZAÇÃO DO AÇAÍ	12
2.3.1 Na Medicina	12
2.3.2 Na Indústria.....	13
2.4 FIBRAS NATURAIS	15
2.4.1 Tipos de fibras.....	18
2.5 ESTRUTURAS DAS FIBRAS.....	29
2.5.1 Caracterização anatômica das fibras	31
2.6 TRATAMENTO DAS FIBRAS	34
2.6.1 Processo Alcalino.....	34
2.6.2 Maceração biológica espontânea.....	37
2.6.3 Maceração biológica induzida	37
2.7 PAINÉIS PARTICULADOS DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	38
2.7.1 Painéis de fibras de média densidade (MDF)	42
2.7.2 Painéis de partículas de média densidade (aglomerado ou MDP).....	45
2.8 PAINÉIS PARTICULADOS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS	46
2.8.1 Propriedades tecnológicas de painéis MDP de resíduos vegetais.....	51
2.9 RESINAS PARA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS	53
2.10 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS RECONSTITUÍDAS.....	55
CAPÍTULO 3 –MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
3.1 COLETA DE RESÍDUOS DE AÇAÍ (Etapa 1)	60
3.2 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DAS FIBRAS (Etapa 2).....	61
3.2.1 Condição experimental biológica (Mercerização).....	66
3.2.2 Condição experimental química (mercerização alcalina)	69
3.2.3 Condição Experimental Natural (referência)	71
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS (Etapa 3)	71
3.3.1 Caracterização Anatômica	72
3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	73
3.3.3 Caracterização Química.....	73
3.3.4 Caracterização Física.....	75
3.3.5 Caracterização Mecânica.....	78

3.3.6	Caracterização Microestrutural	80
3.4	PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ECOPAINÉIS DE FIBRAS DE AÇAÍ (Etapa 4).....	81
3.4.1	Caracterização dos painéis particulados de fibras de açaí e resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona.....	87
3.4.2	Caracterização Microestrutural	92
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....		93
4.1	CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA, QUÍMICA E MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DAS FIBRAS DO AÇAÍ	93
4.1.1	Caracterização Anatômica	93
4.1.2	Caracterização Física.....	96
4.1.3	Caracterização química e microestrutural	98
4.2	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS FIBRAS COM e SEM TRATAMENTO.....	105
4.2.1	Fibras de açaí natural (referência)	105
4.2.2	Condição experimental biológica (Mercerização).....	106
4.2.3	Mercerização Química (Alcalina)	113
4.2.4	Análise entre os tratamentos: biológico induzido e químico.....	118
4.2.5	Considerações entre os tratamentos alcalinos.....	120
4.3	CONCLUSÕES FINAIS DAS FIBRAS	121
4.4	CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DOS ECOPAINÉIS DE PARTÍCULAS HOMOGENEAS DE MÉDIA DENSIDADE DE FIBRAS DE AÇAÍ.....	123
4.4.1	Absorção de água (2 e 24 h).....	125
4.4.2	Inchamento em espessura (2 e 24 h).....	130
4.4.3	Densidade aparente	132
4.4.4	Resistência ao arrancamento de parafuso superficial (RA _{sup}).....	134
4.4.5	Resistência ao arrancamento de parafuso de topo (RA _{top}).....	135
4.4.6	Módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE)	137
4.4.7	Resistência da adesão interna (RAI).....	140
4.5	Caracterização microestrutural dos ecopainéis.....	143
4.6	CONCLUSÕES FINAIS DOS ECOPAINÉIS	145
CAPÍTULO 5 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS		147
REFERÊNCIAS.....		148

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Aspectos do açaí: (a) Fruto (b) Mapa de ocorrência geográfica da espécie <i>Euterpe oleracea</i> Mart. Adaptado de Moscoso (2012).....	7
Figura 2.2. Açaizal na ilha de Marajó. Fonte Autor.....	7
Figura 2.3. Ramificação dos frutos do açaí. Fonte. Autor.....	9
Figura 2.4. Semente com tecido fibroso. Fonte Autor.....	10
Figura 2.5. Fibras vegetais (a) Curauá (b) Bambu (c) Juta (d) Bagaço de cana de açúcar (e) Casca de amendoim (f) Arumã (g) Jacitara (h) Piaçava (i) Sisal (j) Coco verde. Fonte. Autor.....	18
Figura 2.6. Classificação de diferentes fibras naturais. Ho M-p <i>et al.</i> , (2011)	19
Figura 2.7. Estrutura química de constituintes de fibras vegetais: Fonte. Office of Biological and Environmental Research of the U.S. Department of Energy Office of Science. science.energy.gov/br	30
Figura 2.8. Representação genérica de fibras vegetais: (a) Algodão; (b) Sisal; Corte transversal (c) Talo de algodão; (d) Folha do sisal; Feixe de fibras-celulares; (e) Algodão (f) Sisal. Fonte: LI, Y. <i>et al.</i> , (2000)	31
Figura 2.9. Microfibrila constituída de porções cristalinas: as micelas Fonte: http://www.plantbiology.siu.edu/PLB400/images/Cellulose.jpg	32
Figura 2.10. Representação de uma fibra-celular Fonte. Klock (2005)	33
Figura 2.11. Organograma de fabricação em escala industrial de painéis MDP. Fonte Duratex (2013).	45
Figura 2.12. Distribuição das Indústrias de painéis e partículas no Brasil. Fonte: ABIPA (2011)	56
Figura 2.13. Capacidade nominal Brasileira -2010. Fonte: ABIPA (2010).....	57
Figura 2.14. Painéis de madeira (a) Produção mundial (b) Consumo mundial. Fonte FAO (2013).	58
Figura 3.1. Fluxograma de trabalho.....	59
Figura 3.2. Resíduos do açaí descartados em ambiente urbano (a). Depósitos de resíduos de açaí de sacos de polietileno na calçada; (b). Detalhe dos resíduos dos caroços de açaí no saco de polietileno.	60
Figura 3.3. Caroços de açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.).....	61
Figura 3.4. Fluxograma da análise estatística para tratamentos de fibras	64
Figura 3.5. Fluxograma de avaliação de tratamento por métodos estatísticos.....	65
Figura 3.6. Protótipo de mercerização (a) Vista frontal (b) Vista lateral. Fonte. Autor.....	67
Figura 3.7. Protótipo de mercerização (a) Tanques de mercerização (b) Instrumental utilizado nas medições. Fonte. Autor.....	67
Figura 3.8. Processo de mercerização alcalina (NaOH autoclave): (a) cozimento dos caroços de açaí no autoclave e (b) autoclave. Fonte. Autor.....	71
Figura 3.9. (a) Lixadeira circular de bancada e (b) Processo de extração mecânica das fibras. Fonte. Autor	71
Figura 3.10. Obtenção do “Regain”.	77
Figura 3.11 Obtenção da porosidade de fibra	78

Figura 3.12. Ensaio de tração axial (a) Desenho esquemático de suportes (b) Feixe fibroso no suporte (c) Corpo de prova na máquina de ensaio universal-EMIC	80
Figura 3.13. Fluxograma da análise estatística para os ecopainéis	83
Figura 3.14. Processos de (a) Lavagem (b) pré-secagem de fibras (c) secagem em estufa.....	84
Figura 3.15 Processo de moagem (a) Moinho de facas (b) Detalhe fibras moídas	84
Figura 3.16. Componente da resina (a) Pesagem (b) Mistura.....	85
Figura 3.17. Homogeneização manual (a) pré-mistura (b) Misturador planetário.	85
Figura 3.18. Homogeneização mecânica (a) Tambor de PVC e pistola de ar comprimido (b) Aplicação de resina.	86
Figura 3.19 .Etapas de pre-moldagem: a) Moldagem, b) pré-prensagem e c) formação do colchão de açaí e resina.....	86
Figura 3.20. (a) Prensagem a quente com prensa hidráulica; Ecopainéis de fibras de açaí (b) naturais c) com NaOH.....	87
Figura 3.21. Amostragem dos corpos de prova dos painéis de fibras de açaí para os ensaios de qualidade tecnológica. (a) Disposição e distribuição dos corpos de prova, sendo destinados para: AA: Absorção de água; IE: Inchamento em espessura FE: Flexão estática; RAI: Resistência da adesão interna, DA: Densidade aparente APt: Arrancamento de parafuso (topo) APs: Arrancamento de parafuso (superfície) (b) Corte.	88
Figura 3.22. Ensaio mecânicos (a) Flexão a três pontos (b) Resistência à tração perpendicular; Arrancamento de parafuso, (c) Topo (d) Superfície. Fonte. Autor .	91
Figura 4.1. Imagem da composição do caroço. Fonte. Autor.	93
Figura 4.2. (a) Fruto com tecido fibroso; (b) Feixes fibrosos. Fonte: Autor.....	94
Figura 4.3. Feixe vascular do fruto do açaí. Fonte. Autor	95
Figura 4.4. Mensuração dos feixes fibrosos (a) Amostra 1 (b) Amostra 2.....	97
Figura 4.5. Classificação granulométrica a) equipamento vibratório b) agrupamento de fibras dentro da peneira	98
Figura 4.6. Morfologia da superfície interna e externa da fibra natural: (a) Vê-se a incrustação de sílica; (b) Distribuição aleatória das sílicas.	102
Figura 4.7. Distribuição de sílica nas fibras dos processos de mercerização: (a) Rio Guamá (RG);(b) Água Casanpa (AC); (c) Raspas da mandioca (MD); (d) (Natural); (e) NaOH (0,5%); (f) NaOH autoclave (0,5%).	103
Figura 4.8. Distribuição uniforme de sílica nas fibras naturais (ST). (a). Sílicas em formato de roseta e amostras dos locais de protruções; (b). Amostra de concentração de sílica no mapa de EDS.	104
Figura 4.9. Distribuição irregular de sílica nas fibras com tratamento de NaOH (0,5%, CT). (a). Partículas de SiO ₂ em formato de roseta e locais de protruções sem a presença SiO ₂ em função do NaOH; (b). Amostra de concentração de sílica no mapa de EDS.....	104
Figura 4.10. Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Fibras do açaí submetidas aos processos de maceração biológica: (a) Raspa da Mandioca (MD); (b) rio Guamá (RG); (c) Água Cosanpa (AC).	108
Figura 4.11. Gráfico dos efeitos do desdobramento dos tratamentos de maceração biológica para cada concentração de água na resistência máxima à	

tração axial. Letras minúsculas iguais indicam que os resultados não diferem entre si pelo teste Tukey.	111
Figura 4.12. Gráfico de efeitos principais para a resistência máxima à tração (C7 e fibra referência).	112
Figura 4.13. Gráfico de efeitos de concentração de NaOH sobre a resistência à tração máxima das fibras de açaí.....	115
Figura 4.14. Gráfico de efeitos do tratamento com NaOH na condição N1 sobre a resistência à tração máxima das fibras de açaí.....	118
Figura 4.15. Marcas globulares visíveis e rugosidade das microfibrilas nas fibras de açaí com o processo de mercerização alcalina. a) NaOH a 0,5% (N1)., b) NaOH a 0,5 autoclave (N4)	121
Figura 4.16. Efeitos principais das fibras com e sem tratamento para absorção de água (a) 2 horas (b) 24 horas.....	126
Figura 4.17. Micrografia da interface fibras e resina bicomponente de mamona na superfície do ecopainel (CT)	127
Figura 4.18. Microscopia eletrônica de varredura superficial de ecopainéis de fibras de açaí com tratamento NaOH 0,5% (CT).....	128
Figura 4.19. Efeito do tratamento das fibras sobre o inchamento em espessura em 2 h (a) e a 24 h (b) para os ecopainéis CT e ST.	131
Figura 4.20. a) Formação de grumos fibras e resina após procedimento de homogeneização manual; b) Superfície de ecopainel com manchas visíveis de grumos após processo de homogeneização manual; c) Superfície de ecopainel após processo de homogeneização por ar comprimido.	133
Figura 4.21. Gráfico que mostra o efeito do tratamento das fibras sobre o arrancamento de parafuso no topo dos ecopainéis CT e ST.	136
Figura 4.22. Efeito do tratamento das fibras sobre o MOR dos ecopainéis CT e ST.....	138
Figura 4.23. Efeito do tratamento das fibras sobre RAI dos ecopainéis CT e ST.	141
Figura 4.24. (a) Micrografias dos ecopainéis CT; (b) Mapa de EDS; indicando a sílica nas fibras de açaí; (c). Espectro do EDS indicando o silício (Si).....	143
Figura 4.25. (a) Micrografias dos ecopainéis ST; (b) Mapa de EDS; indicando a sílica nas fibras de açaí (c) Micrografia do ecopainel ST; (d) Espectro do EDS indicando o silício (Si).	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Composição química dos caroços de açai.....	11
Tabela 2.2. Produção mundial de fibras comerciais	16
Tabela 2.3. Avaliação de algumas fibras naturais na Índia e suas aplicações	19
Tabela 2.4. Composição química de algumas fibras vegetais (% em peso).....	34
Tabela 2.5. Classificação dos painéis pela Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM 2012).....	40
Tabela 2.6. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados a base de resíduos agroindustriais	47
Tabela 3.1. Tratamentos investigados para a condição experimental biológica (mercerização).	62
Tabela 3.2. Tratamentos investigados para a condição experimental química (Mercerização Alcalina).....	63
Tabela 3.3. Parâmetros de produção de ecopainéis de partículas de fibras de açai.	83
Tabela 3.4. Distribuição dos corpos de prova nos ecopainéis	89
Tabela 3.5. Propriedades físicas que foram determinadas nos painéis.....	89
Tabela 3.6. Propriedades e metodologia de determinação de propriedades mecânicas para os Ecopainéis de fibras de açai.	90
Tabela 4.1. Propriedades Físicas da Fibra do Açai	97
Tabela 4.2. Dados experimentais da composição química da fibra do açai (<i>Euterpe oleraceae</i> Mart.) e dados comparativos de algumas fibras vegetais utilizadas como material de reforço.....	100
Tabela 4.3. Comparação de resistência máxima à tração de fibras vegetais agroindustriais com fibras de açai.....	105
Tabela 4.4. Resultados de resistência à tração máxima de fibras tratadas por maceração biológica: espontânea e induzida.....	106
Tabela 4.5. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência à tração axial das fibras do açai.....	108
Tabela 4.6. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açai.....	109
Tabela 4.7. Resultados tratados (dados transformados) da resistência máxima à tração axial pelo método ANOVA.....	109
Tabela 4.8. Resultados da ANOVA para o desdobramento dos tratamentos de maceração biológica para cada concentração de água na resistência máxima à tração axial.....	110

Tabela 4.9. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí.....	111
Tabela 4.10. Resultados da resistência máxima à tração de fibras de referência e tratadas por maceração biológica-raspa de mandioca (C7) e tratados pelo método ANOVA.....	112
Tabela 4.11. Resultados da resistência máxima à tração para mercerização química.....	113
Tabela 4.12. Resultados da resistência à tração máxima de fibras vegetais com tratamento alcalino da literatura.	114
Tabela 4.13. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí.....	114
Tabela 4.14. Resultados da resistência máxima à tração das fibras tratadas com NaOH (com e sem autoclave), analisados pelo método ANOVA.	115
Tabela 4.15. Resultados do teste de Tukey para a resistência máxima à tração em função dos níveis de concentração de NaOH.	116
Tabela 4.16. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí referência e N1 (NaOH (0,5%)).....	117
Tabela 4.17. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para os dados transformados de resistência à tração axial das fibras do açaí: referência e N1 (NaOH (0,5%)).	117
Tabela 4.18. Resultados pelo método ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras de referência e tratadas na condição N1.	118
Tabela 4.19. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí.....	119
Tabela 4.20. Resultados da ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras tratadas com maceração biológica e mercerização química.....	119
Tabela 4.21. Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos ecopainéis com as fibras em condições naturais sem tratamento (ST)	123
Tabela 4.22. Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos ecopainéis com as fibras tratadas com NaOH ao 0,5% com autoclave (CT).	124
Tabela 4.23. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para absorção de água (2 e 24 h) nos ecopainéis com fibras de açaí com tratamento (CT) e sem tratamento (ST).	125
Tabela 4.24. Resultados da comparação dos valores de absorção de água por 2 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	125
Tabela 4.25. Resultados da comparação dos valores de absorção de água por 24 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	125
Tabela 4.26. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para inchamento em espessura (2 e 24 h) nos ecopainéis CT e ST.	130
Tabela 4.27. Resultados da comparação entre os valores de inchamento de espessura após 2 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	130

Tabela 4.28. Resultados da comparação entre os valores de inchamento de espessura após 24 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA. ...	131
Tabela 4.29. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para densidade aparente nos ecopainéis CT e ST.....	132
Tabela 4.30. Resultados da comparação entre os valores de densidade aparente para os ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	132
Tabela 4.31. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para arrancamento de parafuso na superfície nos ecopainéis CT e ST.....	134
Tabela 4.32. Resultados da comparação de valores de arrancamento de parafuso na superfície dos ecopainéis CT e ST obtidos pelo método ANOVA.	134
Tabela 4.33. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para arrancamento de parafuso no topo nos ecopainéis CT e ST.	135
Tabela 4.34. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para os dados transformados de arrancamento de parafuso no topo nos ecopainéis CT e ST.....	135
Tabela 4.35. Resultados da comparação entre os valores de resistência ao arrancamento de parafuso de topo dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.....	136
Tabela 4.36. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para módulo de ruptura nos ecopainéis de fibras de açaí com tratamento (CT) e sem tratamento (ST).	137
Tabela 4.37. Resultados da comparação dos valores de MOR dos ecopainéis tratados pelo método ANOVA nos ecopainéis CT e ST.	138
Tabela 4.38. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para módulo de elasticidade nos ecopainéis CT e ST.....	139
Tabela 4.39. Resultados da comparação dos valores de MOE para ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	139
Tabela 4.40. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência da adesão interna nos ecopainéis CT e ST.	140
Tabela 4.41. Resultados da comparação entre os valores de resistência da adesão interna dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.	141
Tabela 4.42. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados a base de bagaço de cana de açúcar	142

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABIPA Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

Abs Absorção de água

ANSI American National Standards Institute

AP Arrancamento de parafuso

ASTM American Society for Testing and Materials

CP Corpos de Prova

Dap Densidade aparente

EPA Environmental Protection Agency

FZEA Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

IE Inchamento em espessura

LVL Laminated Veneer Lumber

MDF Medium Density Fiberboard

MDI Di-isocianato de difenilmetano

MDP Medium Density Particleboard

MEV microscopia eletrônica de varredura

MF Melanina Formaldeído

MOE Módulo de elasticidade

MOR Módulo de ruptura

NBR Norma Brasileira de Regulamentação

OM Resina à base de óleo de mamona bicomponente

OSB Oriented Strand Board

PF Fenol Formaldeído

RAI Resistencia da Adesão Interna

RAsup Resistência ao arrancamento de parafuso de superfície

RAtop Resistência ao arrancamento de parafuso de topo

UF Ureia Formaldeído

USP Universidade de São Paulo

CAPÍTULO 1

É crescente o consenso entre as nações industrializadas sobre a necessidade de pesquisa para converter subprodutos agrícolas não utilizados e excedentes da safra em novos produtos rentáveis. Atualmente, é considerada como urgente e premente a necessidade de desenvolver e comercializar materiais do tipo compósito baseados em constituintes de origem natural (*bio-based composites*, biocompósitos). O que terá impacto do ponto de vista da redução da dependência de materiais provenientes de fontes não renováveis (fósseis), assim como do ponto de vista social, ambiental e econômico (JOSHI, 2003; MOHANTY, 2006).

A busca de tecnologia voltada à preservação do ambiente e à utilização de matéria-prima proveniente de fontes renováveis tem motivado centros de pesquisas do mundo todo a estudar a utilização de recursos naturais e subprodutos agroindustriais (FROLLINI, 2004; WAMBUA, 2003; KEENER, 2004). As pesquisas da última década têm avaliado a aplicação de matérias primas fibrosas de resíduos de culturas agrícolas de menor custo, para a confecção de compósitos, em diferentes regiões do mundo, com resultados satisfatórios (WIDYORINI *et al.*, 2005; LUZ *et al.*, 2005; ASHORI *et al.*, 2009; AKGÜL *et al.*, 2008; MENDES *et al.*, 2010; ORTUÑO *et al.*, 2011; SARTORI *et al.*, 2012; ROCCO LAHR e CHRISTÓFORO, A. L, 2013,; NASCIMENTO M.F. *et al.*, 2013).

As indústrias de painéis aglomerados e de fibras, no Brasil, utilizam preferencialmente cavacos de madeira de reflorestamento provenientes de *Pinus sp* e de algumas espécies de *Eucaliptus sp*, o que determina, inclusive, uma melhor qualidade do produto, tendo em vista o melhor controle de homogeneidade da matéria-prima. Porém, os materiais lignocelulósicos provenientes de resíduos agroindustriais vêm sendo uma alternativa para fabricação de painéis de partículas de média densidade (MDP) e painéis de fibras de média densidade (MDF).

A agroindústria brasileira apresenta inúmeros resíduos lignocelulósicos com potencialidades de aproveitamento para fabricação de novos materiais como, por exemplo, a casca de coco verde (IWAIKIRI *et al.*, 2003; BRITO *et al.*, 2004; KHEDARI *et al.*, 2004 e PASSOS, 2005), casca de amendoim (PABLO *et al.*, 1975; CARASCHI *et al.*, 2009 e GATANI, 2009; CRAVO *et al.*, 2012) e bagaço de cana-de-açúcar (WIDYORINI *et al.*, 2005; CONTRERAS *et al.*, 2006; CARASCHI *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2008 e BATTISTELLE *et al.*, 2009; FIORELLI *et al.*, 2012 e GARZON *et al.*, 2012). Os resultados de pesquisas nacionais e internacionais com o bagaço de cana de açúcar indicam a sua viabilidade em diferentes matrizes poliméricas para a confecção de compósitos (ROWEL, 2000; TEIXEIRA *et al.*, 1997; WIDYORINI *et al.*, 2005; CAMPOS *et al.*, 2005).

Nos últimos anos, o consumo interno de MDP/aglomerado está na casa dos 4 milhões de metros cúbicos/ano e aumentou a taxas de 5% ao ano. O consumo de painéis reconstituídos na última década vem sendo incrementado a taxas mais elevadas que aquelas de outros produtos de madeira, como os de MDF que foi em torno de 3 milhões de metros cúbicos/ano (MOBILE FORNECEDORES, 2012). Neste sentido, os painéis particulados produzidos com resíduos agroindustriais, apresentam-se como alternativa sustentável para o aproveitamento de suas propriedades intrínsecas, favorecendo sua capacidade de desempenho para satisfazer às necessidades do usuário final, como também agregação de valor e posicionamento no mercado.

A indústria de açaí é uma importante fonte econômica na região norte do Brasil. O Pará é atualmente o maior produtor do Brasil, respondendo atualmente por 87,1% de toda a polpa consumida no país (Santana *et al.*, 2012), sendo cerca de 80 a 90% oriunda do nordeste desse estado. Dessa produção, cerca de 24% são obtidos em áreas cultivadas e 76% possuem origem extrativista (SANTANA, 2012), revelando um crescimento na proporção de áreas cultivadas e açazais nativos manejados, nessa atividade que há alguns anos era quase que totalmente extrativista, o que é interessante em termos ambientais e de eficiência produtiva.

Os resíduos agroindustriais provenientes da produção do suco do açaí, denominados 'caroços' somente na região metropolitana de Belém são produzidos em torno de 93.521 toneladas/ano e cerca de 1.200 toneladas diárias provenientes da indústria de polpa são produzidas diariamente e descartadas ou utilizadas como fonte de energia em fornos e caldeiras. Neste contexto, utilizaram-se nesta pesquisa esses resíduos visando encontrar um uso sustentável e consciente. Foram estudados os métodos de processos de mercerização de extração da fibra do fruto do açaí, buscando determinar o processo mais eficiente entre eles para que assim fossem projetados painéis particulados de média densidade denominados nesta pesquisa ecopainéis.

Baseando-se nas informações apresentadas, verifica-se interesse e vasto campo de aplicação tecnológica para os resíduos agroindustriais, e especificamente para as fibras dos frutos de açaí, na fabricação de ecopainéis de partículas homogêneas de MDP, visando contribuir para o desenvolvimento de um novo produto tecnológico e sustentável e uma opção para agregar valor a estes resíduos. Cabe destacar, também, que ficou evidenciado o ineditismo do estudo desenvolvido, que envolve a utilização das fibras dos frutos dos resíduos dos caroços do açaí na produção de painéis de partículas denominados ecopainéis, com o uso da resina poliuretana à base de mamona de procedência natural e renovável.

A presente pesquisa contribuiu para o conhecimento da anatomia morfológica, composição química, e das propriedades físicas e mecânicas das fibras do açaí. Este estudo foi essencial para a avaliação do seu potencial para as diferentes aplicações em compósitos particulados e de sua capacidade para posterior escala industrial ou ainda para avaliar o potencial das fibras lignocelulósicas como reforço em matrizes orgânicas. Neste contexto, a pesquisa contribuiu também para o entendimento das propriedades físico-mecânicas dos

painéis particulados que poderão permitir sua aplicação em diversas áreas da construção civil, arquitetura e indústria moveleira, visando principalmente à sustentabilidade socioambiental da região amazônica.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral a caracterização anatômica, química, física e mecânica do tecido vascular (fibroso) dos frutos do açaí para a produção de ecopainéis de partículas homogêneas de média densidade ecopainéis e avaliar a viabilidade de utilizá-las em ecopainéis para sistemas construtivos na construção civil e outras áreas afins.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar os processos de extração, biológicos, químicos e naturais (mecânicos) e de obtenção das fibras dos frutos do açaí;
- Caracterização anatômica das fibras dos frutos do açaí;
- Determinação das propriedades anatômicas, químicas, físicas, mecânicas e microestruturais das fibras do caroço do açaí;
- Confeção de painéis de partículas homogêneas (ecopainéis) de média densidade de fibras dos frutos do açaí e resina poliuretana à base de óleo de mamona;
- Determinar as propriedades físico-mecânicas e microestruturais dos ecopainéis particulados de média densidade.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O texto da tese deste trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos:

No **capítulo 1** apresenta uma introdução, justificativa e objetivos do trabalho discutindo e contextualizando a importância e o potencial uso de resíduos agroindustriais, particularmente a fibra do caroço de açaí para a fabricação de painéis particulados dentro da indústria da construção civil.

No **capítulo 2** é realizada uma detalhada revisão bibliográfica sobre fibras e painéis particulados. Aborda os conceitos relacionados às fibras vegetais e os tratamentos para sua obtenção. Além disso, destaca-se neste capítulo a discussão em relação aos painéis de materiais lignocelulósicos (madeira e resíduos agroindustriais).

No **capítulo 3** apresenta o programa experimental explicando os métodos de obtenção e caracterização das fibras de açaí. Além disso, apresenta a metodologia empregada na fabricação e caracterização físico-mecânica dos painéis particulados.

No **capítulo 4** são discutidos os resultados obtidos das análises dos processos de obtenção das fibras (mercerização), caracterização anatômica, química, física, mecânica e microestrutural das fibras e a caracterização físico-mecânica e microestrutural dos ecopainéis particulados. Este capítulo apresenta as principais conclusões finais das fibras e dos ecopainéis deste trabalho.

No **capítulo 5** são sugeridos temas para futuras pesquisas oriundas deste trabalho.

CAPÍTULO 2

2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO AÇAÍ

A investigação da palmeira açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) teve início no século passado com Spix e Martius (1820) e La Condamine (1944) e Chaves e Pechnik (1945), analisaram a composição dos frutos do açai e seu valor nutritivo. Entretanto, foi nas três últimas décadas do século XX que se intensificou o estudo sobre os açais do estuário amazônico. São trabalhos que versam sobre as características etnobiológicas, ecológicas, florestais, antropológicas, socioeconômicos, tecnológicos e sobre o uso e as potencialidades da palmeira (MOURÃO, 2004).

O açazeiro é uma espécie tropical, típica da Amazônia que ocorre espontaneamente em toda essa região, abrangendo os estados da Região Norte (Tocantins e Maranhão) até as Guianas e a Venezuela (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a e Figura 2.1b). As maiores concentrações naturais encontram-se nas várzeas estuarinas no estado do Pará (JARDIM, 2004). Desenvolve-se bem em condições de clima quente e úmido e não suporta períodos de seca prolongada.

Nas regiões onde o açazeiro é nativo as chuvas são abundantes, atingindo 2.000 a 2.700 mm anuais e bem distribuídas durante o ano, e a umidade relativa do ar comumente ultrapassa 80%. A temperatura média gira em torno de 28°C. O açazeiro pode se desenvolver bem em regiões com temperaturas médias mensais acima de 18°C, já temperaturas inferiores podem causar atrasos no desenvolvimento das plantas.

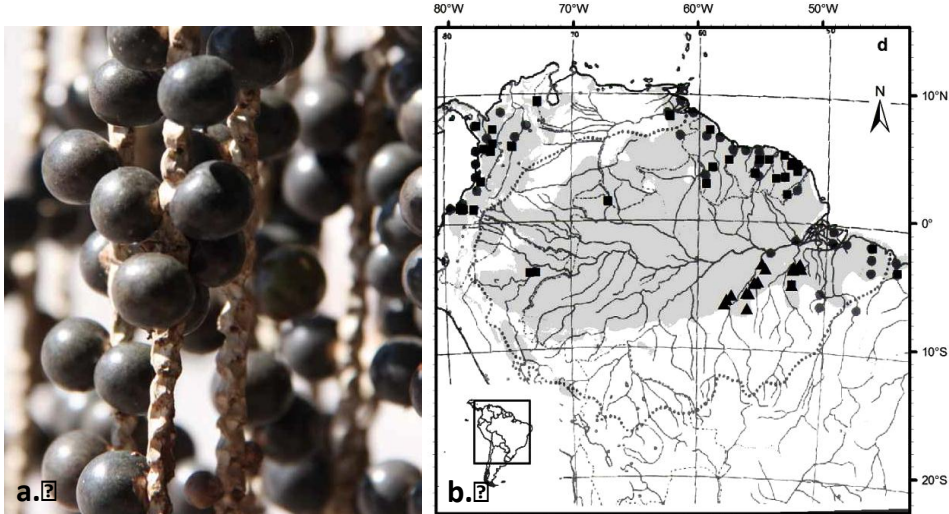


Figura 2.1. Aspectos do açai: (a) Fruto (b) Mapa de ocorrência geográfica da espécie *Euterpe oleracea* Mart. Adaptado de Moscoso (2012).

Apesar do açazeiro também ser encontrado em outros estados, o Pará é o maior produtor nacional, seguramente com mais de 90% do que é consumido no país. A capital paraense é o local que mais consome açai no Brasil, possuindo cerca de 3 mil pontos-de-venda onde o suco é comercializado. São produzidos em torno de 440 mil litros por dia, processados com frutos provenientes das ilhas ao redor da cidade, como por exemplo, Ilha do Marajó, e na Região Metropolitana. (Figura 2.2).

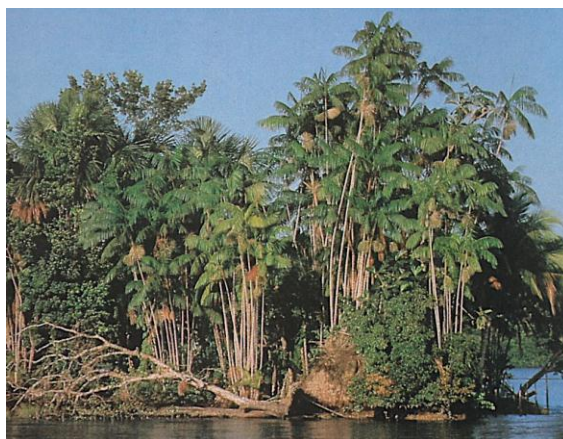


Figura 2.2. Açaizal na ilha de Marajó. Fonte Autor

2.1.1 Caracterização morfológica da espécie

Palmeira multicaule com até 20 m de altura e estipe (caule) liso na parte superior e, na base, observa-se a presença de raízes adventícias. As várias estipes (touceira) apresentam-se em diferentes estágios de desenvolvimento, apresentando entre 3 e 20 m de altura e 7 e 18 cm de diâmetro. As folhas são do tipo pinadas, variando em número de 8 a 14 e medindo até 3 m de comprimento com pecíolo curto e bainha fechada lisa de coloração verde ou laranja clara com até 1,5 m de comprimento; pinas geralmente não pendentes, regularmente agrupadas e dispostas no mesmo plano. Inflorescência monoica infrafoliar ereta na antese e pendulas com frutos em numerosas ráquulas. O fruto é uma drupa globosa, apresentando epiderme (casca) lisa, medindo 1,2 – 1,3 cm de diâmetro, de coloração negra-violácea na maturidade. Cada fruto contém uma semente com endosperma (tegumento) homogêneo. As plântulas apresentam folhas bífidas. Flores e frutos ocorrem durante todo o ano, porém, a maior abundância ocorre na estação seca, entre os meses de julho e dezembro (CAVALCANTE, 1991).

- ***Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae)**

Euterpe oleracea Mart. é conhecida popularmente como açaí de touceira, açaí do Pará ou simplesmente açazeiro, é uma palmeira da Amazônia Oriental, nativa do Pará, ocorrendo também de forma espontânea nos estados do Amapá, Maranhão e Tocantins, além das Guianas e Venezuela. Desenvolve-se e se dispersa ao longo de rios e igarapés de solos heteromórficos, sendo bem adaptadas às condições de inundação, principalmente na várzea alta e de terra firme com boa drenagem, matéria orgânica e umidade, possibilitando proteção permanente do solo. Ocorre em áreas que apresentam pluviosidade superior a 2.300 mm anuais e elevada temperatura. É considerada a 5ª espécie mais dominante da Amazônia das 16 mil espécies estimadas de plantas arbóreas amazônicas, de acordo com a pesquisa de 1.170 parcelas espalhadas pelos 6 (seis) milhões de km² da floresta amazônica (HANS TER STEEGE, 2013).

Atualmente, *E. oleracea* é a espécie com maior destaque na produção de palmito, com a região do estuário do rio Amazonas sendo a maior produtora, pois a extração em espécies solitárias ocasiona a morte da planta. Sendo assim, a característica da ramificação dos estipes permite rápida regeneração das populações nativas após a extração de palmitos (JARDIM e ANDERSON, 1987), conforme a **Figura 2.3**.



Figura 2.3. Ramificação dos frutos do açai. Fonte. Autor.

2.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA SEMENTE

2.2.1 Composição física

A semente do açai é constituída morfologicamente pela polpa, endocarpo, pericarpo/tegumento, endosperma, embrião e cicatriz. A polpa, de acordo com algumas pesquisas possui um promissor princípio ativo com possibilidades de prevenir e combater o câncer de próstata, além da capacidade de proteger a pele e retardar o envelhecimento.

As fibras do fruto do açazeiro encontram-se fixadas ao redor da semente do fruto, e após o beneficiamento do suco, elas se localizam no mesocarpo do fruto, justamente onde se localiza a polpa. São, portanto, um subproduto da extração do suco ou polpa do açai. Depois de desidratadas naturalmente podem ser facilmente removidas com as mãos. Possuem um comprimento médio da ordem de 12 mm. As características superficiais da semente podem ser visualizadas na **Figura 2.4**.



Figura 2.4. Semente com tecido fibroso. Fonte Autor

2.2.2 Composição química

A porção comestível do açai chamada de polpa constitui cerca de 32% da massa total do fruto em relação aos 68% ocupados pela semente ou caroço (YUYAMA *et al.*, 2011). Conhecida pelo seu alto valor energético, grande teor de lipídios, proteínas e fibras, o fruto também possui alta concentração de antocianinas, que são substâncias antioxidantes, reduzindo a ação de radicais livres no organismo e amenizando o processo de envelhecimento. A Tabela 2.1 apresenta a composição química encontrada nos frutos de açai.

Tabela 2.1. Composição química dos caroços de açaí

Variável	Valores Médios
pH	5,23
Matéria Graxa (%)	52,64
Matéria Nitrogenada Total (%)	10,05
Glicose (%)	1,55
Frutose (%)	1,36
Sacarose (%)	0,05
Fibras (%)	25,22
Antocianinas (MG//Kg frutos)	440
Cinzas Totais (%)	3,09
Ca (g/Kg. MS)	3,09
P (g/Kg. MS)	1,47
Mg (g/Kg. MS)	1,78
K (g/Kg. MS)	9,90
Na (g/Kg. MS)	0,76
Zn (g/Kg. MS)	17,30
Cd (g/Kg. MS)	0,46
B (g/Kg. MS)	15,84
Fe (g/Kg. MS)	20,59
Mn (g/Kg. MS)	323
Cu (g/Kg. MS)	13,76
Ni (g/Kg. MS)	2,03
Cr (g/Kg. MS)	5,31
Vitamina C (mg/100.MS)	17
Vitamina B ₁ (mg/100.MS)	0,67
Vitamina B ₂ (mg/100.MS)	0,02
Vitamina B ₃ (mg/100.MS)	0,7
α-Toferol	45

Fonte. ROGEZ, 2000

2.2.3 Fisiologia da semente

A testa da semente do açaizeiro é do tipo ruminada, endosperma é formado por células de diversos tamanhos e formas, com paredes espessas e muitas pontuações; embrião formado pelo hipocótilo-radicular, procâmbio e parênquima com numerosos idioblastos com ráfides e o endosperma da semente, a base do caulículo e o haustório são os locais de acúmulo de amido (NETO, M.A.M., (2004). Segundo o autor, as sementes e plântulas de açaizeiro podem tolerar até quatro meses de anoxia (ausência de oxigênio) germinando após transferência para condições normóxicas (presença de oxigênio). A tolerância das mesmas está relacionada com a manutenção da atividade amilolítica (carboidrato), sendo o haustório o sítio inicial de síntese da endo- β -mananase, porém não consegue excretá-las para o endosperma durante a germinação (GOUVÊA, 2010).

2.3 UTILIZAÇÃO DO AÇAÍ

2.3.1 Na Medicina

No campo científico o açaí está presente em promissoras pesquisas. A descoberta de um tratamento dentário que tem como identificador visual de placas pigmentos baseados no açaí mereceu rápido reconhecimento, destaque em congressos e até prêmios, culminando com o patenteamento, pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), de um produto denominado "composição evidenciada de placa dental com corantes naturais". Pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), em Ribeirão Preto, experimentaram exames de ressonância magnética do aparelho digestivo com o produto oriundo do fruto do açaizeiro, conduzidos pelos físicos Draulio Barros de Araújo e Tiago Arruda Sanchez, do Departamento de Física e Matemática. O "brilho" dos órgãos digestivos garante melhor qualidade do contraste, com imagens mais conclusivas, devido à presença de ferro e outros metais no açaí que alteram o campo magnético nos exames. O mérito está no fato

de que o uso do contraste artificial comumente gera estímulos indesejáveis no estômago que podem prejudicar o diagnóstico.

Pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro investigam outras propriedades da polpa, que teria um promissor princípio ativo com possibilidades de prevenir e combater as células cancerosas de próstata, além da capacidade de proteger a pele e retardar o envelhecimento (LUZ, 2005).

Em termos nutricionais, estudos científicos mostram que o açaí apresenta propriedades importantes na saúde, incluindo ação anticâncer, cardioprotetora, efeito de modulação da síndrome metabólica, como desintoxicante e no controle da dor. Também parece ter ação positiva sobre a longevidade porque modela genes que aumentam o tempo de vida das moscas e que também são encontrados em seres humanos (RIBEIRO e CRUZ, 2012).

2.3.2 Na Indústria

As fibras vegetais são tradicionalmente utilizadas para a produção de fios, cordas, sacarias, mantas, tapetes, artefatos de decoração etc. Existe um crescente interesse em encontrar novas aplicações para este abundante e renovável recurso natural.

- **Indústria Alimentícia**

Dos frutos maduros é extraída a polpa que é consumida na forma de sucos, creme, licor, geleia, mingau, sorvetes e doces. Segundo Canto (2001) “o açaizeiro ocupa um largo espaço na vida amazônica, principalmente no estuário do rio Amazonas. É um alimento abundante, barato, de consumo diário e tradicional. Tornou-se um símbolo da cultura nortista e está presente no cotidiano tanto do ribeirinho como do cidadão, independente das posses. Esta influência é refletida na economia, nas paisagens, nos cartões postais, nos dizeres populares, nas manifestações culturais, nas estratégias de ocupação do solo. O registro do início

desta íntima relação está perdido no tempo. Mas há uma obviedade de ter sido um legado indígena”.

Nos últimos anos o suco de açaí passou a ser apreciado também em outras regiões brasileiras, especialmente no sudeste, para onde se encontra em forma de polpa congelada. Em São Paulo o consumo atinge cerca de 150 toneladas por mês e no Rio de Janeiro em torno de 500 toneladas mensais são consumidas. Segundo Alfredo Homma, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, não se trata de modismo. "O açaí vai ocupar um nicho de mercado no contexto nacional e internacional" fora uma afirmação do pesquisador, embasada no sucesso da nova bebida ao de outra fruta da Amazônia, o guaraná, lançado como refrigerante em 1907, em Manaus, e que se tornou depois uma bebida internacional (GLOBO RURAL, 2011). De fato, cápsulas com complexos vitamínicos baseados no fruto do açaizeiro já são amplamente comercializadas na Internet. Na Amazônia o açaí é um alimento diário presente em qualquer refeição, já no restante do país a maior parte dos consumidores busca um complemento alimentar rico em vitaminas e minerais, de alto valor calórico. O fruto possui cerca de 13% de proteína, superando o leite (3,5%) e até o ovo (12,49%). Também é rico em potássio, cálcio, ferro e vitamina E (GLOBO RURAL, 2011).

- **Corantes**

O açaí também é estudado no segmento de corantes, objeto de pesquisa de Constant (2003), que estudou como corante para iogurte, queijo tipo *Petit suisse*, bebida isotônica líquida e em pó. Nazaré *et al.*, (2007) também verificaram o corante do fruto de açaí como alternativa para colorir jujubas.

Souza (2006) concluiu que diferentes progênies de açaí analisadas, contém presença de substâncias biologicamente ativas, principalmente as relacionadas a compostos fenólicos e pigmentos, tais como: antocianinas, flavonoides amarelos, compostos fenólicos, clorofila, carotenoides.

- **Energia**

A biomassa em forma de briquetes é utilizada por meio do resíduo do açaí proveniente desta palmeira de origem amazônica. O poder calorífico do resíduo de açaí é em média de 4.500 kcal/kg e o potencial energético é de 40.751 MWh/mês (REIS *et al.*,2002).

- **Construção civil**

As fibras vegetais lignocelulósicas como matérias primas para reforço, usadas em materiais compósitos podem ser agrupadas em dois grandes grupos. No primeiro, encontram-se resíduos agrícolas (e.g. cascas de arroz, palha de cereais, casca de coco, entre outros subprodutos da agroindústria), que podem servir de reforço em compósitos para aplicações em materiais estruturais. O segundo grupo é constituído de materiais lignocelulósicos cultivados para extração de fibras como o linho, sisal, cânhamo, juta, rami e inúmeros outros-, e que também geram resíduos no beneficiamento podendo também ser usados no reforço de compósitos. Segundo Lima Jr (2007) os compósitos cimentícios reforçados com fibra de açaí não apresentaram perda significativa de resistência à compressão. Além disso, as fibras incrementaram de forma satisfatória a resistência à tração (aproximadamente 13%) em média de fibrocimentos produzidos com este reforço. O reforço proposto apresentou um bom desempenho de adesão com a matriz e conseqüente comportamento pós-fissura inerente aos fibrocimentos, reforçando a região adjacente à fratura.

2.4 FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais vegetais podem ser consideradas um compósito fibroso natural, constituído de fibras de celulose- polímero natural $C_6H_6O_5$ – alinhadas em paralelo em relação aos seus eixos, dispersas em lignina – resina polimérica natural, entre outros materiais constituintes variáveis que diferenciam as espécies vegetais (LIMA JR, 2007). A produção mundial de fibras comerciais de plantas estimada em 2012 foi de aproximadamente 110.7 milhões de Toneladas de fibras

que lideram o mercado interno (linho (*Linum usitatissimum*), abacá (*Musa textilis*), sisal (*Agave sisalana*), coco (*Cocos nucifera*) e juta (*Corchorus capsularis*). bambu, juta, kenaf, *hemp*, rami, bagaço de cana de açúcar) sumarizadas na **Tabela 2.2.**

Tabela 2.2. Produção mundial de fibras comerciais

Fibra	Produção mundial (10 ³ ton)
Bambu	30000
Juta	2300
Kenaf	970
Linho	830
Sisal	378
Cânhamo	214
Coco	100
Rami	100
Abacá (Fibra de banana)	70
Bagaço de cana de açúcar	75000
Gramínea	700

Fonte. Faruk *et al.*,2012

Todavia as palhas provenientes da indústria de cereais são ímpares no quesito custo, dentre todas as fibras vegetais. A USDA – *United States Department of Agriculture* conduz pesquisas sobre compósitos baseados em fibras lignocelulósicas. O laboratório de produtos identificou que a maioria das fibras provenientes da agroindústria pode ser empregada em materiais de engenharia. Os países norte-americanos consomem cerca de 700 mil metros cúbicos anuais de agro-fibras na manufatura de chapas de madeira compensada, chapas aglomeradas e chapas MDF (*Medium Density Fiberboard*). Não só na América do Norte, mas em todo o mundo há o progresso de trabalhos de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para compósitos reforçados com fibras naturais (RAI e JHA, 2004).

Segundo Marinelli *et al.*, (2008), as fibras vegetais são materiais renováveis, e suas principais vantagens são:

- Disponibilidade ilimitada
- Enorme diversidade de plantas lenhosas e fibrosas encontradas na biodiversidade amazônica.
- São menos abrasivas que as fibras sintéticas usualmente usadas como reforço.
- São materiais biodegradáveis sendo menos agressivos ao meio ambiente.
- Representam uma fonte de renda para a população rural.
- Apresentam baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares neste campo de aplicação.
- Apresentam baixo custo em relação a reforços atualmente empregados.
- Alternativas potenciais, economicamente rentáveis para fixação de carbono na natureza.

De acordo com essas vantagens e qualidades anteriormente citadas, a engenharia utiliza-se das fibras naturais em diferentes áreas, como a indústria automotiva em vários componentes internos, e.g. painéis, forros de portas, pára-choques. Dentre estas se encontram o rami, o sisal, o linho, a juta, o cânhamo, a de bananeira, de abacaxi e de coco. Por exemplo, o automóvel Classe E, da empresa Mercedes Benz, comercializado na Europa, possui pelo menos 10 itens internos baseados nessa tecnologia. Em consequência do material, a utilização de tecnologias de fibras vegetais em automóveis diminui o consumo das reservas de petróleo e facilitou a reciclagem dos materiais ou decomposição dos resíduos quando da deposição final do carro descartado. A única desvantagem é o alto preço, devido o beneficiamento de fibras vegetais ser ainda uma atividade artesanal. O produto da fibra de coco, por exemplo, ainda é de 10% a 15% mais caro que o similar de espuma, mas a tendência é a redução deste custo, através

do incentivo fiscal, por exemplo, devido ao caráter social que tal extração pode propiciar através da geração de rendas para a imensa demanda de mão-de-obra de países subdesenvolvidos (SCHUH, 1997; POEMA, 2005; PICHA, 2003; ROWELL *et al.*, 1997; PIMENTEL, 2005; MEDEIROS *et al.*, 2002; DA SILVA, 2003).

2.4.1 Tipos de fibras

A revisão mais recente e mais completa sobre as fibras naturais é de Faruk *et al.*, (2012) e HO,M-p *et al.*, (2011), que abordaram amplamente o conceito, a classificação e as principais fibras utilizadas comercialmente em compósitos.

Segundo Faruk *et al.*, (2012) as fibras lignocelulósicas podem ser classificadas em 6 tipos e, segundo a sua origem, como fibras de sementes (e.g. algodão, sumaúma), fibras de caule (e.g. juta, linho, cânhamo, kenaf, bambu), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém e abacaxi), fibras de fruto (e.g. coco) e fibras de raiz (e.g. zacatão, mandioca), gramíneas (trigo, milho e arroz) (**Figura 2.5**). A **Figura 2.6**. Classificação de diferentes fibras naturais. Ho M-p *et al.*,(2011). A **Figura 2.6** apresenta a classificação de diferentes fibras vegetais proposta por Ho M-p *et al.*,(2011).



Figura 2.5. Fibras vegetais (a) Curauá (b) Bambu (c) Juta (d) Bagaço de cana de açúcar (e) Casca de amendoim (f) Arumã (g) Jacitara (h) Piaçava (i) Sisal (j) Coco verde. Fonte. Autor

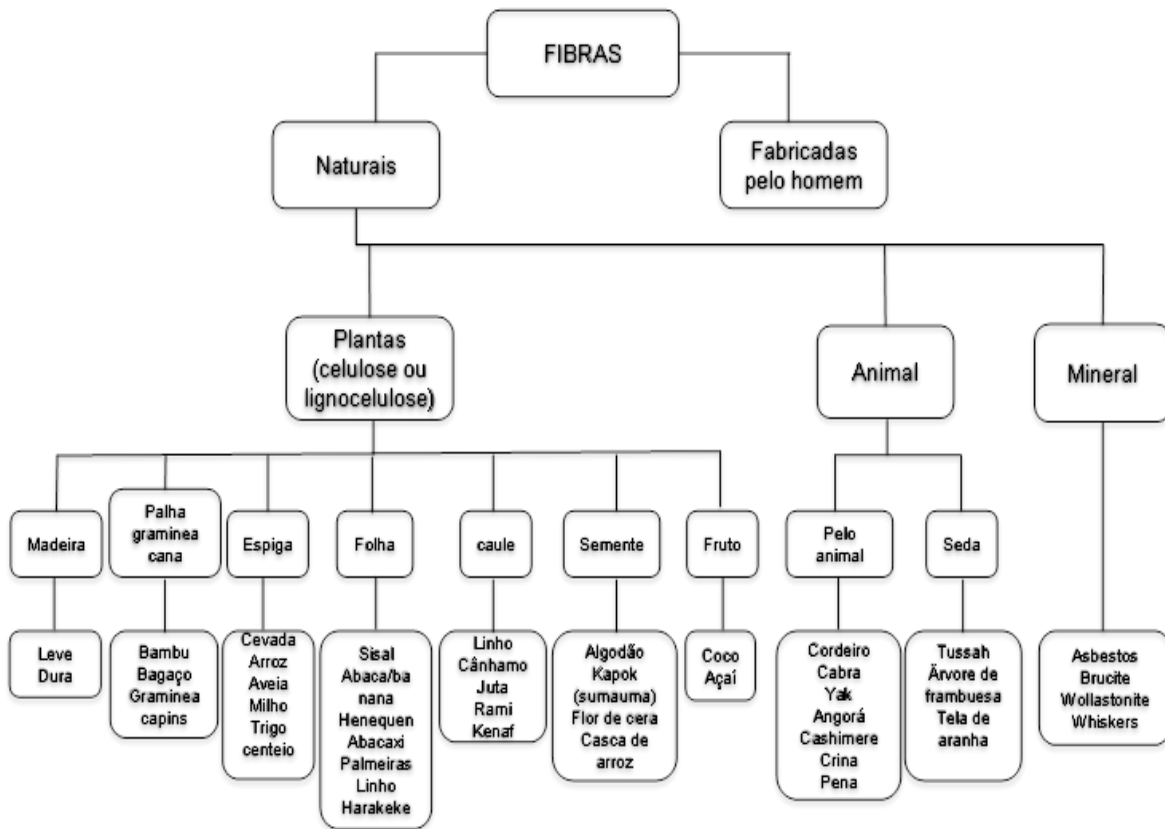


Figura 2.6. Classificação de diferentes fibras naturais. Ho M-p *et al.*,(2011)

No cenário indiano, Rai e Jha (2004) destacam que aplicações de fibras lignocelulósicas em matrizes para compósitos, e.g. cimento e polímeros, estão chamando mais atenção para vários materiais finais de baixo custo e que as fibras vegetais têm disponibilidade em abundância e são provenientes de recursos naturais. Em seu trabalho os autores citam uma produção total de fibras anual média de mais de 400 milhões de toneladas na Índia, para materiais artesanais em geral e para aplicações em materiais de engenharia. As produções aproximadas de vários tipos de fibras são apresentadas na **Tabela 2.3**.

Tabela 2.3. Avaliação de algumas fibras naturais na Índia e suas aplicações

Fibra	Origem	Produção (Milhões)	Aplicações em materiais
-------	--------	--------------------	-------------------------

ton. / ano)			
Casca de arroz	Indústria de arroz	20	Como combustível, para a manufatura de materiais e produtos de aglutinador (matriz), cimento antiácido (como pozolana), painéis de fibra, tijolos.
Folha e caule de banana	Bananeira	0,2	Na manufatura de chapas compensadas, chapas de fibras resistentes ao fogo.
Casca de coco	Indústria de coir (fibra de coco)	1,6	Chapas compensadas, chapas insuladas, painéis estruturais, telhas, como agregado leve, compósito de coir, cimentícias, geo-têxteis, coir emborrachado.
Juta	Indústria de juta	1,44	Painéis OSB, telhas, fechamentos de portas
Palha de cereais	Fazendas agroindustriais	12	Manufatura de coberturas e painéis dry-wall
Fibra de sisal	Plantações de sisal	0,023 (Ásia)	Reboco para paredes e telhas, chapas compósitas com casca de arroz, manufatura de papel e poupa celulósica
Caule de algodoeiro	Plantação de algodão	1,1	Chapas de fibras, painéis, fechamento de portas, telhas, compósitos de cimento autoclavados, papéis, reboco de paredes

Fonte: Rai e Jha, (2004).

- **Fibras de quenafe (Papoula-do-são-francisco)**

O quenafe (*Hibiscus cannabinus*), conhecido internacionalmente como *kenaf* e no Brasil como papoula-do-são-francisco ou cânhamo brasileiro, é similar à juta e aos cânhamos tradicionais – asiático (*Cannabis indica*) e afro-americano (*Cannabis sativa*). É da mesma família que estes últimos, porém sem o efeito narcótico da parte não fibrosa e apresentam também suas fibras no entorno de seus galhos. Suas fibras representam de 20 a 25% do peso de material seco da planta, cresce sem maiores problemas em climas quentes, podendo chegar à 5 metros de altura. O quenafe é nativo da Pérsia, introduzido na Indochina, naturalizou-se na África e Ásia e é geralmente cultivado na Índia, de onde partiu

para as Américas do Norte e do Sul. Sua distribuição se compreende entre 45° Norte e 30° Sul de longitude (SILVA, 2003; RAI & JHA, 2004; DUKE, 1983).

A papoula-do-são-francisco é tradicionalmente cultivada para cordoaria na África e na Ásia, mas também se obtém polpa celulósica, para papel comum e estruturado (papelão), em países como China, Índia e Tailândia. A percepção do potencial do hibisco como recurso renovável para a indústria papelreira nos Estados Unidos e em outros países se deu na década de 60. A partir da década de 90, no sul do Texas pequenas plantas industriais de papel para jornal a partir da celulose do hibisco alcançaram notoriedade na América do Norte.

Atualmente, as fibras de hibisco encontram-se mundialmente no mercado como misturas ricas para solos, forragem para alojamentos de animais, óleos-absorventes, mantas geotêxteis, tramas têxteis para artesanato, indústrias celulósica e têxtil, estando presentes também em pesquisas para uso industrial, com potencial para compósitos resinados, que resultou em uma consequente indústria de sementes no sul do Texas para atender a demanda americana e além-mar. Pimentel (2005) observou que o quenafe produz uma fibra ideal para compósitos na indústria automobilística. Devido a sua similaridade com o cânhamo, adiciona-se às suas possibilidades a potencialidade de utilização destas em compósitos de fibrocimento (RAI e JHA, 2004; COZZA, 2005).

- **Fibras de Juta**

A juta (*Corchorus capsularis*) é uma herbácea da qual se obtém outra qualidade de fibra têxtil vegetal. Erva lenhosa que pode alcançar uma altura de 3 a 4 metros com caule de aproximadamente 20 milímetros. Cresce, em larga escala, principalmente na Índia e em Bangladesh (antigo Paquistão Oriental), com safra de dois a três meses onde se tem o crescimento de 3 a 5 metros de caule a cada ciclo. Exige um solo fértil e bem drenado e um clima quente e úmido. As altas temperaturas das regiões nas quais a juta é cultivada favorecem a fermentação e

desta forma consegue-se a mercerização em 8 a 10 dias, facilitando a separação da fibra da parte lenhosa do caule. Introduzida no Brasil por Riyota Oyama, a cultura foi difundida por imigrantes japoneses e hoje é uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental da permanência de mais de 50 mil famílias no campo (HOMMA, 1998).

Compósitos baseados nessas fibras exploram o longo comprimento das mesmas. A fibra de juta é uma das fibras vegetais mais utilizadas como reforço de matrizes poliméricas. Inclusive na indústria automotiva brasileira – juntamente com outras fibras, e.g. algodão, rami e coco – tem sua utilização em compósitos para revestimentos internos, painéis, teto e portas à base de resina fenólica (novolaca) reforçada com tecidos híbridos de juta e algodão utilizando técnica de moldagem por compressão (MEDEIROS *et al.*, 2002).

Industrialmente, tanto fibras têxteis tramadas e não tramadas são impregnadas com resinas ou epóxi e moldadas com conformação complexa, e são usadas como camadas superficiais para materiais, na indústria automotiva inclusive. Compósitos com reforço híbrido de juta e coco provêm alternativas econômicas para a indústria de madeira compensada, envolvendo a produção de painéis sanduíche de lâminas de fibras de juta orientadas, sobrepostas entre lâminas de resíduos da fibra de coco com látex. Vários desses compósitos são produzidos comercialmente na Índia pela *Natural Fibretech Pvt. Ltd.*, de Bangalore. O Instituto Nacional de Pesquisas e Aplicação Tecnológica de Fibras de Juta (NIRJAFT – *National Institute of Research on Jute and Applied Fibre Technology*), neste país, produz várias tecnologias que mantém a extensa comercialização de compósitos baseados nestas fibras (ROWELL *et al.*, 1997; RAI e JHA, 2004).

- **Fibras de Bambu**

Na sub-família *Bambusoideae*, da família *Gramineae*, há duas qualidades de gênero, a *Bambuseae* (bambus lenhosos) e a *Olyrae* (bambus herbáceos). As referências científicas variam em demasia e novas espécies e variedades são acrescentadas ano a ano; entretanto, estima-se que existam cerca de 1.250 espécies no mundo, espalhadas entre pelo menos 90 gêneros, presentes de forma nativa em todos os continentes menos na Europa. São de cultivo em uma variedade de condições climáticas (zonas tropicais e temperadas) e topográficas (até 4.000 metros do nível do mar). Os caules lenhificados do bambu comum (*Bambusa vulgaris*) são utilizados na fabricação de diversos objetos, cestos, móveis artesanais, instrumentos musicais, edificação artesanal e da construção civil.

O bambu é um material de engenharia muito conhecido nos trópicos, particularmente nas regiões de culturas ricas desta espécie. É a planta de mais rápido crescimento e possui ainda excelentes propriedades físicas e mecânicas. Seu módulo de elasticidade em relação ao peso é mais elevado que o da fibra de aço. É uma fibra de grande domínio na utilização em materiais compósitos (RAI e JHA, 2004).

O Brasil conta com a maior diversidade e o mais alto índice de florestas endêmicas de bambu em toda América Latina: São mais de 130 espécies, representando 32% das espécies de América Latina e 17 gêneros ou 85%, sendo que os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná possuem a maior diversidade de florestas de bambu (MURAKAMI, 2007). Além de ser um eficiente sequestrador de carbono, apresenta excelentes características físicas, químicas e mecânicas pode ser usado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares, e também como um protetor e regenerador ambiental, bem como pode ser empregado em diversas aplicações ao natural ou após sofrer um adequado processamento (PEREIRA, 2007).

Produtos à base de bambu processado podem substituir, ou até mesmo evitar o corte e o uso predatório de florestas tropicais, destacando-se, dentre outros produtos como carvão, carvão ativado, palitos, chapas de aglomerados, chapas de fibra orientada OSB, chapas de entrelaçadas para uso em formas de concreto, compensado de bambu, painéis, produtos à base de bambu laminado colado (pisos, forros e lambris) esteiras, compósitos, componentes para construção, habitação e indústria moveleira, dentre outros.

- **Fibras de Coco ou Coir**

A fibra de coco, mundialmente conhecida como *coir*, provém do coqueiro comum (*Cocus nucifera*). O cultivo de coqueiros é feito na Índia desde a antiguidade, onde tal palmeira é chamada de “Árvore do Bem-Estar” ou “Árvore do Céu”. Seu plantio é feito em larga escala desde 1840. A partir do fruto do coco a humanidade consome vários insumos importantes, como a água, o leite, o óleo e as fibras. O coqueiro se encontra em todos os países tropicais e em inúmeras variedades. Na Índia, Indonésia e Ceilão (Sri Lanka) dá-se mais a extração das fibras, enquanto que em outros países aproveita-se mais a parte comestível do coco, como em Porto Rico, no Marrocos, na China, nas Filipinas e inclusive no Brasil (LIMA JR, 2007).

As características de resistência e durabilidade da fibra de coco verde indicam o excelente potencial para seu emprego na construção civil, a traves de pranchas pré-moldadas ou na produção de fibrocimentos (SOARES *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2003). Algumas das propriedades mais comuns, que tornam esta fibra tão especial são: a alta elasticidade, maior que na maioria das outras fibras vegetais conhecidas; a alta resistência à umidade e às condições climáticas; e alta resistência ao desgaste. A partir do intenso uso desta fibra na Índia, maior diversidade mundial de coco depois das Filipinas, suas características foram mais profundamente estudadas naquele país. E um dos fatos mais importantes é o seu reconhecimento como uma fibra altamente durável em várias matrizes de

polímeros, betume, cimento Portland, gesso, escória de alto-forno (EAF), barro etc (RAI e JHA, 2004).

Atualmente, a fibra de coco verde esta sendo introduzida no ramo da construção civil para produção de compósitos com diferentes matrizes como, por exemplo, a polimérica, cimentícia e o adobe com o objetivo de reforçar os materiais desenvolvidos. A facilidade de produção a baixa densidade e a alta disponibilidade são as principais vantagens apresentadas por essa fibra (PEREIRA, 2012).

- **Fibras de Sisal**

O sisal (*Agave sisalana*) é cultivado em regiões semi-áridas. Segundo Faruk *et al.*, (2012), é produzido no Brasil e leste da África. Entre os anos de 1998 - 2000 e 2010, a demanda global pela fibra de sisal e seus produtos apresentaram uma queda de 2,3 % na produção de sisal cultivado para fabricação de corda. Em nosso país os principais produtores são os estados da Paraíba e da Bahia, com a utilização principalmente da fibra das folhas que, após o beneficiamento, é destinada majoritariamente à indústria de cordoaria (e.g. cordas, cordéis, tapetes).

O sisal é uma das fibras vegetais mais extensamente utilizadas no mundo, sendo responsável por metade da produção total de fibras têxteis extraídas de folhas. Joseph *et al.*(1999) reportaram que já foram produzidos vários trabalhos científicos sobre os aspectos estruturais e propriedades das fibras de sisal que atestaram que estas fibras podem ser utilizadas em compósitos, na manufatura de chapas planas e corrugadas que, além de resistentes e baratas são resistentes à chama. Emergem estudos visando melhoramentos no rendimento e qualidade das fibras produzidas, bem como tratamentos superficiais para melhor adequá-las a determinadas aplicações.

No Brasil, na pesquisa acadêmica o sisal tem sido estudado mais comumente como reforço de fibrocimentos. Mundialmente, estes compósitos

cimentícios com reforço de fibras de sisal fazem parte de diversos trabalhos científicos. A USP – Universidade de São Paulo, através de pesquisadores da Escola Politécnica e da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos de Pirassununga, há alguns anos desenvolvem várias pesquisas a respeito da manufatura, aplicação e desempenho de telhas de fibrocimento com sisal (SAVASTANO JR., 1992; SAVASTANO JR., 2011). Coutts e Warden (1992) na Austrália atentaram para o fato de que apesar do estudo de sisal em cimento e argamassas ser bastante amplo, há poucas informações técnicas a respeito da utilização do reforço em forma de polpa, ou pasta, celulósica destes materiais, o que demonstra o quanto está se desenvolvendo o estudo desta fibra.

- **Principais tipos de fibras da Amazônia**

A Floresta Amazônica coloca o Brasil no centro das principais discussões de políticas de manutenção e desenvolvimento sustentável. Devido à gigantesca biodiversidade de plantas lenhosas e fibrosas, pesquisas têm explorado de forma sustentável o potencial de fibras vegetais naturais para a fabricação de polímeros. As Fibras da Amazônia são comumente classificadas de acordo com seu potencial econômico, cuja descrição sucinta segue:

- **Piaçava (*Attalea funifera*)**

Piaçava (Bahia) ou piaçaba (Amazônia) é o nome comum de uma espécie de palmeira nativa dos estados brasileiros. Seu nome tem origem na língua tupi, significando "planta fibrosa", devido ao seu caule característico. Possui estipe liso e cilíndrico, desde subterrâneo até 15 m, folhas eretas, verde-escuras, com pecíolo longo, e frutos comestíveis. A fibra dura e flexível é extraída das margens dos pecíolos e utilizada na confecção de vassouras e escovas. Suas sementes, por sua vez, fornecem marfim-vegetal. Também é conhecida pelos nomes de coqueiro-piaçaba, japeraçaba, pau-piaçaba, piaçabeira, piaçaveira e vai-tudo. (SATYANARAYANA *et al.*, 2007).

- **Ráfia (*Raphis excelsa*)**

Dentre as palmeiras utilizadas em paisagem, destaca-se a palmeira-ráfia, da família Arecaceae (Palmae) muito utilizada em todo o Brasil. Onde, ráfia é o nome dado às fibras de palmeiras do gênero *Raphia*, comumente usadas para fabricação de sacos para transporte de frutas ou pequenas cargas. Existe também um composto sintético de polipropileno que imita a fibra da ráfia e é também assim denominado (LORENZI, 1996).

- **Buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.)**

O termo **buriti** é a designação comum à plantas dos gêneros *Mauritia*, *Mauritiella*, *Trithrinax* e *Astrocaryum*, da família das Arecaceas (antigas palmáceas). Contudo o termo pode referir ainda à *Mauritia flexuosa*, uma palmeira muito alta, nativa de Trinidad e Tobago e das Regiões Centro e Norte da América do Sul, Venezuela e Brasil, predominantemente nos estados da região norte, em especial no Amazonas, Pará, Maranhão, Roraima e Rondônia, mas também se encontra nos estados do Piauí, Ceará, Bahia, Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Minas Gerais, Mato Grosso, Acre, Rio de Janeiro e São Paulo.

Seu fruto é uma fonte de alimento privilegiado. Rico em vitamina A, B e C, ainda fornece cálcio, ferro e proteínas. Consumido tradicionalmente ao natural, o fruto do buriti também pode ser transformado em doces, sucos, picolés, licores, sobremesas de paladares peculiares e na alimentação de animais. Além de fornecer palmito, fécula e madeira. O óleo extraído da fruta é rico em caroteno e tem valor medicinal para os povos tradicionais do Cerrado que o utilizam como vermífugo, cicatrizante e energético natural; também é utilizado para amaciar e envernizar couro, aroma e qualidade a diversos produtos de beleza, como cremes, xampus, filtro solar e sabonetes.

As folhas geram fibras usadas no artesanato, tais como bolsas, tapetes, toalhas de mesa, brinquedos, bijuterias, redes, cobertura de tetos e cordas. Os

talos das folhas servem para a fabricação de móveis. Além de serem leves, as mobílias feitas com o buriti são resistentes e muito bonitas. As folhas jovens também produzem uma fibra muito fina, a “seda” do buriti, usada pelos artesãos na fabricação de peças feitas com o capim-dourado.

- **Curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith)**

O curauá (*Ananas erectifolius* L. B. Smith) é uma planta fibrosa nativa da Amazônia Paraense, sendo responsável pela produção da fibra vegetal mais resistente dos últimos anos em todo o mundo. O uso da fibra do curauá alcança as atividades domésticas, na fabricação de redes e linhas de pescar, cordas e arreios e a mucilagem (localmente conhecida como bagaço) também é utilizada na alimentação animal. Devido sua importância econômica pela utilização das fibras de alta resistência tornou-a bastante visada pela indústria têxtil, automotiva e de celulose (ZAH *et al.*,2006).

- **Aninga (*Montrichardia linifera* Schott)**

A aninga ou aninga assú (*Montrichardia linifera* Schott) ou aninga uba (*Montrichardia arborensces* Schott), planta de caule grosso, inerte ou pseudo-aculeado (protuberância com forma de acúleos), podendo atingir até 4 metros de altura, possui folhas longas pecioladas, sagitadas, com limbo de 20 a 30 cm de comprimento, flores dispostas em numerosos bagos de 1 cm ou mais de diâmetro.

Utilizada em cordoalha e na fabricação de papel escuro (por não ser suficientemente branqueado). A raiz desidratada e reduzida a pó, é diurética e anti-hidrópica, recomendada também contra mordedura de cobras; as folhas são anti-reumáticas (CORRÊA,1984). Como a fibra da aninga localiza-se no caule, e este por ser muito rígido, torna-se praticamente inviável a extração mecânica das suas fibras para fins industriais.

2.5 ESTRUTURAS DAS FIBRAS

As fibras vegetais são basicamente constituídas de celulose, hemicelulose, lignina, além de pequenas quantidades de pectina, sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas, corantes naturais, que são incluídos no que se denomina de fração de solúveis.

A celulose é o componente principal de todas as fibras vegetal e principal responsável pela sua resistência mecânica. É constituída de unidades de anidro-D-glicose ($C_6H_{10}O_5$), que unidas formam uma cadeia molecular. A celulose pode ser descrita como um polímero linear com uma estrutura de cadeia uniforme (FENGEL WEGENER, 1989). Cada unidade de anidro-D-glicose contém três grupos hidroxila (-OH). Estas hidroxilas formam ligações de hidrogênio dentro da molécula (intramolecular) e entre moléculas de celulose (intermolecular). A cristalinidade da celulose deve-se principalmente às ligações de hidrogênio intermoleculares.

Devido às ligações de hidrogênio, as fibras vegetais são de natureza hidrófila. Este é o maior problema das fibras vegetais, se usadas como reforço em compósitos poliméricos, pois são incompatíveis com a maioria dos polímeros, que são hidrofóbicos. Sua natureza hidrófila influencia todas as propriedades mecânicas e físicas, tanto das fibras como dos compósitos. Por outro lado, sua natureza rica em hidroxilas sugere que elas são particularmente úteis em sistemas termorrígidos, como o poliuretano.

As moléculas de celulose se ordenam por terem forte tendência para formar pontes de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares. Dentro da estrutura molecular da celulose têm-se três grupos de hidroxilas em cada unidade de glicose. Em cada uma destas há duas ligações intermoleculares por ponte de hidrogênio e o terceiro grupo hidroxila possui uma ligação covalente com uma unidade de glicose, fazendo com que a estrutura por pontes de hidrogênio e o peso molecular do mero em questão promova forças intermoleculares significativas entre as cadeias. Isto por sua vez gera alta rigidez e cristalinidade no

polímero, prevenindo a fusão e dissolução abaixo de sua temperatura de decomposição (JASTRZEBSKI, 1987).

A hemicelulose é uma variedade de moléculas complexas, amorfas e de unidades: β -D-xilose, β -D-manose, β -D-glicose, α -L-arabinose, α -D-galactose, ácido 18 β -D-glicurônico ou ácido α -D-4, O-metilglicurônico. Essas unidades são formadas por cadeias de carbono, com um grupo hidroxila ligado a cada átomo de carbono, exceto aqueles que podem estar na forma de carbonila ou em ligação hemiacetal. Tanto os grupos hidroxila quanto carbonila, são hidrofílicos, absorvem água, o que favorece a solubilidade de hemicelulose (PEREIRA *et al.*, 2002). A lignina é uma macromolécula formada por um sistema aromático, muito reticulado de elevado peso molecular, amorfo, composto de unidades fenilpropano. A Pectina consiste em cadeia linear de unidades de α -D-ácidos galacturônicos, com graus variáveis de éster metílico. Na **Figura 2.7** está esquematizada a estrutura química da célula vegetal.

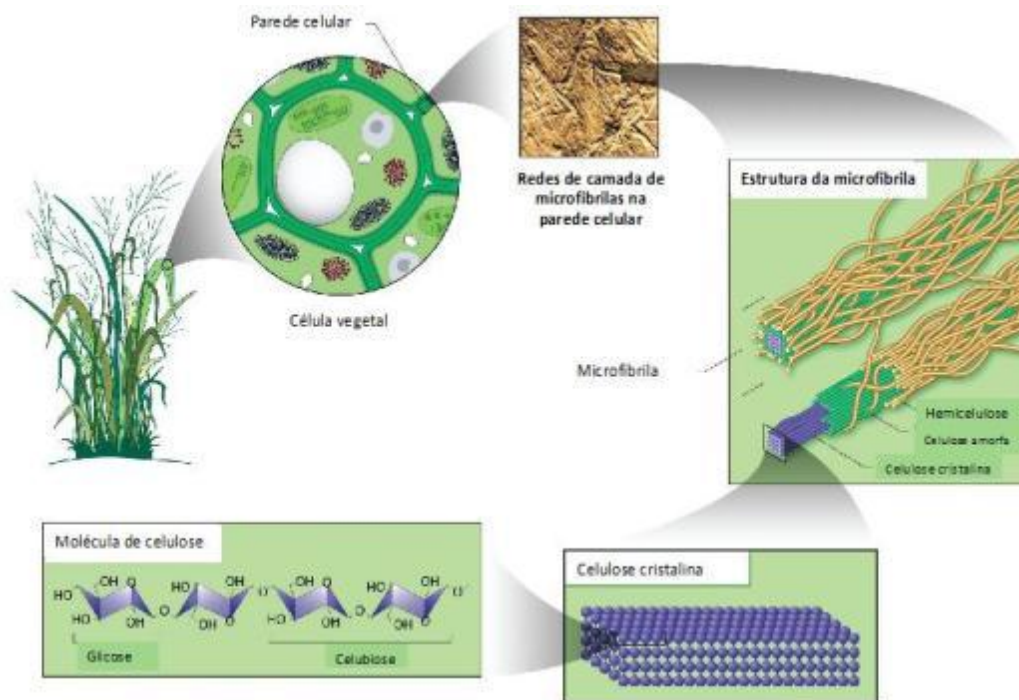


Figura 2.7. Estrutura química de constituintes de fibras vegetais: Fonte. Office of Biological and Environmental Research of the U.S. Department of Energy Office of Science. science.energy.gov/br

2.5.1 Caracterização anatômica das fibras

Anatomicamente as “fibras” são células vegetais esclerenquimatosas de forma tipicamente parenquimatosa, isto é, apresentam comprimento excessivamente maior que a largura (JONES, 1999), estes comprimentos são muito variados. Fibras de lenho de coníferas podem chegar a 5 mm e das dicotiledôneas não ultrapassam 1,5 mm. Essa classificação anatômica de fibra doravante será tratada como fibra-celular. Comercialmente, as fibras são os filamentos constituídos de feixes de fibras-celulares. As fibras-celulares individuais são unidas entre si e com as partes vizinhas da planta por pectina. A Figura 2.8 apresenta uma representação esquemática das fibras vegetais.

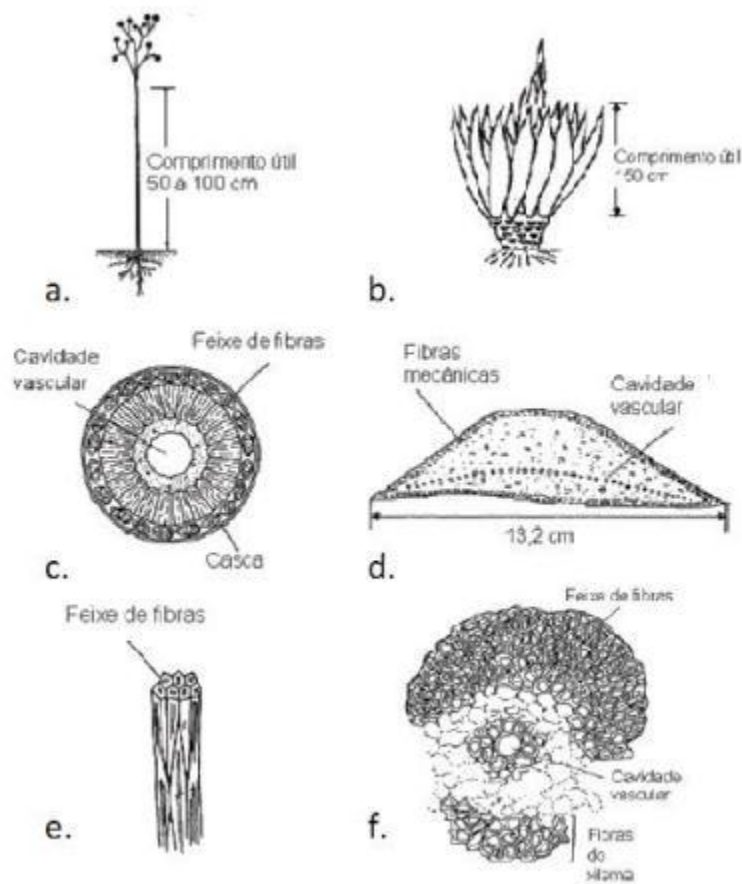


Figura 2.8. Representação genérica de fibras vegetais: (a) Algodão; (b) Sisal; Corte transversal (c) Talo de algodão; (d) Folha do sisal; Feixe de fibras-celulares; (e) Algodão (f) Sisal. Fonte: LI, Y. *et al.*, (2000)

As paredes são constituídas de camadas formadas por feixes de microfibrilas que crescem no vegetal em forma de espiral, com diferentes orientações angulares. O principal componente das microfibrilas é a celulose, e estas microfibrilas estão interligadas por uma rede de moléculas de hemicelulose. A rede celulose-hemicelulose é permeada por pectinas. As microfibrilas são compostas por micelas as quais são cristais de moléculas de celulose na ordem de Angstroms, ordenadas paralelamente em diferentes estruturas alotrópicas. A **Figura 2.9** esquematiza os feixes de microfibrilas, miscelas e uma estrutura cristalina de celulose.

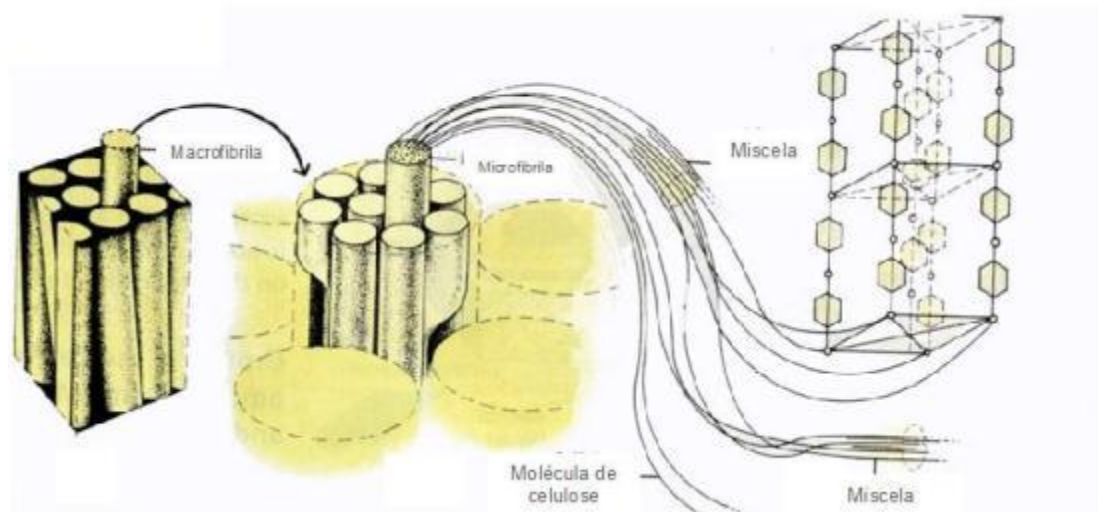


Figura 2.9. Microfibrila constituída de porções cristalinas: as micelas Fonte: <http://www.plantbiology.siu.edu/PLB400/images/Cellulose.jpg>

Cada fibra elementar é, em essência, um compósito no qual as rígidas microfibrilas de celulose estão envolvidas por uma matriz de lignina e hemicelulose. A lignina atua como material de cimentação, unindo as microfibrilas e a hemicelulose como interface entre a microfibrila de celulose e a lignina.

Cada fibra-celular individual tem estrutura complexa formada por paredes celulares que circundam o lúmen. Essas paredes recebem denominações sucessivas da parte externa para interna: primária, secundária, e assim por diante.

A **Figura 2.10** é representativa de uma fibra-celular, a qual pode conter regiões de seção transversal circular, oval ou achatada.

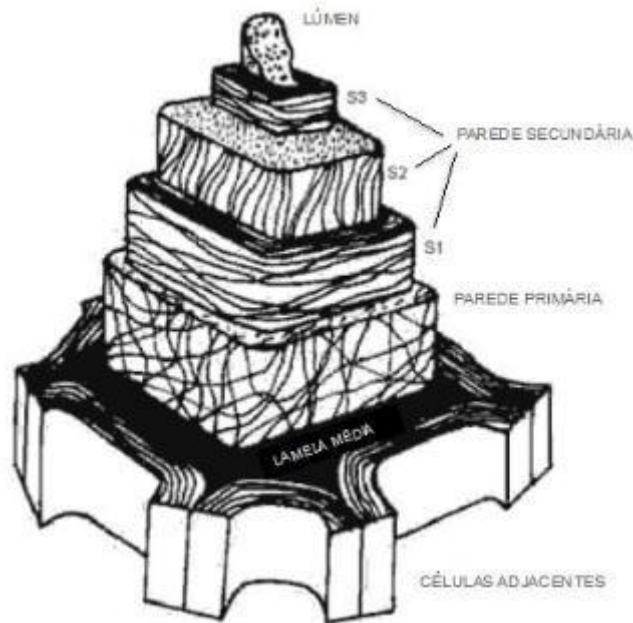


Figura 2.10. Representação de uma fibra-celular Fonte. Klock (2005)

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, hemicelulose (ou polioses) e lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água. A composição química varia ligeiramente de acordo com a região de cultivo, tipo de solo e condições climáticas.

As hemiceluloses são constituídas por diferentes unidades de açúcares sendo solúveis em álcalis. Os principais açúcares são as pentoses, hexoses, 6-desoxi-hexoses e os ácidos urônicos. O seu grau de polimerização é de 10 a 100 vezes menor que o da celulose (JOSEPH *et al.*, 2000).

A lignina possui uma estrutura complexa com constituintes alifáticos e aromáticos. É uma substância hidrofóbica, amorfa encontrada nas paredes celulares das plantas, impregnada principalmente nas camadas próximas à

superfície e cuja função é conferir rigidez à parede celular. A composição de algumas fibras é apresentada na **Tabela 2.4**.

Tabela 2.4. Composição química de algumas fibras vegetais (% em peso).

Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Bagaço de cana	52,2	16,8	25,3
Bambu	26-43	30	21-31
Juta	61-71	14-20	12-13
Curauá	73,6	9,9	7,5
Kenaf	72	20,3	9
Sisal	65	12	9,9
Coco	32-43	0,15-0,25	40-45

Fonte: Faruk *et al.*, (2012)

2.6 TRATAMENTO DAS FIBRAS

Os tratamentos convencionalmente realizados na superfície das fibras vegetais visam diminuir a higroscopicidade destas e/ou aumentar a capacidade de interação das fibras com a resina, o que pode influenciar nas características finais do compósito particulado.

Vários métodos podem ser utilizados para melhorar a adesão fibra/resina. Atualmente, esta etapa é considerada de extrema importância no desenvolvimento destes materiais. Os métodos de modificação superficial podem ser físicos, químicos, biológicos e, de acordo com o modo com que é modificada a superfície da fibra. Exemplo de métodos amplamente utilizados são os processos químicos, denominados alcalino e acetilação, bem como os processos biológicos (mercerização espontânea, mercerização induzida e, dentre outros).

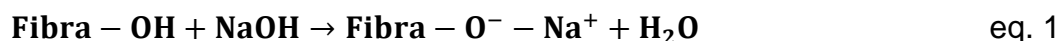
2.6.1 Processo Alcalino

O processo de mercerização alcalino e também chamado de mercerização é um método comum de produzir fibras de alta qualidade. Neste processo as

fibras são tratadas quimicamente para remover lignina, pectina, substâncias cerosas, e óleos naturais que cobrem a superfície externa da parede celular da fibra. Isto mostra as fibrilas, e proporciona uma superfície áspera da topografia da fibra. O hidróxido de sódio (NaOH), é o mais comumente usado quimicamente para branqueamento e / ou limpeza da superfície das fibras vegetais. Também muda a fina estrutura da celulose nativa I para celulose II, um processo conhecido como alcalino (MWAIKAMBO e ANSELL, 2002).

O tratamento alcalino é um dos mais antigos métodos para a modificação das fibras vegetais, que visa limpar a superfície das fibras de ceras e graxas provenientes possivelmente do manuseio e manufatura das fibras, além de remover parcialmente a hemicelulose e a lignina, principalmente a hemicelulose que é solúvel em baixíssimas concentrações de álcali. O principal efeito do tratamento alcalino é a desfibrilação, ou seja, quebra dos feixes de fibras em fibras menores (KALIA *et al.*, 2009).

O processo alcalino consiste em um tratamento das fibras com solução de NaOH, que provoca uma diminuição no grau de agregação das fibras, levando a uma melhor interação na interface fibra/resina. A equação 1 a seguir demonstra como o componente reage sobre a fibra, proposto por Gassan (1999):



Como o grupo hidroxila é um ácido fraco, a reação ácido-base deve ocorrer em pequena extensão e a desagregação das fibras pode ocorrer devido ao rompimento de ligações de hidrogênio entre cadeias celulósicas vizinhas, além de o tratamento alcalino exercer influência sobre as polioses e lignina (GASSAN, 1999).

O comportamento das fibras vegetais submetidas ao processo alcalino depende primariamente das condições dos tratamentos (concentração, tempo e temperatura). Segundo Ray *et al.*,(2002) tratamentos mais severos podem propiciar uma maior desfibrilação, comprometendo a eficiência das fibras num reforço dos compósitos.

De um modo geral o tratamento alcalino causa inchaço nas fibras vegetais e remoção parcial da hemicelulose e da lignina, o que promove um melhor empacotamento das cadeias de celulose, que são responsáveis pela cristalinidade da fibra (BLEDZK e GASSAN, 1999). O tratamento alcalino causa aumento de cristalinidade e aumenta a relação comprimento/diâmetro, remove impurezas naturais e artificiais da superfície e densidade das fibras (PAIVA e FROLLINI, 1999). Com isso, leva ao desenvolvimento de uma superfície topograficamente mais rugosa que resulta em melhor adesão interfacial e um acréscimo nas propriedades mecânicas (MWAIKAMBO e ANSELL, 2002). Além disso, o tratamento alcalino proporciona decréscimo no ângulo espiral e aumento na orientação molecular (BLEDZKI e GASSAN, 1999), como também, aumenta o número de sítios reativos e permite melhor molhamento das fibras (KALIA *et al.*, 2009).

O efeito do tratamento alcalino em relação às propriedades mecânicas está relacionado ao aumento da resistência à tração e do módulo de elasticidade e redução do alongamento, estando este comportamento geralmente associado ao aumento de cristalinidade (SILVA *et al.*, 2006).

Sreenivasan *et al.*, (1996), observaram aumento da resistência à tração e diminuição do alongamento de fibras de coco submetidas a diferentes condições de tratamento alcalino. No trabalho de Ray *et al.*, (2002) as fibras de juta foram tratadas com NaOH 5% . Após o tratamento ocorreu a desfibrilação e redução da densidade das fibras, aumentando a resistência à tração e módulo de elasticidade, e diminuição de alongamento.

Lopes *et al.*, (2010) determinou a influência do tratamento químico de acetilação na modificação das propriedades físicas e mecânicas das fibras de curauá. O tratamento modificou a estrutura química das fibras de curauá pela substituição de grupos químicos hidrofóbicos, evidenciado pela deposição do acetato à celulose na fibra.

Mota (2005) realizou estudos na área e comprovou que as modificações na superfície das fibras alteram propriedades como aderência e absorção de umidade, e as modificações dos constituintes estruturais alteram propriedades de equilíbrio, tais como a instabilidade dimensional com a variação de umidade.

2.6.2 Maceração biológica espontânea

No processo de maceração biológica espontânea predominam inicialmente os microorganismos aeróbios, pois a água de mercerização contém oxigênio dissolvido e nutrientes. As leveduras oxidativas e fungos emboloradores bolores poderão então se desenvolver na superfície.

Com o aumento do oxigênio dissolvido pelos germes aeróbios, formam-se então condições favoráveis para os anaeróbios, que iniciam seu crescimento (FARIA, 1993). As matérias pécticas podem sofrer hidrólise enzimática, por microorganismos resultando num processo de liberação das fibras, indicando quando as fibras se apresentam soltas, mas ainda resistentes à ruptura, (ROSEMBERG, J.A., 1975).

2.6.3 Maceração biológica induzida

No processo de mercerização não espontâneo as fibras são introduzidas nos tanques de cultura-inóculo ou enzimas que atuam como catalisadores das reações de decomposição das substâncias pécticas, liberando as fibras, obtendo-se normalmente resultados satisfatórios.

A adição de cultura-inóculo tem por base os ciclos de crescimento dos microrganismos (BORZANI *et al.*, 1975). A curva de crescimento dos microrganismos apresenta geralmente uma fase inicial de latência na qual as culturas ficam estáveis e começam a se multiplicar. Esta fase pode ser curta ou longa, dependendo dos microrganismos, do meio e das condições empregadas, e da adaptação dos microrganismos ao meio. Para torná-la curta pode-se fazer a inoculação de uma cultura já em atividade, para se passar à fase seguinte de acelerada multiplicação dos microrganismos (CALIL *et al.*, 2006).

2.7 PAINÉIS PARTICULADOS DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

A intensificação da demanda por materiais renováveis, onde o aumento da população e o padrão de consumo contribuem para o esgotamento dos recursos naturais do planeta, notadamente as florestas nativas, impute ao reflorestamento um papel crucial para a diminuição do desmatamento e, no Brasil, as árvores das espécies de *Pinus sp* e *Eucalyptus sp.* são as mais utilizadas para esta finalidade (MANHÃES, 2008), e também as mais utilizadas na indústria de painéis de fibra e partículas.

Segundo Bertolini *et al.*, (2013), o progresso tecnológico do setor madeireiro aliado a disponibilidade de florestas plantadas possibilitou uma série de alternativas para o uso do recurso florestal madeira dentre elas a produção de painéis. Os painéis particulados são definidos como um produto fabricado a partir de materiais lignocelulósicos, principalmente na forma de partículas discretas, combinado com uma resina sintética ou outro aglomerante adequado e ligados em conjunto sob calor e pressão. A principal diferença entre aglomerado e outros produtos reconstituídos de madeira, tais como: *Waferboard*, *Oriented Strand Board* (OSB), e os *Medium Density Fiber* (MDF) são os materiais ou granulometria das partículas utilizados na sua produção (EPA, 2002).

Diversos autores conceituaram os painéis aglomerados denominados *Medium Density Particleboard* (MDP), conforme Iwaikiri (2005), Maloney (1977) e Moslemi (1974) como painéis produzidos com partículas de madeira, incorporando-se resinas sintéticas ou outros adesivos consolidados por meio de um processo de prensagem aplicando-se temperatura e pressão.

A norma técnica NBR 14810 (2006) - chapas de madeira aglomerada conceitua as chapas de aglomerado da seguinte forma: Produto em forma de painel, conhecido como MDP (*Medium Density Particleboard*), ou PPMD (Painel de Partículas de Média Densidade) variando entre 3 a 50 mm de espessura, e são constituídos por partículas de madeira aglomeradas, resinas naturais ou sintéticas e termofixas, cuja mistura é submetida a pressão e ao calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação podem ser ainda incorporados aditivos para prover painéis com características especiais.

Os painéis MDP, de acordo com o projeto de norma ABNT 31: 000.18 –2 Painéis de partículas de média densidade, são classificados pela aplicação e condição de uso (ABIPA, 2013):

- P2- Painéis para uso interno em uso em condições secas;
- P3- Painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- P4- Painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- P6- Painéis estruturais para uso em condições severas de carga em condições secas;
- P7- Painéis estruturas para uso em condições severas de carga, em condições úmidas.

Os painéis de madeira são amplamente utilizados na indústria moveleira e marcenaria, na produção de produtos comerciais, tais como portas, laterais e fundos de armários e gavetas, divisórias, tampos, barra e cabeceira de cama, estrutura de mesa e prateleira, painel divisório, display, gôndola, artesanato em geral e revestimentos de parede. Na construção civil é utilizado para fabricação de pisos, rodapés, almofadas. Além dessas aplicações, os painéis de madeira são usados como revestimentos de paredes e divisórias, tanto em ambientes internos como externos, garantindo uma estética diferenciada ao local (ABIPA 2013). Em razão da sua importância comercial, os painéis são classificados de acordo com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NMC), segundo a Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Classificação dos painéis pela Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM 2012).

Código NCM	Descrição do produto	Unidade de medida
44111100	Painéis de fibras de madeira. Densidade > 0,8 g/cm ³	m ³
44112100	Painéis de fibras de madeira 0.5 < Densidade ≤ 0.8 g/cm ³	m ³
44113100	Painéis de fibras madeira 0.35 < Densidade ≤ 0.5 g/cm ³	m ³
44101100	Painéis de madeira denominados waferboard, OSB	m ³
44183000	Painéis de madeira, para assoalhos	m ²
44109000	Painéis de outros materiais lenhosos	m ³
68080000	Painéis e semelhantes de fibra vegetal/palha aglomerados, cimento etc.	kg

O entendimento global das tendências de desenvolvimento desde a década de 1970 até o presente é válido para prever as necessidades futuras e estratégias. Nesse aspecto, Borges (2008) cita pontos relevantes do histórico de desenvolvimento dos painéis de madeira, através das diferentes décadas, sendo que a:

1ª fase, referente à década de 1970: linhas de prensagem mono e multi-pratos, baixa capacidade de produção, produção não padronizada e com múltiplas normas (*British Standards* - BS, *Deutsches Institut für Normung* - DIN, *Association Française de Normalisation* – AFNOR e *International Organization for Standardization* - ISO), surgimento do painel chamado *Oriented Strand Board* (OSB) em 1979 e emissão de formaldeído elevada e não controlada, em média de 70 - 80 mg/100g.

2ª fase, referente à década de 1980: primeiras prensas contínuas; aumento da capacidade de produção das linhas; aumento de produção de MDF na Europa; redução progressiva das emissões de formaldeído para 20 - 40 mg/100g.

3ª fase, referente à década de 1990: início da produção de painéis MDF no Brasil em 1997; prensas contínuas cada vez maiores; grandes produtores europeus criam unidades produtivas com confecção de vários produtos no mesmo local (MDP, MDF, OSB); aumento da utilização do OSB na Europa e EUA; forte incorporação de resíduos na confecção do MDP; aumento da produtividade por redução dos ciclos de prensagem; no compensado melhoria do uso da madeira por otimização da desenrolagem.

Na década de 1990 iniciou-se, com ênfase na Europa, uma efetiva utilização de resíduos na fabricação dos painéis MDP, tendência a ser seguida no Brasil pela disponibilidade de insumos agrícolas. A redução da emissão de formaldeído, a reciclagem dos painéis, aplicação de resinas de recursos renováveis, otimização das 3 F's (*Fiber, Food, Fuel*) são os desafios apresentados para o país (BORGES, 2008). Atualmente, as classes de emissão são definidas em E1 (< 8 mg/100g) e E2 (8 – 30 mg/100g).

Fase atual: no Brasil aceleração da expansão da capacidade instalada, aumento da oferta de painéis laminados do tipo baixa pressão (BP), alta emissão de formaldeído quando comparada com Europa e EUA; desfavorecimento do

painel compensado devido à forte dependência dos EUA e pouca diversificação de produtos. Nos EUA forte redução das emissões dos painéis através de normatizações da *California Air Resource Board* (CARB) e aumento da concorrência da China. Na Europa, a falta de estoque de madeira em alguns países.

2.7.1 Painéis de fibras de média densidade (MDF)

A indústria de painéis de fibra teve início de desenvolvimento no começo do século 20 na Inglaterra e nos Estados Unidos da América (EUA), porém em 1932, na Alemanha que ocorreu a primeira linha produtora. A indústria de painéis de fibra é relativamente nova, mas com rápido crescimento, podendo utilizar resíduos agrícolas na confecção dos painéis (KOLLMANN *et al.*, 1975).

As razões para o desenvolvimento deste painel foram: tecnologia inovadora, a não geração de efluentes (ecologicamente correto) e a alternativa para a indústria de chipboard (ou aglomerado), que começou a expandir-se em outros países no mesmo período. No Brasil, o MDF teve início de produção em 1997 na cidade de Agudos-SP, na última década, tem apresentado em conjunto com o painel MDP, tendência internacional de substituição à madeira nativa na indústria moveleira (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da Norma Técnica Brasileira (NBR) 15316-1 (2006a), os painéis de fibra de média densidade são confeccionados quando o colchão de fibras, na linha de formação, encontra-se com teor de umidade abaixo de 20% e a densidade do painel é maior ou igual 450 kg m⁻³. Estes painéis são produzidos sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético sendo classificados, para fins mercadológicos, em: (i) HDF (*High Density Fiberboard*): densidade = 800 kg m⁻³; (ii) Standard: densidade = 650 e = 800 kg m⁻³; (iii) Light: densidade = 650 kg m⁻³ e (iv) Ultra Light: densidade = 550 kg m⁻³.

O histórico da evolução da utilização de madeira de pinus e de eucalipto na produção de painéis MDF no Brasil revela que o período de 1997-2002 foi caracterizado pelo uso exclusivo da madeira de pinus; de 2003-2006, em 17% da produção utilizou-se a madeira de eucalipto; a partir de 2006, aumentou para 23% da produção, com tendência crescente de participação na produção nacional de deste tipo de painel reconstituído (BELINI, 2007).

- **Importância dos constituintes celulares na confecção de painéis de fibra**

Segundo Tomazello Filho (2002), o conhecimento das células e/ou tecidos que formam o lenho das espécies arbóreas é básico para a caracterização da estrutura anatômica e possibilitam estabelecer correlações com propriedades físico-mecânicas e utilização da madeira. As características anatômicas, relacionadas a estrutura celular, bem como às características químicas, constituem-se de índice de qualidade (ou grau de excelência em relação a determinado uso e são importantes na caracterização tecnológica das espécies da madeira auxiliando na qualificação da atividade industrial (HAYGREEN e BOWYER, 1982; TOMAZELLO FILHO, 2009). Não há dúvidas que as propriedades dos painéis MDF dependem do comprimento e da espessura da parede das fibras e traqueídes (KOLLMANN *et al.*, 1975).

Para Chand *et al.*, (1988) e Savastano Jr. (2003) a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras são inversamente proporcionais ao ângulo das microfibrilas, enquanto o alongamento máximo de ruptura aumenta com o ângulo. Enquanto, Kelsey (1963) e Barber e Neyla (1964), mostraram que o ângulo microfibrilar da camada S2 exerce um profundo efeito sobre as propriedades elásticas e estabilidade dimensional da madeira.

Belini (2007) avaliou o comprimento das fibras de *E. grandis* de três condições de desfibramento para confecção de painéis MDF, obtendo valores de

920-1000 μm , similares aos apresentados para as fibras da espécie por Alzate (2004) e Rocha *et al.*, (2004). O comprimento médio dos componentes celulares e, principalmente das fibras, constitui-se em importante parâmetro anatômico da madeira no processo de confecção e na qualidade final de painéis MDF, sendo relacionado com as condições do desfibramento (BELINI *et al.*, 2008).

Amostras de painéis MDF confeccionados com *P. radiata*, em ensaio de tração perpendicular para a determinação da resistência à ligação interna, evidenciaram sob microscopia eletrônica de varredura (MEV) a ruptura da parede das traqueídes nas camadas S1/S2 da parede secundária. Os autores (CHAPMAN e JORDAN, 2002) não indicaram se a ruptura é inerente à estrutura da parede das traqueídes ou do efeito do desfibramento dos cavacos de madeira.

Segundo Pranda (1995) os painéis MDF de madeira de *E. globulus* requereram maior quantidade de adesivos para propriedades mecânicas similares às dos painéis de *Pinus pinaster*. O inchamento e a absorção do painel MDF de eucalipto foram superiores aos do pinus, pela maior porcentagem de finos e a maior área superficial específica das fibras de eucalipto.

A redução da porcentagem de fibras longas não afetam as propriedades físicas dos painéis MDF e resulta em superfície mais lisa e compactada (RODARMEL, 1995). Xing *et al.*,(2004) afirma que a morfologia e a estrutura das fibras são importantes nas propriedades dos painéis, com a área superficial específica das fibras influenciando na distribuição da resina e, em consequência, nas propriedades dos painéis.

A caracterização anatômica das fibras de *Bambusa vulgaris*, referentes as suas dimensões, relações entre elas e ângulo de microfibrila, além da espessura da parede, forneceu subsídios para o aproveitamento desta espécie como compósito polimérico (GUIMARÃES *et al.*, 2010).

2.7.2 Painéis de partículas de média densidade (aglomerado ou MDP)

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha, no início da década de 40, visando à utilização de resíduos madeireiros devido a dificuldade do país em obter madeira de boa qualidade em decorrência da 2ª guerra mundial (IWAKIRI *et al.*, 2005). No Brasil, o início de sua produção foi verificado em 1966 na cidade de Curitiba – PR e, possivelmente em virtude de uso em locais não apropriados e na condição de um produto novo no mercado brasileiro, foi alvo de questionamentos quanto a limitações de qualidade.

No decorrer de seu desenvolvimento foram incorporadas novas tecnologias que, aliado a uma estratégia para aproximação do painel MDF, culminaram com a nova denominação de painel MDP, marca registrada da empresa Eucatex S.A., e sendo uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro.

O painel aglomerado (ou MDP) por ser fabricado à base de fibras vegetais naturais, o MDP também é classificado como compósito lignocelulósico que é composto por uma matriz de adesivo sintético ou natural e a fase de reforço com partículas de madeira, consolidado através da aplicação de calor e pressão e dando origem ao painel. O processo de fabricação dos painéis MDP em escala industrial da empresa Duratex é apresentado e resumido na Figura 2.11.



Figura 2.11. Organograma de fabricação em escala industrial de painéis MDP. Fonte Duratex (2013).

É um produto amplamente empregado na fabricação de móveis, em função de suas características tecnológicas, custo competitivo e escala de produção (IWAKIRI *et al.*, 2005) que o tornam o painel reconstituído de madeira mais utilizado no mundo (NASCIMENTO *et al.*, 2013). O Brasil é apenas o nono na lista dos maiores produtores com apenas 2% da produção mundial e encabeçada pelos Estados Unidos o crescimento na produção e consumo interno de painéis particulados com investimentos da ordem de US\$ 1,2 bilhão, para o período de 2010/2014, a capacidade instalada brasileira dará um salto de 9,1 milhões de m³ em 2010, para 10,9 milhões de m³, em 2014 (ABIPA, 2013).

2.8 PAINÉIS PARTICULADOS DE RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

O Brasil possui um grande potencial de recursos renováveis e potenciais. Segundo Mendes (2003) a utilização correta e adequada desses resíduos ajuda a minimizar impactos ambientais e energéticos, além de gerar produtos com relevantes aplicações na indústria dentre a grande diversidade de resíduos lignocelulósicos produzidos pela agroindústria brasileira destacam-se o sabugo de milho, bagaço de cana de açúcar, casca de (aveia, arroz, café, coco, mamona e amendoim), bambu, caules de bananeira e mandioca entre outros.

Nesse contexto têm sido realizadas pesquisas direcionadas à utilização de novas matérias primas para a confecção de compósitos particulados a base de resíduos lignocelulósicos. As propriedades físico-mecânicas de painéis particulados a base de resíduos agroindustriais são apresentados e suscintamente descrito na **Tabela 2.6**.

Tabela 2.6. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados a base de resíduos agroindustriais

Material usado	Espessura (mm)/No. De	Densidade (g/cm ³)	Tipo de resina (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	IE—24 h (%)
Bagaço (Youngquist et al., 1997)	12–20/–	0.52–0.63	UF (8)	1400–2000	16.7–25.5	–	–
Bagaço - milho (Youngquist et al., 1997)	–	0.72	–	3800	16.3	–	–
Kenaf / madeira (Grigoriou et al., 2000a)	16/3	0.7	UF (8–12)	–	17.1–29.58	0.67–1.03	18–26
Kenaf núcleo e chips de fibras (Grigoriou et al., 2000b)	12/1	0.68–0.74	UF (8–12)	–	12.88–30.62	0.31–1.3	23–41
Ramos de palma (Tâmara- Date palm). (Nemli et al., 2001)	20/3	0.65	UF (7–11)	–	14.16–18.94	0.35–0.83	7–18
Poda de árvores / Madeira (Ntalos e Grigoriou, 2002)	16/1	0.64–0.74	UF (8)	1048–2833	8–19.1	0.65–1.13	17–25
Poda de árvores / Madeira (Ntalos e Grigoriou, 2002)	16/3	0.68	UF (8–12)	1518–2798	10.9–18.9	0.7–0.84	12–16
Chips de coco (Papadopoulos et al., 2002)	17.5/1	0.72–0.76	EMDI (2–8)	–	10.58–20.9	0.38–1.21	7.1–36.8
Palha de trigo (Mo et al., 2003)	6.5/1	0.7	MDI (4)	2281	18.1	0.64	27.3
Palha de trigo (Mo et al., 2003)	6.5/1	0.7	UF (8)	1805	6.36	0.11	63.9
Palha de trigo (Mo et al., 2003)	6.5/1	0.7	SPI (10)	1334	5.26	0.12	122.2
Palha de trigo (Mo et al., 2003)	6.5/1	0.7	SF (15)	1518	5.08	0.10	160.6
Cotton talos (Guler e Ozen, 2004)	20/3	0.4–0.7	UF (6–12)	–	3.31–17.95	0.11–0.59	18–35
Núcleo Kenaf (Xu et al., 2004)	12/1	0.15–0.3	–	300	1.1–1.85	0.15	–
Bambu / madeira (Papadopoulos et al., 2004)	17.5/1	0.73–0.75	UF (10–14)	–	13.85–18.98	0.62–0.95	6.8–23.1
Talos de Girassol / madeira (Bektas et al., 2005)	20/3	0.7	UF (9–11)	1800–2963	15.65–25.3	0.46–0.69	17–25
Carpelo de algodão (Alma et al., 2005)	20/3	0.45–0.69	UF, MUF (9–11)	–	9.4–13.1	–	16–37
Farinha cascas de amendoim (Batalha et al., 2005)	–	0.69–1.04	PF	425–2600	1.7–14.06	–	2.7–5.27
Casca de aveia (C opur et al., 2007)	20/3	0.6–0.7	UF, MUF, PF (8–10)	–	7.7–12	0.33–0.5	16–29

Fonte. Karakus e Gutentin (2008)

As fibras vegetais da Amazônia têm sido alvo de inúmeras pesquisas para a elaboração de compósitos poliméricos com fibras vegetais (FAGURY, 2005; NOGUEIRA *et al.*, 2012 e FONSECA *et al.*, 2013).

a) **Caule da bananeira e pupunha:** o pseudo-caule da bananeira, após o corte do cacho de banana, têm sido utilizado como matéria-prima vegetal para a manufatura de produtos alternativos a madeira, denominados comercialmente de “bananaplac”. O pseudo-caule da pupunha tem sido utilizado na confecção de painel compensado, utilizado na fabricação de móveis e material de revestimento (laminados de fórmica, painéis de automóveis), de peças curvas de madeira (skate, snowboards, etc.) (JORNAL DO COMMERCIO, 2007).

b) **Compostos lignocelulósicos:** a agroindústria brasileira gera resíduos lignocelulósicos (bagaço de cana de açúcar, palha, sabugo de milho, juta, algodão, fibra de coco, caule de mandioca, casca de mamona, casca de arroz, casca de café e casca de amendoim) com potencial de aproveitamento na fabricação de novos materiais. Neste contexto, painéis de resíduos de embalagens cartonadas e plásticas foram confeccionados utilizando os resíduos lignocelulósicos (casca de amendoim e de arroz) como reforço, entre outros (OKINO *et al.*, (1997); ROWELL *et al.*, (2000); MENDES *et al.*, (2010)).

Para a confecção de compostos plástico-madeira há disponibilidade de tecnologia industrial, como a prensa da Pallmann (P-LINE, 2009), com zona de resfriamento na última etapa de prensagem e pesquisas indicam a viabilidade de utilização do bagaço da cana-de-açúcar em compósitos denominados plástico-bagaço (TAVALERA *et al.*, 2007).

c) **Bambu:** apresenta-se como matéria prima alternativa para a confecção de painéis pelo rápido crescimento e adaptabilidade. Os colmos de bambu podem ser utilizados para painéis laminados, contra-placados, painéis compensados (plyboo), painéis de partículas e aglomerado, OSB e MDF (MOIZEIS, 2007). Na Ásia, o bambu é aplicado na confecção de painéis MDF como base para pisos laminados. O bambu é importante na proteção dos solos e com elevada fixação de gás carbônico e, desta forma, apresenta elevado índice de sustentabilidade (TEIXEIRA, 2006).

Os protótipos dos painéis de vedação vertical indicam que os componentes construtivos agilizam os processos produtivos das habitações econômicas e podem ser utilizados em qualquer tipo de sistema construtivo, mesclados com concreto, madeira e alvenaria de blocos cerâmicos.

Painéis aglomerados (ou MDP) produzidos a partir de partículas de *Bambusa vulgaris*, aglutinados com 12% de resina ureia formol e densidade de

749 kg m⁻³, indicaram valores de módulo de ruptura (MOR) em 16,6 MPa e resistência à tração perpendicular em 0,79 MPa (PAPADOPOULOS *et al.*, 2004). Os autores também indicam que: (i) a combinação do uso de bambu com a matéria prima madeireira; (ii) o uso de sistemas alternativos de resina ou (iii) modificações químicas nos cavacos de bambu ou madeira podem ser interessantes frentes de investigações científicas.

Para Guimarães *et al.*,(2010), a fibra de *Bambusa vulgaris* mostrou-se adequada para utilização em compósitos poliméricos com ou sem adição de cargas minerais, passando ou não por tratamentos superficiais, de acordo com sua aplicabilidade.

d) **Raspa de couro**: resíduos de curtumes (serragem cromada, raspa de couro) considerados perigosos pela presença de cromo podem ser utilizados na confecção de placas para divisórias e forros, em regiões como a da cidade de Bocaina - SP, que produz 10 toneladas de raspa de couro/dia (RENÓFIO e FERREIRA, 2001).

e) **Painéis-sanduiche**: são confeccionados com madeiras alternativas e insumos não madeireiros e utilizados em edificações, notadamente para o fechamento vertical. Painéis feitos com madeira de reflorestamento aliam o desempenho ambiental com a rapidez da produção em canteiro, com grande flexibilidade em relação à associação de novos materiais (naturais ou sintéticos) com qualidade térmica, acústica e redução de peso e de dimensão. Para o fechamento vertical de edificações, desenvolvidos ou em desenvolvimento no Brasil, citam-se painéis OSB, painéis sanduiche de eucalipto, de bracatinga e estrutura de eucalipto, de madeira colada lateralmente, de cimento-madeira e de madeira-plástico (SANTOS e AGUILAR, 2007).

f) **Fibras de babaçu**: painéis aglomerados com misturas de até 30% de fibras de babaçu com traqueídes de *Pinus sp* apresentam propriedades mecânicas

similares. A região Nordeste do país, notadamente a Mata de Cocais no estado do Maranhão, apresenta potencial para a aplicação das fibras de babaçu, com produção de 1,5 milhões de toneladas por ano (LIMA A.M *et al.*, 2006).

g) **Painéis fibrocimento:** surgiram como elementos construtivos na Europa, no final dos anos setenta. O cimento transmite o esforço entre as partículas de madeira, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação apropriada; a madeira aumenta a resistência à tração e reduz a densidade e o custo. Os compósitos cimento-madeira apresentam baixa densidade em relação ao concreto, melhor desempenho às intempéries, fogo, fungos e insetos, em relação à madeira. Estudos são direcionados para determinar os percentuais de madeira e de cimento, efeito nas propriedades físico-mecânicas e aplicações (MATOSKI, 2007).

h) **Casca de arroz:** similar ao bagaço de cana-de-açúcar tem sido aplicado na queima para geração de energia, com pesquisas em argamassa de concreto na forma de cinzas e confecção de painéis com 100% fibras de arroz (FERREIRA *et al.*, 2007). A cascaria é disponível praticamente o ano todo e corresponde a 19-23% da produção nacional de arroz, sendo que em 2006 foram geradas 2,6 milhões de toneladas em casca (VALE e GENTIL, 2008). Sua cinza é apontada como resíduo agrícola brasileiro de maior atividade pozolânica. Já há desenvolvimento de novos processos visando otimização da queima e melhoria da qualidade das cinzas para utilização conjunta em produtos cimentícios (RODRIGUES, 2012).

i) **Açaí:** Fagury (2005) estudou as propriedades químicas, físicas e mecânicas das fibras do açaí, coco e juta como reforço em polímeros. Segundo a autora, as três fibras podem ser utilizadas em compósitos respeitando as características peculiares de cada fibra. Segundo Marconcini *et al.*, (2008), compósitos de poliolefinas recicladas com fibras do resíduo do açaí aumentou a resistência mecânica nos compósitos. Quirino (2010) fabricou painéis com a

fibra do açaí do Amazonas com adesivo à base de óleo de mamona encontrando resultados satisfatórios, para as propriedades físico-mecânicas avaliadas.

2.8.1 Propriedades tecnológicas de painéis MDP de resíduos vegetais

Algumas propriedades mecânicas dos painéis MDP, especialmente o módulo de elasticidade (MOE), o módulo de ruptura (MOR) e resistência à tração interna, são afetadas por muitas variáveis envolvidas no processo de produção, como a densidade e composição dos painéis, a dosagem de resina, a taxa de compressão, a dosagem de parafina e o tamanho das partículas (KELLY, 1977), bem como a razão de compactação (MENDES, 2010).

Para painéis MDP confeccionados com partículas de *H. cannabinus* L., aglutinados com 12% de resina ureia formol, com espessura de 12 mm e densidade de 730 kg m⁻³, Grigoriou *et al.*, (1986) verificaram valores de resistência à tração perpendicular em 0,39 MPa e valor de springback em 8,9%. Kubler (1980) indicou que, como os painéis de partículas de média densidade (MDP) e de fibras de mediana densidade MDF são produzidos com o controle da densidade e das propriedades, é difícil sua comparação qualitativa com painéis compensados e de madeira maciça, que são dependentes da qualidade e defeitos intrínsecos da madeira.

Painéis aglomerados confeccionados com 100% de bagaço de cana-de-açúcar - partículas retidas nas peneiras de abertura da malha de 2-3 mm - confeccionados com resinas à base de taninos e de resina uréia formaldeído (principal adesivo da indústria de painéis de fibras e de partículas) apresentaram “resistência moderada” ao ataque de fungos apodrecedores. Esses painéis são equivalentes aos de madeira (aglomerado normal), porém, a resistência ao ataque de fungos é menor, sendo classificados como “resistentes” (TEIXEIRA *et al.*, 1997).

Na literatura internacional verifica-se o termo “*bio-based composite panels*”, que pode ser entendido como painéis reconstituídos oriundos de resíduos biológicos, e tem aplicação ampla na avaliação de diversas matérias primas fibrosas agrícolas e florestais para confecção de painéis. Nesta linha de pesquisa, Shupe *et al.*, (2006) confeccionaram painéis de partículas e de fibras utilizando *Triadica sebifera syn*, espécie invasora do sudeste dos EUA, aglutinados com 8% de resina uréia formol, e verificaram valores de resistência à tração perpendicular em 0,33 N mm⁻² e 0,80 N mm⁻² para os painéis MDF e MDP, respectivamente. Também determinaram valores de MOR em 23,5 N mm⁻² para ambos os painéis e MOE em 2366 N mm⁻² e 3450 N mm⁻² para os painéis MDF e MDP, respectivamente, indicando viabilidade de utilização desta matéria prima alternativa.

Vários trabalhos foram desenvolvidos visando avaliar a viabilidade de uso de resíduos lignocelulósicos na produção de painéis de partículas, Barros Filho (2011) trabalhou com desenvolvimento e caracterização de chapas aglomeradas a base de cana-de-açúcar, gerado na usina de álcool e açúcar e o gerado no alambique, e resinas uréia-formaldeído e melamina-formaldeído. Comparando seus valores obtidos com a norma CS 236-66 de comercialização de painéis aglomerados de média densidade, os testes físicos atenderam a norma, já para os testes mecânicos não foram atendidos.

José e Beraldo (2006) utilizaram partículas de *Bambusa vulgaris* Schrad e como aglomerante resina poliuretana à base de óleo de mamona, com a finalidade de buscar sustentabilidade para o processo produtivo. Pelos resultados obtidos pode-se afirmar que a relação custo-benefício, tendo em vista que a resina é o material de maior custo econômico e ambiental na composição da chapa, torna-se mais viável a produção de chapas com 10% de resina, apesar das chapas com 15% de resina apresentarem valores médios superiores aos das chapas com 10% de resina, não apresentaram diferença estatística significativa.

A produção de painéis de partículas resíduos lignocelulósicos, é uma alternativa que proporciona agregar valor a esse subproduto, possibilitando atender à crescente demanda da indústria de painéis de madeira, além de contribuir com a diminuição do uso da madeira e conseqüentemente a pressão sobre as florestas, reduzindo custos de produção dos painéis, tornando-os mais competitivos no cenário econômico (MENDES *et al.*, 2010).

2.9 RESINAS PARA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS

Os adesivos são classificados por Olmos (1992) em dois grupos básicos:

i) Adesivos de origem natural – nesta categoria destacam-se aqueles de origem animal, amido, caseína, albumina de proteína vegetal, mamona e o tanino (extraídos de algumas espécies de vegetais: barbatimão, angico-preto, acácia, quebracho, dentre outras); ii) Adesivos de origem sintética – nesta categoria destacam-se a ureia-formaldeído, resorcinol-formaldeído, fenol-formaldeído, melanina e polivinil 28.

Em relação aos adesivos para fabricação de painéis comerciais, a resina à base de ureia-formaldeído e solução aquosa são utilizadas frequentemente em razão de seu baixo custo. Segundo Maloney (1996) e Pizzi (1994), devido à necessidade de se diminuir a emissão de formol, produto carcinogênico, proveniente nas resinas uréicas, foram desenvolvidos vários estudos que avaliaram a mistura com outras resinas, como, por exemplo, resina melamínica, a qual confere às chapas maior resistência à umidade.

No entanto, existe uma tendência mundial para o uso de produtos biodegradáveis, não poluentes e originados de insumos renováveis. De acordo com Araújo (1992), esta tendência fez avançar as pesquisas, levando à descoberta da resina poliuretana derivada do óleo de mamona, apresentada na formulação de bi componente.

Conhecida internacionalmente como “Castor Oil”, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das Euforbiáceas, da qual é extraído o óleo de mamona, também conhecido como óleo de rícino. Esta planta é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil. A partir do óleo de mamona torna-se possível sintetizar polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a um poliuretano. Esta mistura polioliol (à base de mamona) e pré-polímero, a frio, levam à reação de polimerização da mistura. Esta reação conduz à formação da poliuretana, sendo possível variar a porcentagem do polioliol, que definirá maior ou menor dureza ao produto final, bem como o emprego de catalisador adequado a fim de aumentar a velocidade da reação (JOSÉ e BERALDO, 2006).

O desenvolvimento dos poliuretanos derivados de óleo de mamona teve origem nos primeiros trabalhos propostos na década de 40. O óleo de mamona como já citado anteriormente é obtido da semente da planta “*Ricinus communis*”, que é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil. É um líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente (VILAR, 1993).

As resinas poliuretanas mostram grande versatilidade de aplicação, podendo ser utilizadas em diferentes segmentos industriais. Estas resinas podem ser obtidas com densidades que variam de 6 a 1.220 kg/m³, podendo se apresentar como um elastômero de alta flexibilidade ou de maior dureza, ou como um plástico de engenharia (WOODS, 1990).

As resinas poliuretano podem ser derivadas tanto do petróleo como de fontes naturais, e neste caso tem-se os chamados “biomonômeros” que podem ser obtidos de fontes renováveis, como os óleos vegetais. Estes óleos derivam de um número de vegetais, tais como, soja, milho, açafrão, girassol, canola, amendoim, oliva e mamona, entre outros (PETROVIC, 1999).

Nascimento (2006) avaliou a possibilidade de fabricação de painéis OSB com espécies de madeira da caatinga do Nordeste do Brasil e resina poliuretana bi componente de mamona. Os resultados do trabalho indicam a viabilidade de fabricação do referido produto, cujas propriedades mecânicas são equivalentes às das chapas OSB, fabricadas em escala industrial.

Silva (2006) verificou a eficiência de painéis de partículas longas e orientadas oriundas de bagaço de cana-de-açúcar com resina bi componente à base de mamona, afirmando que o painel fabricado apresentou desempenho similar ao OSB derivado da madeira, sendo extremamente viável, valendo ressaltar que foi utilizada toda matéria-prima do bagaço, sem seleção de partículas, caracterizando menor custo. Acrescenta dizendo que existe uma tendência de uso de resinas em temperaturas variando de 90°C a 130°C.

2.10 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS RECONSTITUÍDAS

O setor de painéis reconstituídos de madeira investiu cerca de US\$ 1,2 bilhões nos últimos anos, na instalação de novas unidades industriais, que proporcionarão um aumento da capacidade instalada de 8,5 milhões de m³ (base 2009) para 10,3 milhões de m³/ano em 2012, sendo 5,1 milhões de m³ de painéis MDP (*Medium Density Particleboard*) e 4,8 milhões de m³ de painéis de MDF (ABIPA, 2013).

A indústria de painéis de madeira caracteriza-se por ter baixas barreiras à entrada, dado que os valores de investimentos são relativamente baixos para os padrões de uma indústria intensiva em capital. Da mesma forma, não existem patentes que limitem a utilização de tecnologias de fabricação por um novo entrante, uma vez que o componente tecnológico se encontra nas máquinas e equipamentos necessários ao processo (ABIPA, 2013).

Quanto aos custos de produção, os principais insumos utilizados na fabricação dos painéis de madeira reconstituída são a madeira e as resinas. Como no processo de fabricação do MDF são utilizadas fibras de madeira e não partículas, como no MDP, consomem-se mais madeira e mais resina que no processo de fabricação do MDP. Em média, no Brasil, necessita-se de cerca de 30% mais estéreos 5 de madeira na fabricação do MDF do que na fabricação do MDP, o que se reflete, historicamente, em custos de produção do MDF cerca de 30% superiores aos custos de produção do MDP (ABIPA, 2013).

A indústria de painéis de madeira no Brasil se concentra no Sul e no Sudeste do País. Já está em curso, no entanto, um movimento de instalação dessas empresas – se não com unidades industriais, pelo menos como centros de distribuição – no Norte e, sobretudo, no Nordeste. O grupo paraense Concrem, por exemplo, inaugurou em 2010 em Paragominas, nordeste do Pará, a Floraplac MDF. A Duratex, com fábricas em São Paulo e em Minas Gerais, anunciou em abril a instalação de um centro de distribuição em Cabo de Santo Agostinho, em Pernambuco. A concentração das paineleiras no Sul e no Sudeste implantou a consolidação de polos moveleiros nas mesmas regiões (**Figura 2.12**).

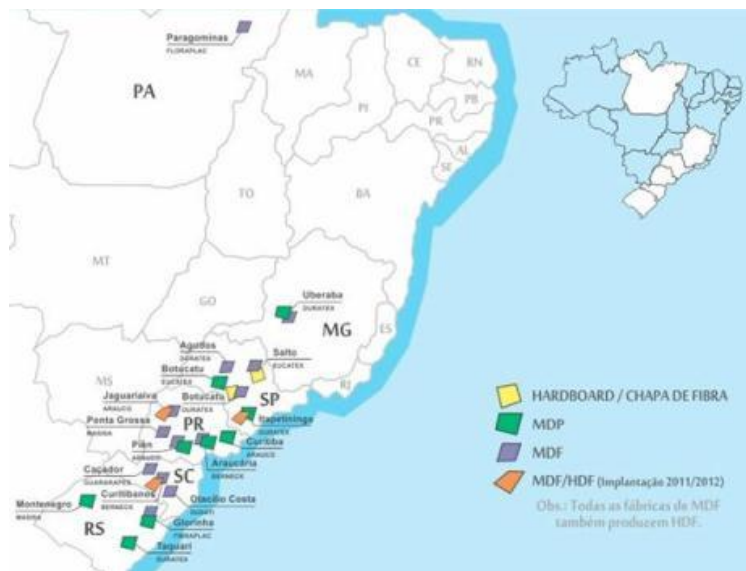


Figura 2.12. Distribuição das Indústrias de painéis e partículas no Brasil. Fonte: ABIPA (2011)

Em relação ao uso do MDP no mercado, estima-se que 89% da produção seja utilizada pela indústria de móveis, 5% é destinada para as revendas e 4% é empregada na construção civil, seguido pelo setor de pisos com 2%. Já no caso do MDF, a aplicação doméstica das chapas atende em torno de 55% a indústria de móveis -33% a revenda - 8% a construção civil - e 4% do setor de piso. Em relação à chapa de fibra, a indústria moveleira concentra cerca de 44% do consumo (MOBILE FORNECEDORES, 2012).

Segundo informações empresa Berneck, o projeto para a unidade de Curitiba compreendem três fases. A fábrica recém-inaugurada de MDF responderia pela primeira fase. As outras duas seriam uma serraria (fase 2) e uma unidade de MDP (fase 3). Segundo a Mobile Fornecedores (2012) destacou ainda que a Berneck após a implementação da segunda fase, a capacidade da empresa praticamente dobrará em relação à capacidade atual, atingindo 1,9 milhão de cúbicos por ano, somando Araucária e Curitiba.

Segundo dados da ABIPA (2010), revelaram que para os próximos anos, estão previstos novos investimentos com valores aproximados de US\$ 1,2 bilhão na instalação de novas unidades industriais, que acarretarão num aumento da capacidade instalada atual (2010) de 9,2 milhões de m³ para aproximadamente 10,3 milhões de m³ anuais em 2012 (**Figura 2.13**).



Figura 2.13. Capacidade nominal Brasileira -2010. Fonte: ABIPA (2010)

Os cinco maiores produtores de painéis de madeira no mundo (China, EUA, Alemanha, Rússia e Canadá) responderam por 61% da produção mundial (176 milhões de m³) em 2011. A China foi responsável por 38% da produção mundial em 2011 e a tendência mais notável é o aumento de 47% da produção na China durante o período de 2007-2011, que equivale 75 a 111.000.000 milhões de m³. Em contraste, a produção dos Estados Unidos, da Alemanha, e do Canadá diminuiu durante este período de acordo com a **Figura 2.14a**. Os quatro principais consumidores de painéis de madeira são os quatro maiores produtores (China, Estados Unidos de América, Alemanha e a Rússia); o quinto maior consumidor é o Japão, em 2011, atingiu 10 milhões de m³ (FAO, 2013), conforme a **Figura 2.14b**.

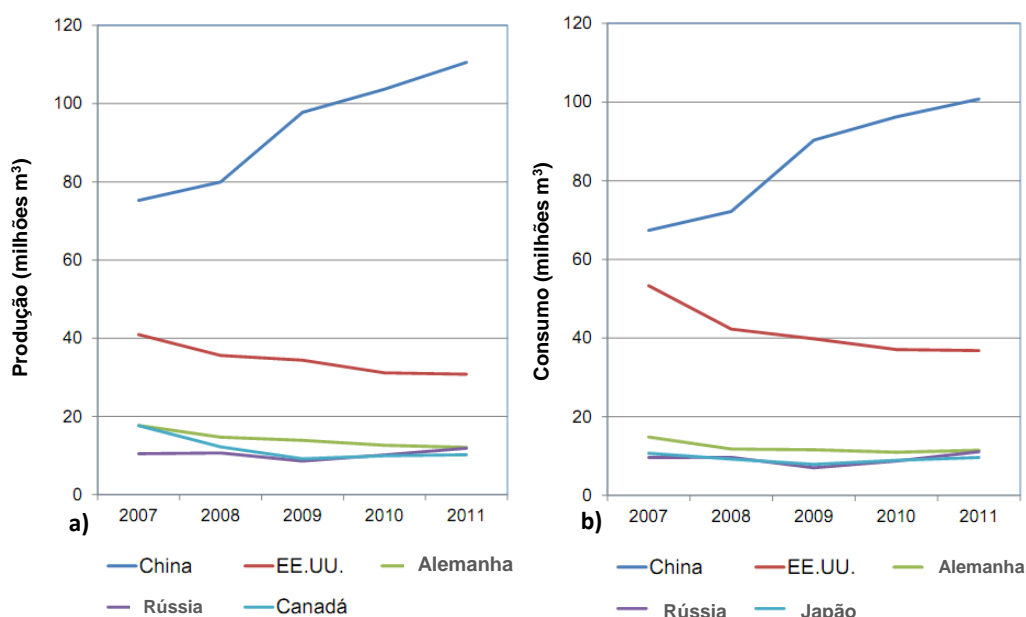


Figura 2.14. Painéis de madeira (a) Produção mundial (b) Consumo mundial. Fonte FAO (2013).

CAPITULO 3

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma de trabalho para o estudo de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) da Amazônia para produção de ecopainel MDP.

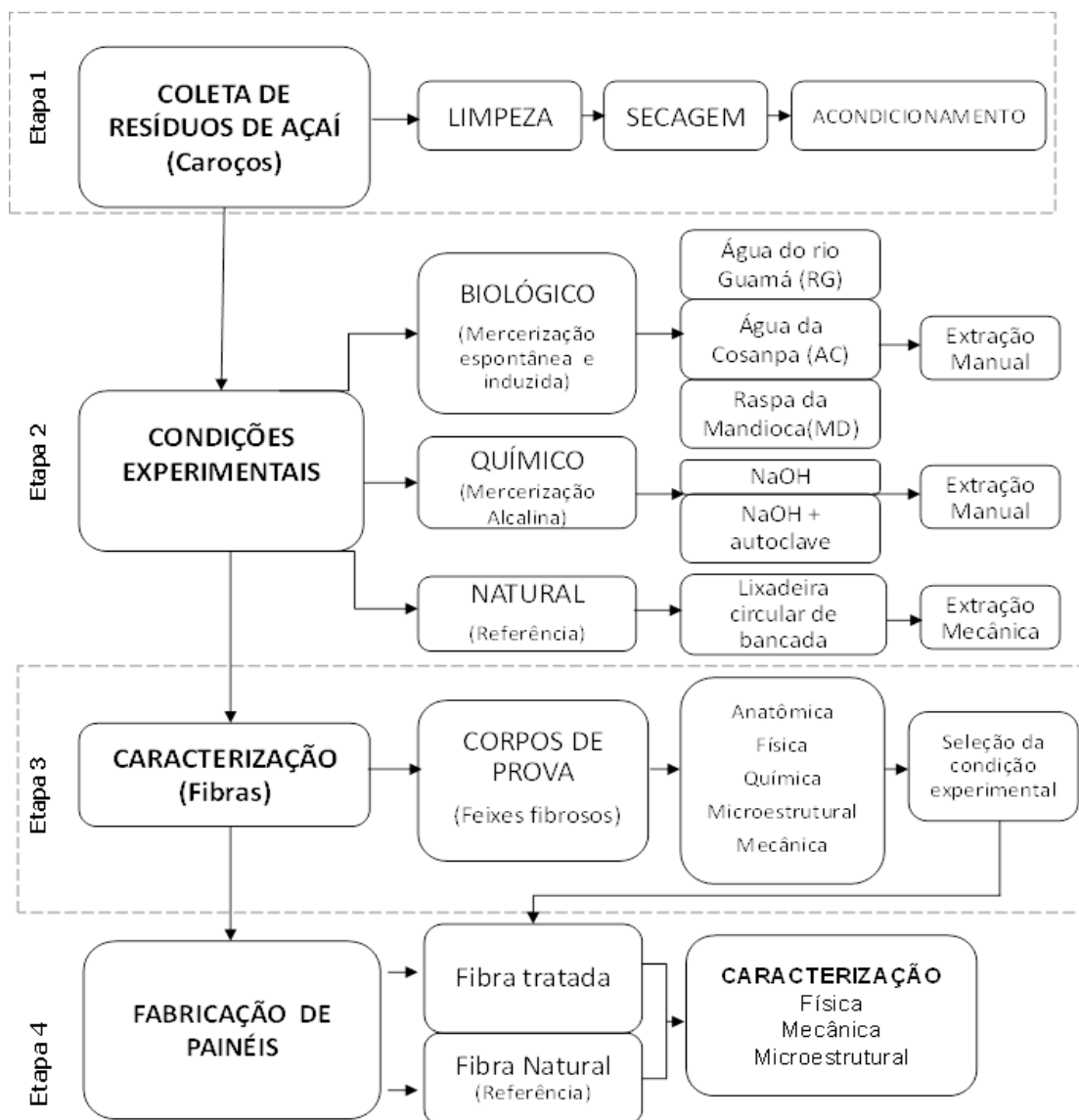


Figura 3.1. Fluxograma de trabalho.

O presente estudo foi desenvolvido em 4 etapas distintas: A Etapa 1, correspondeu à coleta dos resíduos de açaí passando pela limpeza, secagem e acondicionamento; Na Etapa 2, foram estabelecidas as condições experimentais para a extração e tratamento das fibras; A Etapa 3, consistiu na caracterização anatômica, química, físico-mecânica e microestrutural das fibras e a seleção do melhor tratamento; Na Etapa 4, eleito o melhor dentre os tratamentos. Em função disto, este foi utilizado nas fibras de açaí destinadas à confecção dos ecopainéis MDP, bem como foram utilizadas às fibras em condição natural (referência), possibilitando a comparação dos resultados obtidos da caracterização físico-mecânica e microestrutural dos painéis fabricados.

3.1 COLETA DE RESÍDUOS DE AÇAÍ (Etapa 1)

As amostras dos resíduos dos caroços do açaí foram coletadas de agroindústrias que preparam o suco do açaí e descartam os resíduos acondicionando-os em sacos de polietileno em frente aos estabelecimentos para serem coletados pela empresa de coleta de lixo urbano, no município de Belém, Pará, **Figura 3.2a** e **Figura 3.2b**.



Figura 3.2. Resíduos do açaí descartados em ambiente urbano (a). Depósitos de resíduos de açaí de sacos de polietileno na calçada; (b). Detalhe dos resíduos dos caroços de açaí no saco de polietileno.

O material obtido in natura foi lavado em água corrente secado em estufa numa temperatura de 60 °C, acondicionados em recipientes plásticos e colocados no refrigerador a 15 °C, até a o início da etapa 2 (**Figura 3.3**).



Figura 3.3. Caroços de açai (*Euterpe oleracea* Mart.).

3.2 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS DAS FIBRAS (Etapa 2)

- **Delineamento experimental**

Esta etapa foi desenvolvida, no laboratório de produtos naturais (LEPRON) da Universidade Federal do Pará (UFPA). A obtenção das fibras de açai a partir dos caroços do açai foi realizada por meio de dois processos de extração (manual e mecânico) em 3 (três) tratamentos (i) Biológico (mercerizações espontânea e induzida), (ii) Químico (mercerização alcalina) e (iii) Natural. Cada um desses tratamentos (biológico e químico) foram resumidos na **Tabela 3.1**, em cada condição experimental de maceração biológica e na Tabela 3.2, são apresentados listas de cada condição experimental química de mercerização alcalina. Após os tratamentos, as amostras das fibras tratadas e não tratadas foram extraídas manualmente e colocadas para secar em condições de laboratório a temperatura ambiente (28 °C) e 80% de umidade relativa; e posteriormente, a realização da caracterização anatômica, física, química, microestrutural e mecânica.

Os fatores e níveis experimentais investigados na avaliação da resistência mecânica na tração axial das fibras do açaí foram o tipo de água, maceração biológica espontânea (Rio Guamá - RG; Água Cosanpa – AC); maceração biológica induzida (raspas da Mandioca - MD) e a concentração em massa de água sobre os caroços de açaí (2; 4; 6%), conduzindo a um planejamento fatorial completo do tipo 3x3, fornecendo nove condições experimentais (CE) distintas, explicitadas na **Tabela 3.1**.

Tabela 3.1. Tratamentos investigados para a condição experimental biológica (mercerização).

CE	Mercerização	Concentração de Água*
C1	RG	2%
C2	RG	4%
C3	RG	6%
C4	AC	2%
C5	AC	4%
C6	AC	6%
C7	MD	2%
C8	MD	4%
C9	MD	6%

CE: Condição experimental RG: Rio Guamá; AC: Água da Cosanpa ;MD: Raspa de Mandioca.* Concentração de água em massa

Os fatores e níveis experimentais investigados na avaliação da resistência mecânica na tração axial das fibras do açaí foram o tratamento com NaOH e NaOH + autoclave e a concentração das soluções de NaOH em água (0,5%; 1%; 2%) conduzindo a um planejamento fatorial completo do tipo 2x3, fornecendo seis condições experimentais (CE) distintas, explicitadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Tratamentos investigados para a condição experimental química (Mercerização Alcalina)

Condição Experimental	Mercerização Alcalina	Concentração de NaOH*
N1	NaOH	0,5%
N2	NaOH	1,0%
N3	NaOH	2,0%
N4	NaOH + autoclave	0,5%
N5	NaOH + autoclave	1,0%
N6	NaOH+ autoclave	2,0%

* Concentração de NaOH em massa

O planejamento experimental completo foi delineado com auxílio do software Minitab® versão 14 e S.A.S, versão 9.3, possibilitando por meio da análise de variância ANOVA investigar a influência dos fatores (tratamentos) e da interação em cada variável resposta.

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para investigar a influência dos fatores isolados (Mercerização (M) e Concentração de Água (%A)), assim como da interação entre ambos (M x %A) na resistência à tração axial das fibras de açaí, avaliada a um nível de significância (α) de 5%, tendo como hipótese nula (H_0) a equivalência das médias entre os tratamentos e a não equivalência entre as médias como hipótese alternativa (H_1). P-valor inferior ao nível de significância, implica em rejeitar H_0 , aceitando-a em caso contrário.

Para validar o modelo da ANOVA foram utilizados o teste de Anderson-Darling para verificar a normalidade na distribuição dos valores de resistência na tração axial e os testes F, de Bartlett e de Levene para avaliar a homogeneidade das variâncias entre as condições experimentais investigadas. Os testes foram formulados ao nível de 5% de significância. Para o teste de Anderson-Darling, a hipótese nula consistiu na normalidade da distribuição, e a não normalidade como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância do teste implica em

aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário. Para os testes F, de Bartlett e Levene, a hipótese nula consistiu na equivalência das variâncias entre as condições experimentais, e a não equivalência entre variâncias como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância implica em aceitar a hipótese nula, rejeitando-a em caso contrário.

Quando os testes de normalidade de distribuições e homogeneidade de variâncias apontaram a não equivalência, foi realizada a transformada de Johnson de maneira a atender ao quesito de normalidade de distribuição e de homogeneidade de variâncias exigido pela ANOVA. Com os dados transformados foram novamente realizados os testes de normalidade na distribuição e a equivalência entre variâncias. Finalmente, realizou-se o teste Tukey para estabelecer a melhor condição de tratamento. A sequência dessa metodologia é apresentada sucintamente no fluxograma da Figura 3.4.

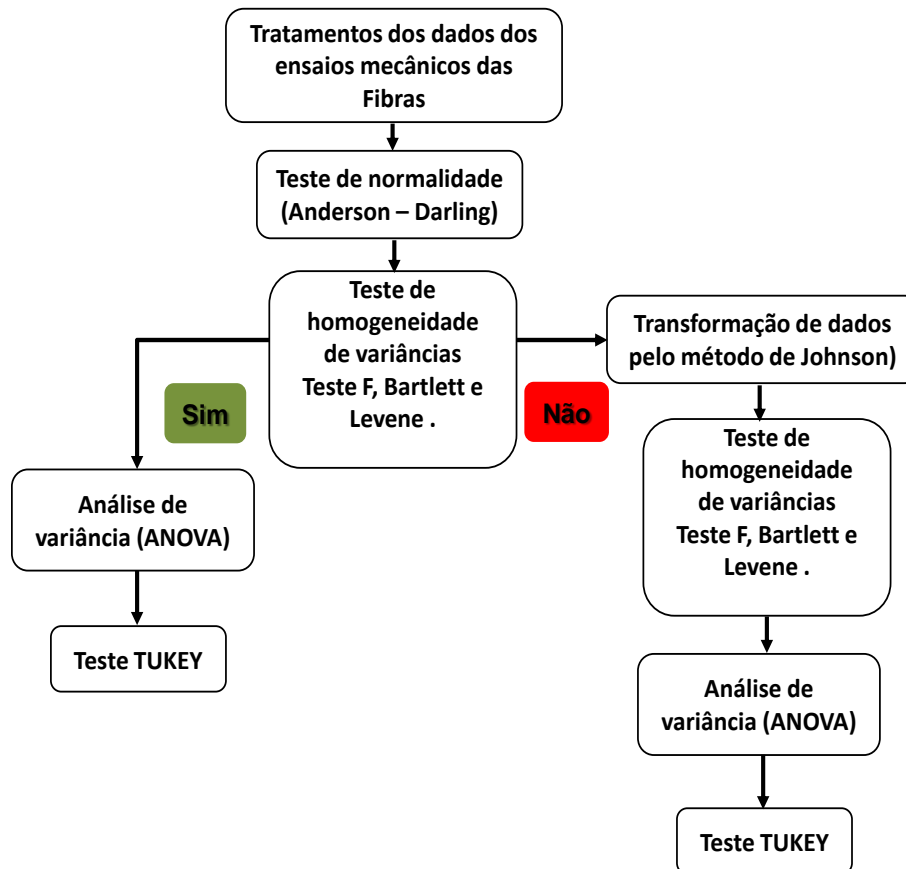


Figura 3.4. Fluxograma da análise estatística para tratamentos de fibras

No fluxograma abaixo (Figura 3.5) está a sequência de análise das fibras tratadas e não tratadas utilizando as análises estatísticas mencionadas acima para definir o tratamento que será aplicado nas fibras para fabricação de ecopainéis.

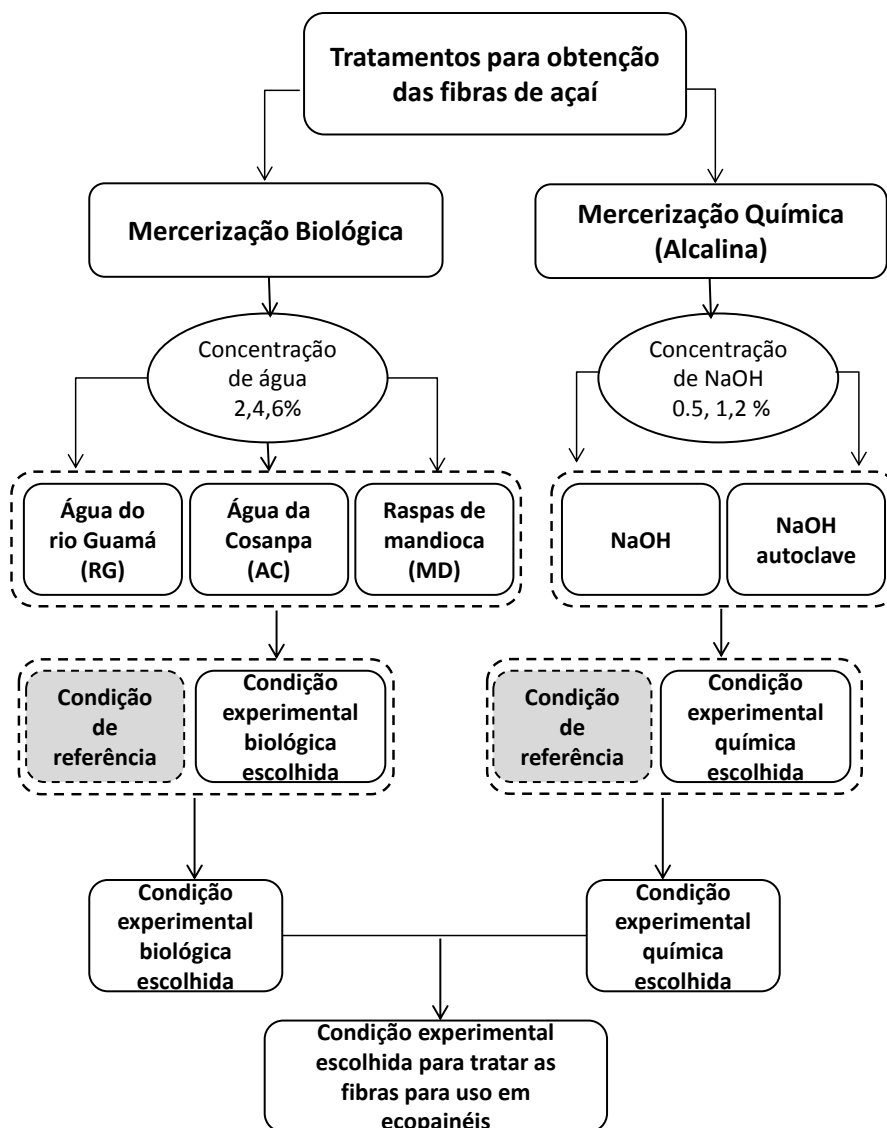


Figura 3.5. Fluxograma de avaliação de tratamento por métodos estatísticos

Análise 1: Inicialmente para a condição biológica (mercerizações espontânea e induzida) foi realizada a análise estatística entre os três tratamentos (água do rio Guamá (RG); Água da Cosanpa (AC) e Raspas da mandioca (MD)).

Após a definição do melhor tratamento foi realizada a comparação com a condição de referência (fibra natural).

Análise 2: Para a condição experimental química (mercerização alcalina) foi realizada a análise estatística entre os dois tratamentos (NaOH e NaOH + autoclave). Após a definição do melhor tratamento foi realizada a comparação com a condição de referência (fibra natural).

Análise 3: Finalmente foi realizada a análise estatística entre os dois melhores tratamentos obtidos da análise 1 e análise 2, e posteriormente foi selecionado o tratamento para a fabricação dos ecopainéis particulados. Descoberta a melhor condição experimental para a resistência à tração axial das fibras de açaí, esta foi comparada a resistência à tração axial das fibras da condição de referência (fibra natural sem tratamento), fazendo-se uso novamente da análise de variância.

3.2.1 Condição experimental biológica (Mercerização)

O processo de obtenção das fibras do açaí por meio da condição biológica (mercerização) foi realizada de forma espontânea e induzida, em duas fases: Na primeira fase foi desenhado e elaborado o protótipo de mercerização, conforme a **Figura 3.6 e Erro! Fonte de referência não encontrada..** Este protótipo contém tanques de vidro em escala de bancada com capacidade de 5 litros, um medidor de pH portátil da marca Lutron Ph-201, conforme normas do Instituto Adolpho Lutz (1985). Durante a condução dos experimentos realizaram-se tomadas de dados, como: pH e temperatura da solução, temperatura do meio ambiente e a umidade relativa.

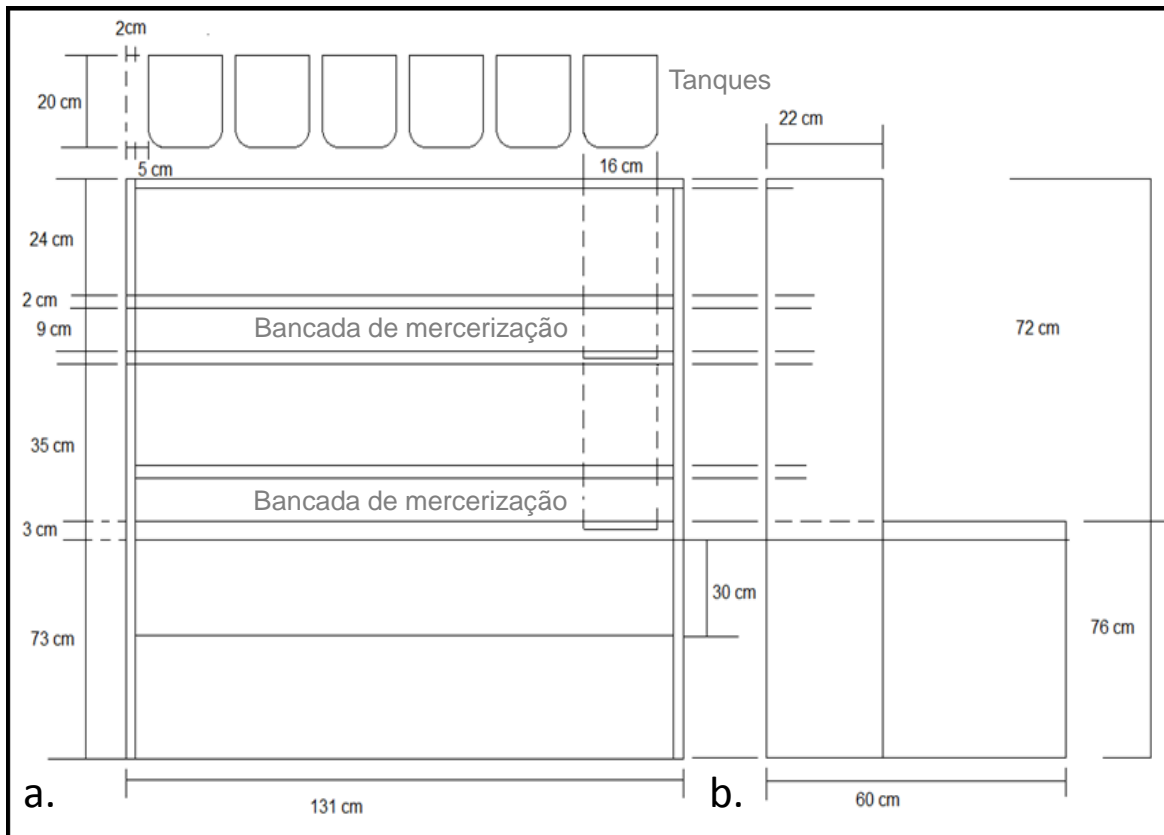


Figura 3.6. Protótipo de mercerização (a) Vista frontal (b) Vista lateral. Fonte. Autor



Figura 3.7. Protótipo de mercerização (a) Tanques de mercerização (b) Instrumental utilizado nas medições. Fonte. Autor

Na segunda fase foram realizados três tratamentos de maceração biológica, classificados como: maceração biológica espontânea usando como agente catalizador para a desagregação das fibras, a água (Rio Guamá (RG) e água da Cosanpa (AC)) e maceração biológica induzida usando como agente catalizador a raspa da mandioca (MD). O objetivo desses tratamentos foi a desagregação das fibras dos caroços mediante o uso ou não de agentes catalizadores.

- **Maceração biológica espontânea com água do Rio Guamá (RG)**

Na condição de maceração biológica espontânea usando como agente catalizador a água do Rio Guamá, coletada próximo ao laboratório de Engenharia de produtos naturais-LEPRON- Faculdade de Engenharia Química-ITEC-UFGA. Foram utilizadas 3 proporções de massa de solução e massa de caroços, que foram: 2:1, 4:1 e 6:1, respectivamente.

A água do Rio Guamá, foi utilizada nas três proporções já descritas anteriormente, e distribuídas conforme segue: no tanque 1, foi realizada a mercerização com a proporção de 2:1, correspondente a 800 g de solução para 400 g de caroços; no tanque 2, a mercerização foi realizada na proporção de 4:1, que correspondem a 1.600 g de solução e 400 g de caroços e; finalmente, no tanque 3, a proporção utilizada foi de 6:1, correspondentes a 2400 g de solução e 400 g de caroços.

- **Maceração biológica espontânea com água da Cosanpa (AC)**

Na condição de maceração biológica espontânea usando como agente catalizador a água Cosanpa, da Companhia de Saneamento do Pará, foram utilizadas as três proporções já descritas anteriormente, e distribuídas conforme segue: no tanque 1, foi realizada a mercerização com a proporção de 2:1, correspondente a 800 g de solução para 400 g de caroços; no tanque 2, a

mercerização foi realizada na proporção de 4:1, que correspondem a 1.600 g de solução e 400 g de caroços e; finalmente, no tanque 3, a proporção utilizada foi de 6:1, correspondentes a 2400 g de solução e 400 g de caroços.

- **Maceração biológica induzida com raspas da mandioca (MD).**

O processo de maceração biológica induzida é considerado artesanal no qual foi utilizado como agente catalisador com raspas de mandioca a uma proporção de 10 % da massa de caroços, que correspondem a 40 g de mandioca. Foram acrescentados aos três tanques, respeitando as proporções, agente catalizador/caroços de 2:1, 4:1 e 6:1.

No decorrer dos três processos (11 dias (RG), 15 dias (AC), 14 dias (MD), amostras das fibras mercerizadas foram extraídas manualmente para a realização dos ensaios mecânicos de tração axial e colocadas para secar em condições de laboratório a temperatura ambiente (28°C) e 80% de umidade relativa e posteriormente, a realização da caracterização mecânica e microestrutural.

3.2.2 Condição experimental química (mercerização alcalina)

O processo de obtenção das fibras do açaí na condição experimental química (alcalina) foi realizado de duas formas: Na primeira, utilizou-se uma solução alcalina hidróxido de sódio (NaOH) com 0,5 %, 1% e 2% de concentração e massa de caroços (400 g). Na segunda, além de utilizar à solução alcalina as fibras foram colocadas num autoclave por um tempo de 45 minutos, expostos a uma pressão de 10 ATM e 40°C. Esses processos serão detalhados a seguir:

- **Tratamento das fibras em NaOH**

No processo alcalino foi utilizado a solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) em três concentrações: 0,5%, 1% e 2%, respectivamente. Foram disponibilizados 1.200 gr de caroços da semente. Foram utilizadas as três

concentrações já descritas anteriormente, mantendo as mesmas proporções massa de solução/massa de caroço de (2:1, 4:1 e 6:1) e distribuídas conforme segue: no tanque 1, foi realizado o tratamento a concentração de 0,5% correspondente a 800 g de solução para 400 g de caroços; no tanque 2, o tratamento foi realizado na concentração de 1% que correspondem a 1.600 g de solução e 400 g de caroços e; finalmente no tanque 3, a concentração utilizada foi de 2%, correspondentes a 2400 g de solução e 400 g de caroços.

No decorrer do processo (15 dias), amostras das fibras mercerizadas foram coletadas para a realização dos testes mecânicos e colocadas para secar em condições de laboratório a temperatura ambiente (28 °C) e 80% de umidade relativa e posteriormente, a realização da caracterização anatômica, química, físico-mecânica e microestrutural.

- **Tratamento das fibras em NaOH no autoclave**

Neste processo foi utilizado solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) em três concentrações: 0,5%, 1% e 2%, respectivamente. Para cada uma destas concentrações foram adicionados 2,88 Kg de caroços da semente no autoclave (**Figura 3.8**), e a solução respectiva, até atingir a imersão total dos caroços. Os caroços passaram por um cozimento por um tempo aproximado de 45 min e expostos a uma pressão de 10 atm e temperatura de 40° C.

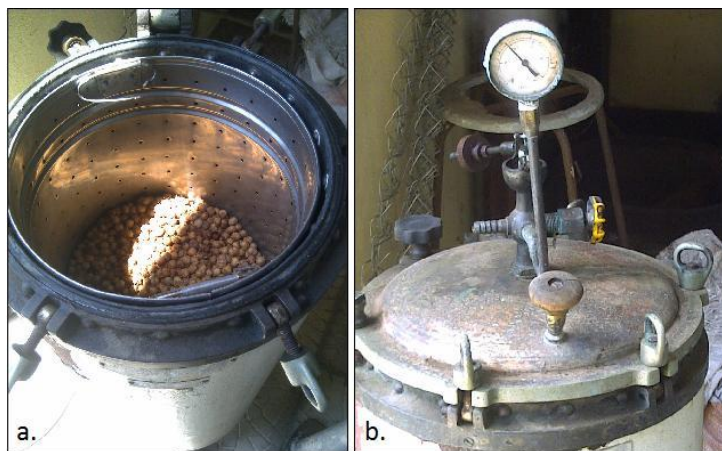


Figura 3.8. Processo de mercerização alcalina (NaOH autoclave): (a) cozimento dos caroços de açaí no autoclave e (b) autoclave. Fonte. Autor

3.2.3 Condição Experimental Natural (referência)

A condição natural refere-se à extração das fibras do caroço do fruto do açaí por meio mecânico com a utilização de uma lixadeira circular de bancada **Figura 3.9.** Para a extração dessas fibras nesta condição experimental não foram realizados tratamentos adicionais, sendo consideradas como fibras de referência para as análises e comparar às fibras tratadas.

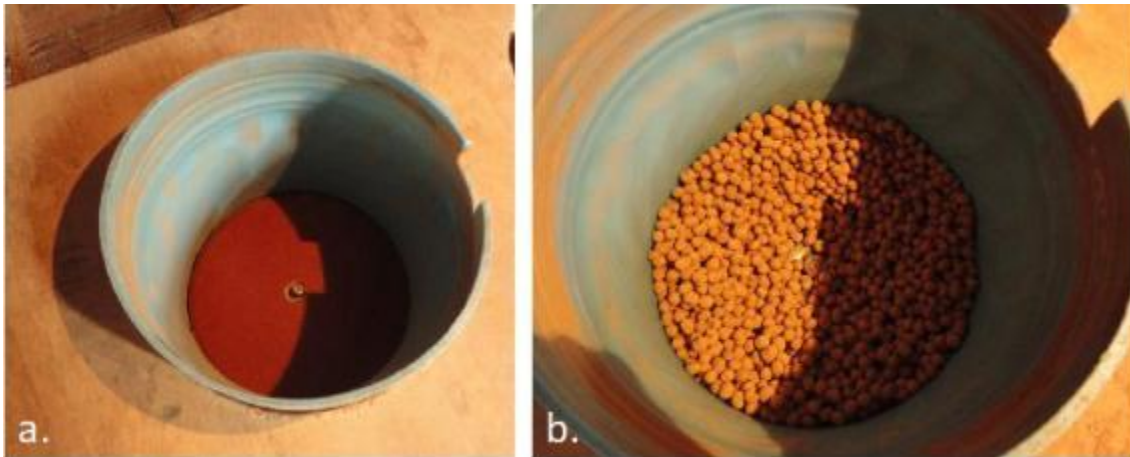


Figura 3.9. (a) Lixadeira circular de bancada e (b) Processo de extração mecânico das fibras. Fonte. Autor

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS (Etapa 3)

O objetivo desta etapa é avaliar a estrutura morfológica e as propriedades físicas das fibras do caroço do fruto do açaí submetidas às condições experimentais explicitadas anteriormente. Nesta seção são descritos os procedimentos realizados para a caracterização anatômica, química, físico-mecânica e microestrutural dos feixes fibrosos, a fim de identificar/selecionar a melhor condição experimental para a fabricação do ecopainel.

3.3.1 Caracterização Anatômica

Para identificar os constituintes celulares dos feixes fibrosos foi realizada a caracterização anatômica de corpos de prova extraídos manualmente de cada uma das condições experimentais: químico, biológico e natural, com auxílio de uma pinça metálica. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Anatomia Vegetal, na Coordenação de Botânica, do Museu Paraense Emílio Goeldi – LAVEG/MPEG. A caracterização anatômica foi realizada seguindo diferentes técnicas sucintamente explicadas abaixo:

- **Maceração**

Os feixes fibrosos foram imersos em uma solução de peróxido de hidrogênio 30 vol. e ácido acético glacial na proporção de 1:1 (FRANKLIN, 1945), durante 24h. Posteriormente foram lavados em água corrente, corados em safranina alcoólica 2% e montados entre lâminas e lamínulas em glicerina aquosa para sua caracterização morfológica em microscópio óptico.

- **Desagregação**

Nesta técnica os feixes foram imersos em água destilada por 24h e após sua desagregação foram colocadas em glicerina aquosa entre lâminas e lamínulas para sua caracterização morfológica em microscópio óptico.

- **Inclusão em parafina histológica**

Corpos de prova (feixes fibrosos) foram desidratados em série alcoólica butílica terciária, incluída em parafina e seccionada transversal e longitudinalmente (10µm) em micrótomo rotativo Leica. Estas seções foram coradas em safranina alcoólica 1% e montadas em resina Permunt entre lâminas e lamínulas (JOHANSEN, 1940), para sua caracterização morfológica em microscópio óptico.

3.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os feixes fibrosos foram analisados para a verificação da integridade de sua constituição física, após as diferentes condições experimentais de tratamento, num microscópio eletrônico de varredura (MEV), Leo Zeiss, modelo 1430 localizado no Laboratório de Museu Emílio Goeldi.

3.3.3 Caracterização Química

Os ensaios para a caracterização química dos feixes fibrosos das fibras tratadas com NaOH+ autoclave(0.5%) e as fibras naturais, tais como: determinação dos teores de lignina, holocelulose, α -celulose, hemicelulose foram realizados no Laboratório de Zootecnia da Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA. Foram utilizadas às técnicas de análise de fibra em detergente neutro (FDN) e de fibra em detergente ácido (FDA) (VAN SOEST *et al.*(1991).; FUKUSHIMA, R. S *et al.*, (2003)) estas técnicas são detalhadas a seguir:

- **Teor de lignina Klason insolúvel**

O teor de lignina Klason insolúvel foi determinado de acordo com a norma TAPPI T222 om-02 (TAPPI, 1988). Uma massa seca (m_f) de 1,0 g de fibra seca foi colocada em almofariz com 17 mL de solução de ácido sulfúrico 72% (m/m), macerada exaustivamente e deixada em repouso por 24 h a temperatura de 25 °C. Em seguida a mistura foi transferida para um balão redondo de 1 L, diluída com água destilada para a concentração de 3% de ácido sulfúrico e aquecida em refluxo por 4 h. Ao final do tempo, a lignina insolúvel obtida foi filtrada em filtro de vidro sinterizado (previamente tarado), lavando-se várias vezes com água destilada. A lignina insolúvel foi então secada em estufa a temperatura de 105 °C, transferida e resfriada em dessecador e pesada em balança com precisão de 0,0001 g. O procedimento foi repetido até atingir massa inicial (m_i). O teor de lignina foi calculado de acordo com a equação (2):

$$\textit{Lignina Klason insolúvel} (\%) = \left(\frac{m_i}{m_f}\right) \times 100 \quad \text{eq. 2}$$

- **Teor de Holocelulose**

Holocelulose é um termo empírico para se referir à mistura de celulose e hemicelulose. Esta determinação foi realizada de acordo com a norma TAPPI T19-54 (KLEM *et al.*, 1998). Uma massa seca de FBC de 3 g (m_f) com 120 mL de água destilada, 1 mL de ácido acético glacial (CH_3COOH) e 2,5 g de clorito de sódio foi colocada em erlenmeyers de 250 mL. O recipiente foi tampado com erlenmeyers invertidos de 150 mL, sendo a mistura aquecida e mantida a temperatura de 70 °C. Após 1 h foram adicionados mais 1 mL de CH_3COOH e 2,5 g de clorito de sódio. Repetiu-se o procedimento mais uma vez após 1h. A mistura foi filtrada em filtro de vidro sinterizado previamente tarado e lavada com água destilada até o sobrenadante sair incolor e atingir pH igual ao da água utilizada. Em seguida, o material foi lavado com três porções de 10 mL de metanol e secado em estufa a temperatura de 50 °C até atingir massa inicial (m_i). O teor de holocelulose foi calculado pela equação (3):

$$\textit{Holocelulose} (\%) = \left(\frac{m_i}{m_f}\right) \times 100 \dots\dots\dots \text{eq. 3}$$

- **Teor de α -celulose**

A determinação de α -celulose, definida como a fração celulósica de alta massa molar insolúvel alcalina concentrada, foi realizada com as amostras resultantes da determinação do teor de holocelulose. Uma massa de 1 g da amostra foi colocada em almofariz com 10 mL de solução NaOH 17,5% (g/mL) e deixada em repouso por 2 min (m_f). Em seguida a mistura foi macerada, adicionado mais 10 mL da solução alcalina e deixada em repouso por 20 min. Decorrido este tempo, foram adicionados 40 mL de água destilada e a mistura foi filtrada em filtro de vidro sinterizado previamente tarado, lavando o filtrado com solução de 50% (v/v) de CH_3COOH e, em seguida, foi lavado com água destilada até a neutralidade do sobrenadante. A celulose obtida foi secada em estufa de

circulação de ar a 105 °C até massa inicial (m_i). O teor de α -celulose foi determinado de acordo com a equação (4):

$$\alpha - \text{Celulose (\%)} = \left(\frac{m_i}{m_f} \right) \times 100 \quad \text{eq. 4}$$

Teor de Hemicelulose O teor de hemicelulose foi estimado a partir da diferença entre teores de holocelulose e α -celulose de acordo com a equação (5):

$$\text{Hemicelulose (\%)} = \text{Holocelulose (\%)} - \alpha \text{ celulose (\%)} \quad \text{eq. 5}$$

3.3.4 Caracterização Física

Os ensaios físicos para os feixes vasculares corresponderam a: medida de comprimento e diâmetro, massa específica, absorção de umidade, pH, determinação do “Regain” e porosidade.

- **Comprimento e o Diâmetro**

A determinação do comprimento e do diâmetro das fibras foi realizada utilizando um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) marca Carl Zeiss do Brasil, modelo LEO-1430 que captura a imagem de cada feixe vascular para posterior mensuração do diâmetro e a inclusão de fotografia utilizando o programa Visilog 6.5 Viewerq. Foram medidos 10 corpos de prova (feixes fibrosos) a cada dia das condições experimentais, totalizando 1.666 amostras.

- **Densidade real**

Para a determinação da densidade das partículas do açaí, foi utilizado o equipamento multipicnômetro a gás hélio, marca Quantachrome, Ultrapycnometer 1000. Para o cálculo da densidade foi utilizado os dados obtidos pelo equipamento e posteriormente a equação. (6):

$$V_p = V_c - V_r \left(\left(\frac{P_1}{P_2} \right) - 1 \right) \quad \text{eq. 6}$$

Onde:

V_p = volume da amostra (cm³);

V_c = volume do porta amostra (cm³);

V_r = volume da referência (cm³);

P_1 = pressão medida depois da pressurização do volume de referência (PSI);

P_2 = pressão medida depois de incluída V_c (PSI).

- **Absorção de umidade**

A absorção de umidade das fibras foi determinada baseada em normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9778 (1987), utilizando o aparelho de infravermelho da marca Quimis modelo Q333-1.

As fibras foram inicialmente pesadas e secadas até massa constante, determinando-se a absorção de água pela equação (7).

$$A\% = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \times 100 \quad \text{eq. 7}$$

Onde:

A %: corresponde a absorção percentual de umidade;

m_0 : a massa inicial antes da secagem;

m_f : a massa final após a secagem.

- **Medida de pH**

O pH da fibra do caroço do fruto do açaí foi determinado por colorimetria, a partir da coloração da solução onde as fibras ficaram imersas durante o ensaio comparou-se com gradiente de cores. A coloração da solução resultante da submersão das fibras ao ensaio é prescrita pela NBR 7220 (2000).

- **Determinação do “regain”**

Regain (R%) é a umidade em uma fibra, expressa em percentagem sobre a massa seca da fibra (ARAÚJO e CASTRO, 1984), respeitada as condições bem definidas de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, conforme a equação 8. Este método está presente na ISO 139, EN20139 e DIN 53802. Sua determinação experimental baseia-se na Figura 3.10, e a equação (8), apresentadas abaixo:

$$R\% = \frac{\text{massa de H}_2\text{O absorvida na amostra (m)}}{\text{massa em atmosfera seca (m}_s\text{)}} \times 100 \quad \text{eq. 8}$$

Onde:

m: massa de água absorvida pela fibra em grama (g), calculada pela equação (9);

m_s: massa de fibra seca.

$$m = m_f - m_s \quad \text{eq. 9}$$



Figura 3.10. Obtenção do “Regain”.

- **Determinação da porosidade**

A porosidade foi determinada conforme Morton e Hearle (1975), baseado na equação (10) com os procedimentos indicados na Figura 3.11.

$$P\% = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \cdot 100 \quad \text{eq. 10}$$

Onde: P% = porosidade (%), mi =massa inicial (g) e mf =massa final (g)

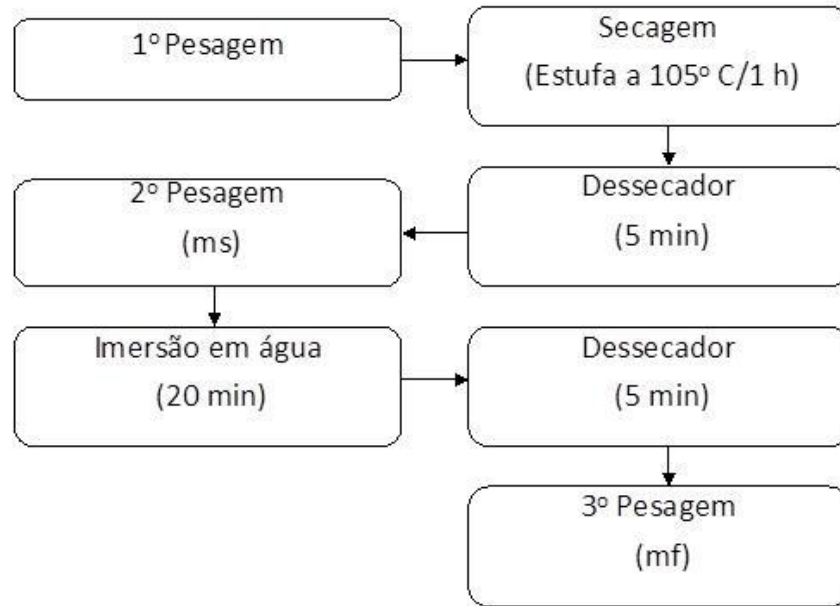


Figura 3.11 Obtenção da porosidade de fibra

- **Classificação granulométrica:**

É uma propriedade física que caracteriza o tamanho das partículas do material, sendo que o estudo da granulometria das fibras do açaí foi realizado Laboratório de Construções e Ambiente do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Campus Pirassununga, utilizando o equipamento de classificação granulométrica, da marca produteste modelo G, contendo 6 peneiras de dimensões de 500 x 500 x 100 mm, com aberturas de 0,3 a 8,0 mm, e timer automático electromecânico ajustável de até 60 minutos.

3.3.5 Caracterização Mecânica

Para a caracterização mecânica dos feixes fibrosos dos caroços do fruto do açaí foi realizado um ensaio de resistência à tração axial, que será explicado em detalhes a seguir:

- **Resistência à Tração Axial**

Os ensaios de resistência à tração axial dos feixes fibrosos foram realizados, no Laboratório de Construções e Ambiente do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo (FZEA/USP) Campus Pirassununga, utilizando a máquina universal de ensaios marca EMIC-DL-3000, com capacidade máxima de 300 kN, com sistema de aquisição de dados, célula de carga de 1 kN, a uma velocidade de 0,3 mm/min e garras pneumáticas de 200 Kgf.

Foram realizados ensaios 1.666 corpos de prova (feixes fibrosos) de fibras de açaí oriundas das diferentes condições experimentais para tratamento das fibras (biológico, químico) e natural. As amostras de fibras do açaí foram preparadas com suportes de papel Kraft e são usados para distribuir uniformemente a carga aplicada na fibra que está sendo ensaiada e também para proteger as fibras de danos por ocasião do posicionamento das garras na máquina de ensaios.

Os suportes de papel KRAFT (gramatura de 200 g/m²) com as dimensões de 25 mm x 55 mm foram colados com cianoacrilato (Super Bonder da Loctite) nas extremidades do comprimento útil das fibras, adaptadas das recomendações da norma ASTM D3822–96. A **Figura 3.12a** e a **Figura 3.12b** ilustram os TABs utilizados para os ensaios de tração axial e também com suas respectivas dimensões. A **Figura 3.12c** ilustra o ensaio na máquina EMIC utilizada para a realização dos ensaios de resistência à tração dos feixes fibrosos (fibras).

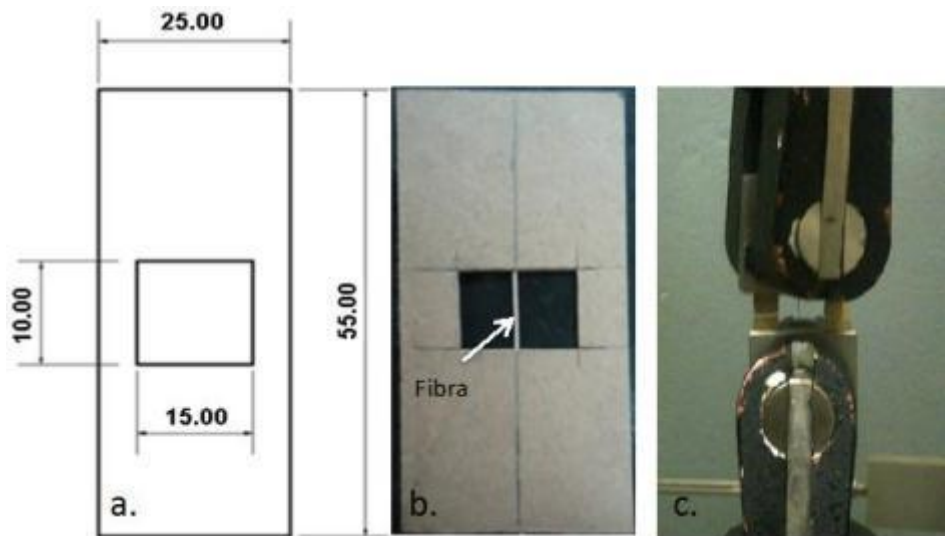


Figura 3.12. Ensaio de tração axial (a) Desenho esquemático de suportes (b) Feixe fibroso no suporte (c) Corpo de prova na máquina de ensaio universal-EMIC

3.3.6 Caracterização Microestrutural

- **Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

Com o objetivo de analisar a morfologia das fibras, foram analisados corpos de prova (feixes fibrosos) de cada tratamento nas diferentes condições experimentais, para a realização da análise da imagem por MEV. As imagens de MEV foram obtidas em um microscópio da marca Hitachi e modelo *Analytical TableTop Microscope TM3000* do laboratório multiusuários do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP).

3.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ECOPAINÉIS DE FIBRAS DE AÇAÍ (Etapa 4)

- **Delineamento Experimental**

Os fatores e níveis experimentais investigados na avaliação da resistência físico-mecânica dos ecopainéis foram fabricados com as fibras tratadas provenientes do tratamento selecionado na etapa 3 (com tratamento) e os fabricados com fibra natural (sem tratamento) a fim de selecionar o tratamento mais eficiente para confecção do ecopainel MDP.

As variáveis-resposta investigadas foram a densidade aparente (D_{ap}), absorção de água em 2 horas (Abs 2h) e em 24 horas (Abs 24h), resistência ao arrancamento de parafuso de superfície (RA_{sup}) e topo (RA_{top}); módulo de elasticidade (MOE) e de resistência (MOR) na flexão; Resistência da adesão interna (RAI).

O planejamento experimental completo foi delineado com auxílio do software Minitab® versão 14 possibilitando por meio da análise de variância a ANOVA e investigar a influência dos fatores (tratamentos) e da interação em cada variável resposta.

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para investigar a influência dos tratamentos das fibras nas propriedades físico-mecânicas dos ecopainéis de fibras de açaí, avaliada a um nível de significância (α) de 5%, tendo como hipótese nula (H_0) a equivalência das médias entre os tratamentos e a não equivalência entre as médias como hipótese alternativa (H_1). P-valor inferior ao nível de significância, implica em rejeitar H_0 , aceitando-a em caso contrário.

Para validar o modelo da ANOVA, foram utilizados o teste de Anderson-Darling para verificar a normalidade na distribuição dos valores das propriedades físico-mecânicas e os testes F, de Bartlett e de Levene para avaliar a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos. Os testes foram formulados

ao nível de 5% de significância. Para o teste de Anderson-Darling, a hipótese nula consistiu na normalidade da distribuição, e a não normalidade como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância do teste implica em aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário.

Para os testes F, de Bartlett e Levene, a hipótese nula consistiu na equivalência das variâncias entre as condições experimentais, e a não equivalência entre variâncias como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância implica em aceitar a hipótese nula, rejeitando-a em caso contrário.

No caso em que os testes de normalidade de distribuições e homogeneidade de variâncias apontaram a não equivalência, foi-se realizada a transformada de Johnson de maneira a atender ao quesito de normalidade de distribuição e de homogeneidade de variâncias exigido pela ANOVA. Com os dados transformados foram novamente realizados os testes de normalidade na distribuição e a equivalência entre variâncias.

Finalmente realizou-se o teste Tukey para estabelecer o melhor dos tratamentos utilizados para a fabricação dos painéis. A sequencia dessa metodologia é apresentada sucintamente na Figura 3.13.

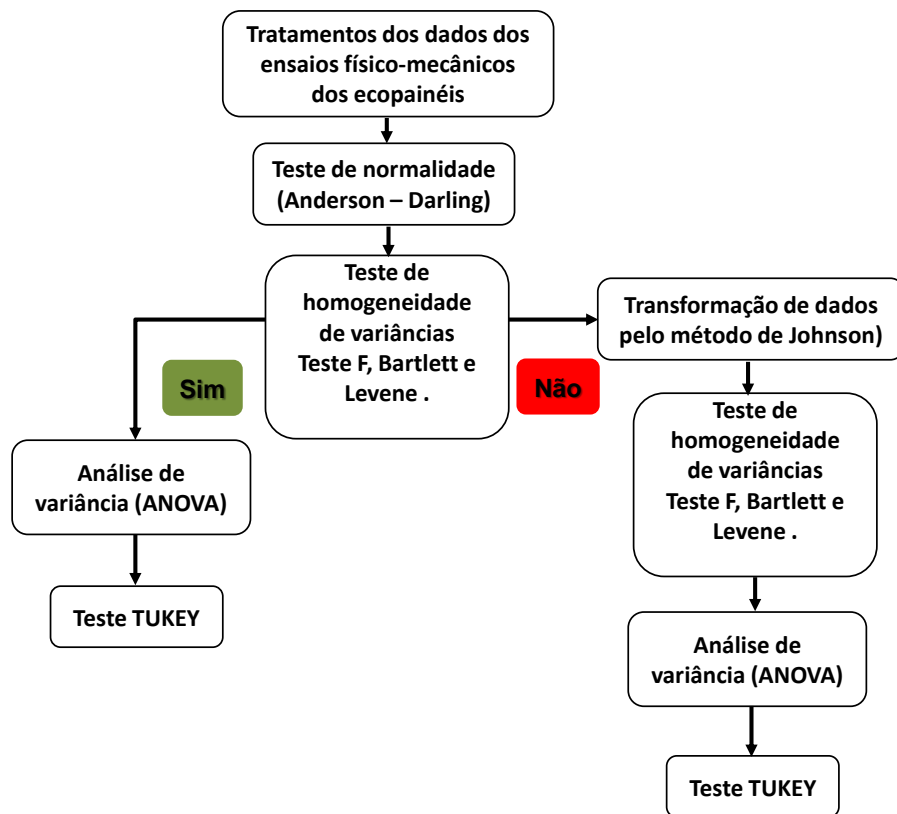


Figura 3.13. Fluxograma da análise estatística para os ecopainéis

O processo de fabricação de ecopainéis de fibras de açaí e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona seguiu o procedimento utilizado para a fabricação dos painéis aglomerados de partículas baseado e adaptado nas premissas indicadas por Maloney (1996). A **Tabela 3.3** ilustra os parâmetros de produção utilizados neste trabalho.

Tabela 3.3. Parâmetros de produção de ecopainéis de partículas de fibras de açaí.

Parâmetros de Produção	
Dimensão de fibras	8 mm
Densidade da fibra	720 kg/cm ³
Pressão	5 MPa
Temperatura	100 °C
Tempo de prensagem	10 min.
Espessura do painel	10 mm

Para o processo de fabricação do ecopainel de açai foram usadas as fibras naturais provenientes da extração mecânica (natural) e do tratamento selecionado na etapa 3.

Acondicionamento das fibras: As fibras naturais e as fibras tratadas foram lavadas com água deionizada e posteriormente foram secadas na estufa a (60 °C) até atingir uma umidade de 8%, conforme a **Figura 3.14**.



Figura 3.14. Processos de (a) Lavagem (b) pré-secagem de fibras (c) secagem em estufa

Moagem: Neste procedimento, as fibras foram picadas num moinho de facas com uma malha de 8 mm, conforme ilustra a **Figura 3.15**.



Figura 3.15 Processo de moagem (a) Moinho de facas (b) Detalhe fibras moídas

Preparação da resina: Posteriormente foi feita a mistura dos componentes da resina bi componente, utilizando uma balança analítica (**Figura 3.16**), sendo adicionado na proporção de 1 parte do polioli para 1 parte do polímero a base de óleo de mamona na proporção de 15% em relação à massa seca do resíduo (85%).

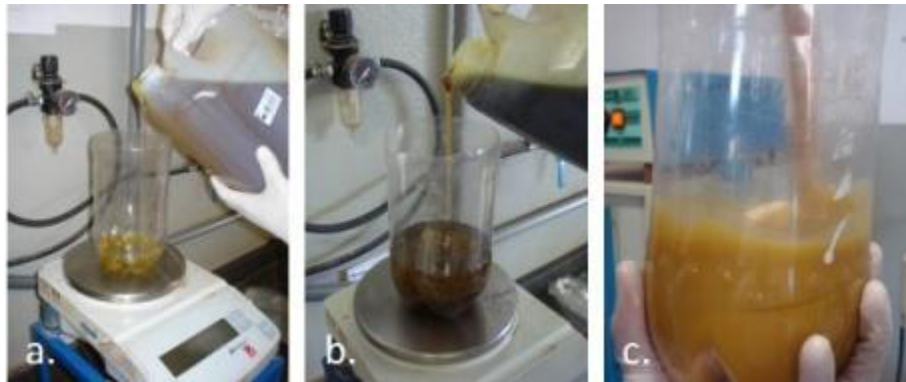


Figura 3.16. Componente da resina (a) Pesagem (b) Mistura.

Mistura de resina com as fibras: Previamente, foram realizados vários ensaios de homogeneização manual com as fibras do açaí com a resina de óleo de mamona (**Figura 3.17**). No entanto, esse método mostrou-se inadequado gerando uma distribuição irregular da resina com as fibras de açaí, ocasionando a formação de grumos no painel.



Figura 3.17. Homogeneização manual (a) pré-mistura (b) Misturador planetário

No entanto, foi criado e aplicado um novo processo de homogeneização por ar comprimido, que consistiu na aplicação da resina poliuretana às fibras, utilizando dispositivo de ar comprimido, por aproximadamente 5 min. Esta metodologia em escala de laboratório visou à simulação de um processo industrial de mistura da resina às fibras lignocelulósicas. Após a aplicação desse novo processo foi verificada após a confecção do painel a distribuição homogênea e aderência das fibras com a resina, conforme **Figura 3.18**.



Figura 3.18. Homogeneização mecânica (a) Tambor de PVC e pistola de ar comprimido (b) Aplicação de resina.

Pré-moldagem: Após a mistura, as fibras do açaí com a resina poliuretana de óleo de mamona foram devidamente distribuídas, em um molde formador com dimensões de 40 x 40 x 10 cm³, formando imediatamente o colchão de partículas (**Figura 3.19**).



Figura 3.19 .Etapas de pré-moldagem: a) Moldagem, b) pré-prensagem e c) formação do colchão de açaí e resina.

Prensagem e acondicionamento: Finalmente o colchão foi submetido a prensagem numa prensa hidráulica com aquecimento, por um período de 10 min, a uma pressão de 5 MPa e temperatura de 100 °C (**Figura 3.20a**). Após o processo de prensagem, os painéis produzidos (**Figura 3.20b**) permaneceram por 72 h em processo de estabilização, até o procedimento de corte dos corpos de prova.

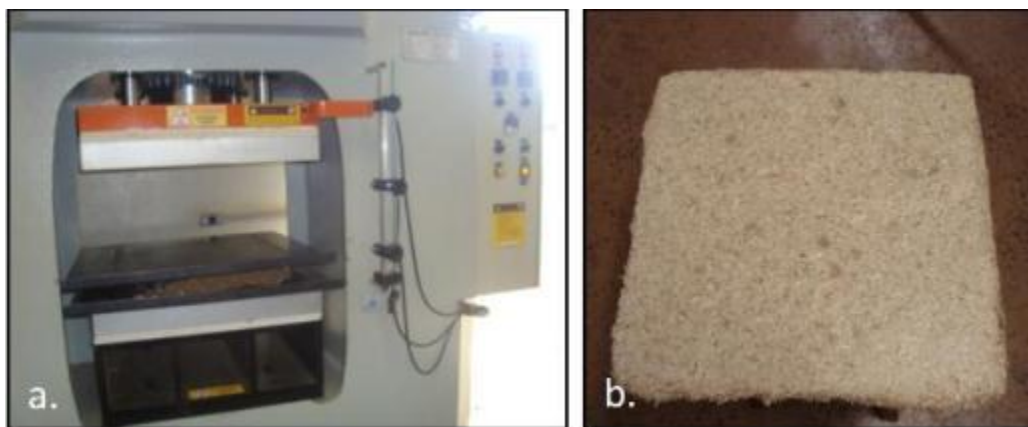


Figura 3.20. (a) Prensagem a quente com prensa hidráulica; Ecopainéis de fibras de açaí (b) naturais c) com NaOH.

3.4.1 Caracterização dos painéis particulados de fibras de açaí e resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona

Neste item estão descritos os procedimentos de ensaios para a caracterização físico-mecânica dos painéis de partículas, seguindo os preceitos da norma ABNT NBR 14810 (2006) – Chapas de madeira aglomerada – Métodos de ensaio, determinando as seguintes propriedades: densidade, inchamento, absorção, módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática, resistência da adesão interna e arrancamento de parafuso (topo e superfície). Os resultados obtidos foram comparados com aqueles indicados pelas normas ABNT NBR 14810 (2006) – Chapas de madeira aglomerada – Requisitos e a norma ANSI 42 A208.1 (1999) – *Particleboard*.

- **Determinação e obtenção dos corpos de prova**

O dimensionamento e distribuição dos corpos de prova nos painéis particulados de fibras de açai (MDP) foram realizados com base na norma ABNT NBR 14810 (2006) e para a obtenção dos corpos de prova foi realizado cortes por meio de uma serra circular esquadrejadeira, conforme a **Figura 3.21**.

Foram confeccionados 4 painéis de (40 x 40 x 1 cm) de fibras in natura, para produção dos corpos de prova visando os ensaios de caracterização tecnológica para posterior análise estatística comparativa com os resultados obtidos do tratamento selecionado na etapa 3 a serem discutidos e analisados no capítulo 4.

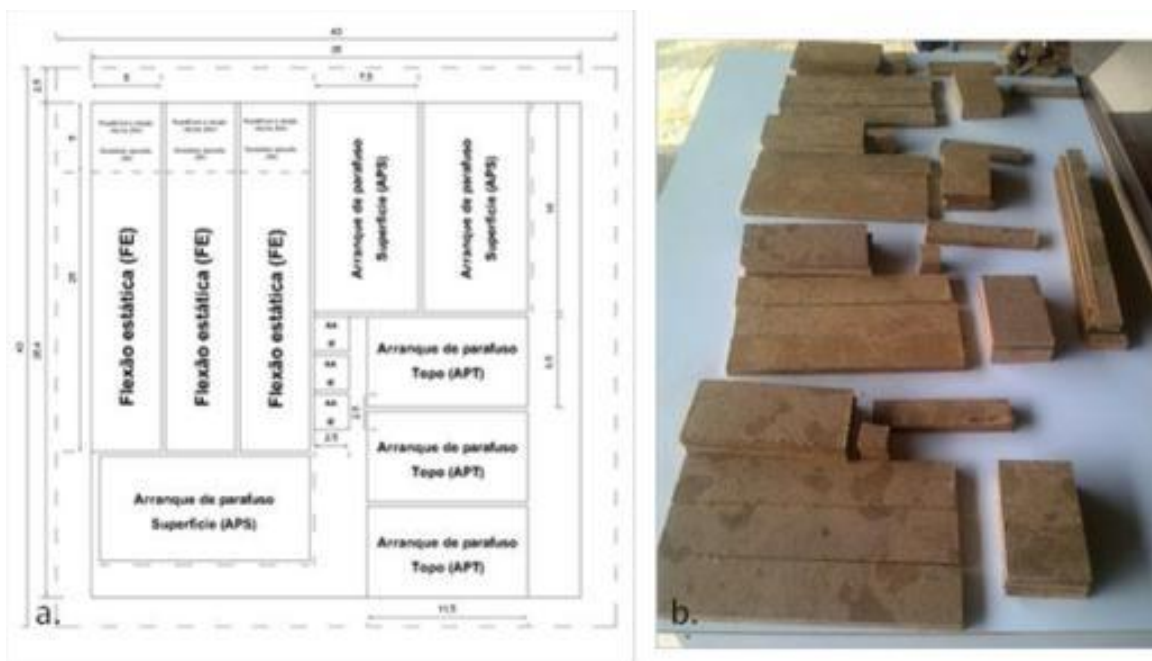


Figura 3.21. Amostragem dos corpos de prova dos painéis de fibras de açai para os ensaios de qualidade tecnológica. (a) Disposição e distribuição dos corpos de prova, sendo destinados para: AA: Absorção de água; IE: Inchamento em espessura FE: Flexão estática; RAI: Resistência da adesão interna, DA: Densidade aparente APt: Arrancamento de parafuso (topo) APs: Arrancamento de parafuso (superfície) (b) Corte.

A extração dos corpos de prova foi realizada, por meio da distribuição dos corpos de prova em cada ecopainel fabricado, conforme a **Tabela 3.4**.

Tabela 3.4. Distribuição dos corpos de prova nos ecopainéis

Propriedades	Quantidade de corpos de prova por painel
Absorção de água (AA)	3
Inchamento em espessura (IE)	3
Densidade Aparente (D)	3
Resistência à Flexão estática (MOR/MOE)	3
Resistência da adesão interna (RAI)	3
Arrancamento de parafuso (Topo)	3
Arrancamento de parafuso (Superfície)	3

• **Caracterização física dos ecopainéis**

Neste item são descritos os procedimentos de ensaios para a caracterização física dos ecopainéis de fibras de açaí como listado na **Tabela 3.5**.

Tabela 3.5. Propriedades físicas que foram determinadas nos painéis

Propriedade	Metodologia de determinação
Densidade Aparente Dap (kg/m³)	Esta propriedade foi determinada em corpos de prova de painéis (50 x 50 mm), verificando a relação entre massa do corpo e o volume do mesmo. $D = \frac{M}{V} * 100000$ Onde: D = densidade do CP em kg/m ³ ; M = massa do CP em g; V = volume do CP em mm ³ .
Inchamento em espessura IE (%)	Foi avaliado o inchamento em espessura de corpos de prova de (25 x 25 mm) imersos em água (2h e 24 horas a 20 °C). $I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100$ I = inchamento em espessura do CP (%); E ₁ = espessura do CP após imersão, em mm; E ₀ = espessura do CP antes da imersão (mm)
Absorção de água Abs (%)	Foi avaliado o inchamento em massa de corpos de prova de (25 x 25 mm) imersos em água (2h e 24 horas a 20 °C). $A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} * 100$ A = absorção de água (%); M ₁ = peso do CP após imersão, (g) M ₀ = peso do CP antes da imersão, em g.

- **Caracterização Mecânica**

Neste item estão descritos os procedimentos de ensaios para a caracterização mecânica dos ecopainéis de fibras de açaí e resina bicomponente poliuretana de óleo de mamona. O equipamento utilizado para estes ensaios foi a máquina universal de ensaios modelo DL30000, marca EMIC do Laboratório da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo – FZEA USP Pirassununga, seguindo as recomendações da NBR 14810:2006 e detalhado na **Tabela 3.6**.

Tabela 3.6. Propriedades e metodologia de determinação de propriedades mecânicas para os Ecopainéis de fibras de açaí.

Ensaio	Dimensões dos corpos de prova (CP)/ Velocidade de ensaio	Metodologia de determinação
Resistência à flexão estática Módulo de elasticidade (MOE)	270 x 50 mm 7 mm/min	$MOE = \frac{(P_1 * D^3)}{d * 4 * B * (E)^3}$ $MOE = \frac{(P_1 * D^3)}{d^4 * B * (E)^3}$ MOE = módulo de elasticidade, em MPa; P_1 = carga no limite proporcional, em N; D = distância entre apoios do aparelho, em mm; d = deflexão, expressa em mm, correspondente à força P; B = largura do CP, em mm; E = espessura, em mm.
Resistência à flexão estática Módulo de Ruptura (MOR)	270 x 50 mm 7 mm/min	$MOR = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E)^2}$ MOR = módulo de ruptura, em MPa; P = carga de ruptura, em N; D = distância entre apoios do aparelho, em mm; B = largura do CP, em mm; E = espessura, em mm.

Resistência à tração perpendicular Resistência da adesão interna (RAI)	50 x	$AI = \frac{P}{S}$ AI= resistência à tração perpendicular, em MPa; P = carga de ruptura, em N; S = área da superfície do CP, em mm ² .
	50	
	mm	
	4 mm/min.	
Arrancamento de parafuso Arrancamento de parafuso (RAp)	Superfície 15 x 7,5 cm Topo 11 x 6,5 cm 15mm/min	O resultado é a média dos valores obtidos através da leitura direta no indicador de cargas da máquina universal de ensaios expressada em Newtons.

A **Figura 3.22** apresenta os ensaios mecânicos dos corpos de prova dos ecopainéis de aço e resina poliuretana à base de óleo de mamona (MDP).

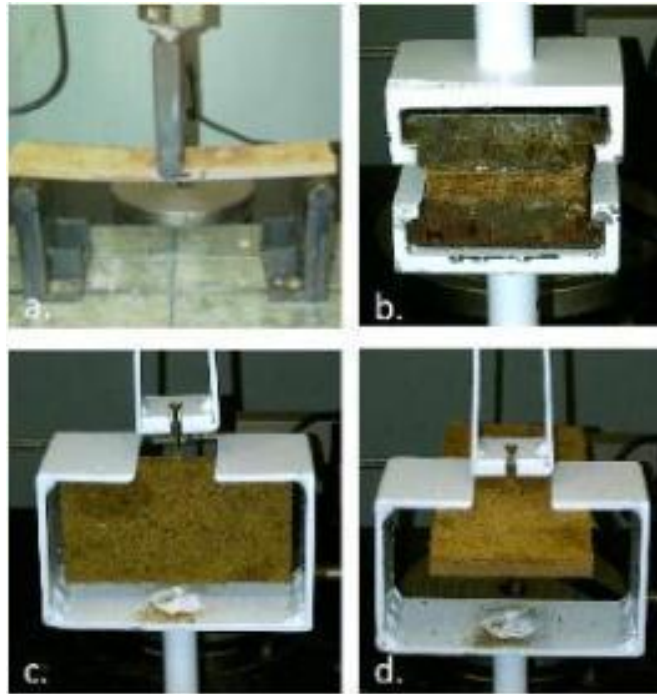


Figura 3.22. Ensaios mecânicos (a) Flexão a três pontos (b) Resistência à tração perpendicular; Arrancamento de parafuso, (c) Topo (d) Superfície. Fonte. Autor

3.4.2 Caracterização Microestrutural

- **Microscopia eletrônica de varredura (MEV)**

Com o objetivo de analisar a morfologia dos ecopainéis, amostras foram retiradas com dimensões de aproximadamente 15 x 15 mm, dos corpos de prova dos dois tipos de ecopainéis fabricados, para a realização da análise da imagem por MEV. As imagens de MEV foram obtidas por meio de um microscópio da marca Hitachi e modelo *Analytical TableTop Microscope* TM3000 do laboratório multiusuários do Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP).

CAPITULO 4

Neste capítulo são apresentados os principais resultados com discussões e conclusões referentes: (1) Caracterização anatômica, física, química, microestrutural dos feixes fibrosos; (2) Análises estatísticas dos tratamentos biológico e químico das fibras; (3) Análises estatísticas das propriedades físico-mecânicas dos ecopainéis de partículas de fibra de açai.

4.1 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA, QUÍMICA E MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DAS FIBRAS DO AÇAÍ

4.1.1 Caracterização Anatômica

Para um melhor conhecimento das fibras (tecido vascular) do fruto do açai, analisou-se o mesocarpo dos constituintes celulares. A **Figura 4.1** identifica as principais partes do caroço, tanto a parte comestível quanto o tecido fibroso.

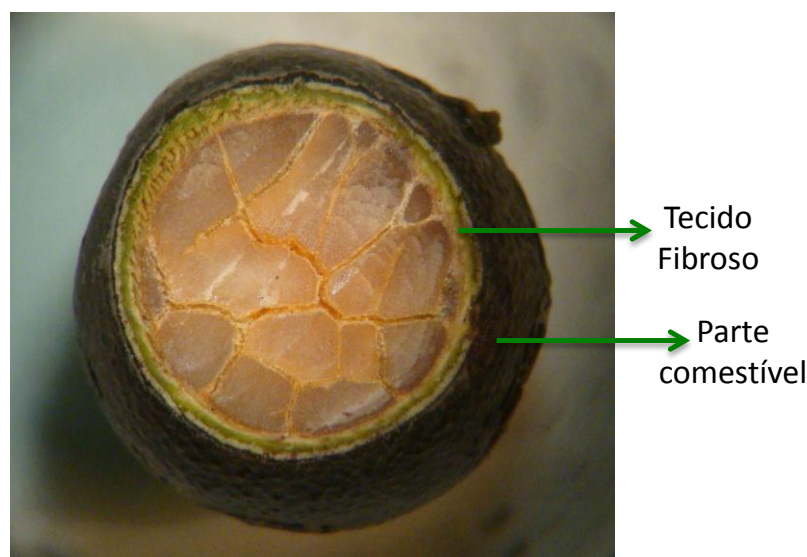


Figura 4.1. Imagem da composição do caroço. Fonte. Autor.

A “fibra” , o tecido vascular (feixe fibroso) do fruto é constituído por traqueídes, esclereídes e fibroesclereídes. O envoltório desse feixe é formado por fibroesclereídes com numerosos stigmata (corpos silicosos) ao longo de suas paredes. O elemento de condução do xilema está constituído apenas por longas traqueídes, com espessamento helicoidal das paredes. As esclereídes e fibrotraqueídes associadas apresentam vários apêndices, geralmente nas porções terminais dessas células, resultante do crescimento intrusivo. Esses apêndices encaixam-se uns aos outros, constituindo apenas um dos elementos que poderão proporcionar resistência ao tecido, o qual serviu de subsídio aos testes tecnológicos no aproveitamento industrial das fibras (**Figura 4.2**)

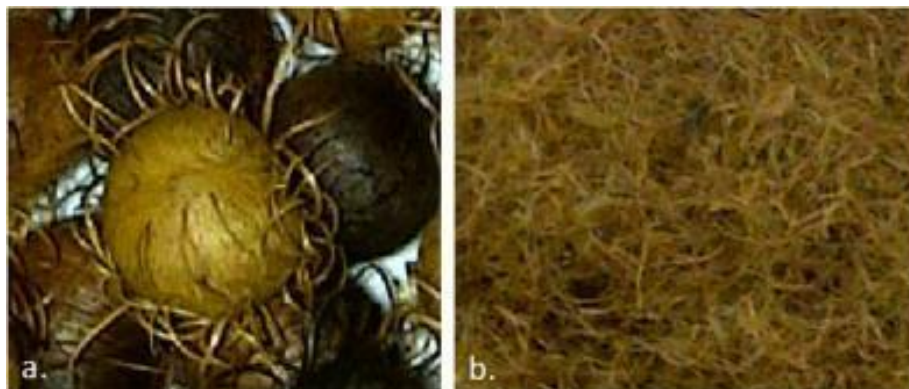


Figura 4.2. (a) Fruto com tecido fibroso; (b) Feixes fibrosos. Fonte: Autor

Na **Figura 4.3** são apresentadas imagens obtidas do feixe vascular do fruto de *Euterpe oleracea* Mart., o açaí e suas principais células constituintes, as quais foram conceituadas.

Fibra: célula componente do tecido de sustentação, alongada, com lume reduzido, devido à presença de paredes secundárias espessas, com variado grau de lignificação e poucas pontuações. Pode ou não apresentar protoplasto vivo na maturidade.

Traqueídeo ou traqueíde: célula componente do tecido vascular (xilema) com as funções principais de condução de H₂O, sais minerais e secundárias de sustentação.

Esclereíde: célula componente do tecido de sustentação de formato variável, mas caracterizadamente não muito alongada, possuindo paredes secundárias lignificadas espessas providas de numerosas pontuações.

Célula parenquimática: refere-se à célula com protoplasto vivo que possui de uma a várias atividades fisiológicas da planta, tais como: reserva, preenchimento, secreção etc, possuindo a capacidade de diferenciar-se em qualquer outro tipo de célula.

Stegmatas: células que possuem óxido de silício em seu conteúdo e podem assumir diversas formas.

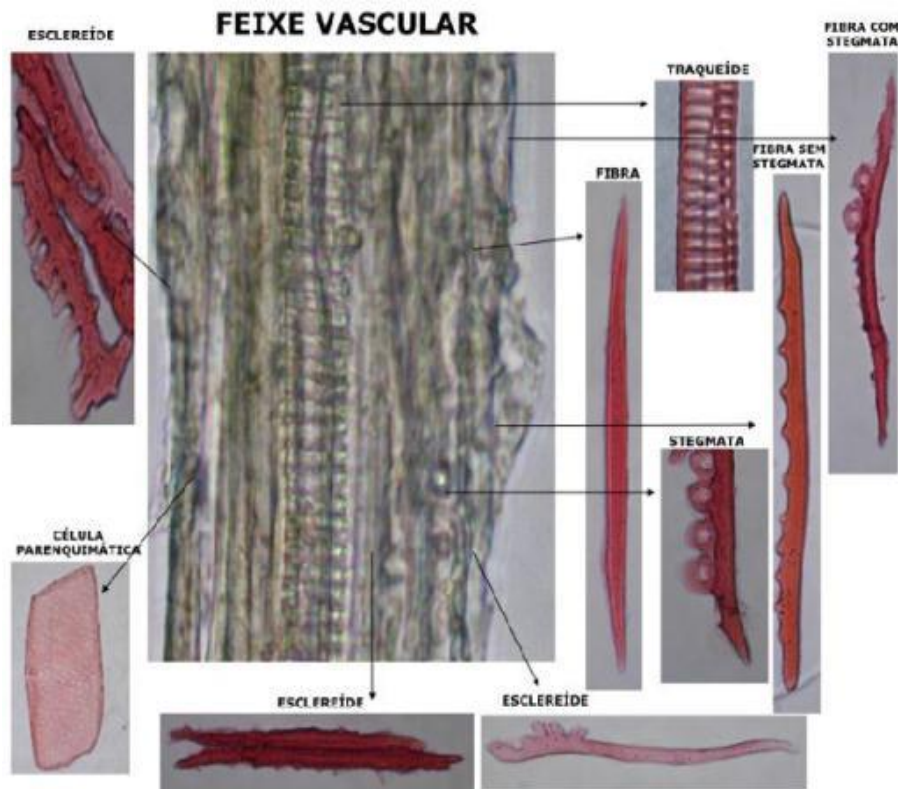


Figura 4.3. Feixe vascular do fruto do açai. Fonte. Autor

Na seção 4.2 foi amplamente discutida a importância dos constituintes e cristais de sílicas nos resultados da resistência mecânica das fibras do açaí após os tratamentos biológicos e químicos. No entanto, também, pode-se adiantar que principalmente devido a grande quantidade de esclereídes e fibrotraqueídes constituídos de numerosos apêndices presentes nas paredes das fibras celulósicas (feixes vasculares), foram obtidas maior aglomeração das partículas, compactação do colchão e maior aderência das fibras celulósicas (feixes vasculares) com a resina no processamento dos compósitos. Essas assertivas são importantes porque pode ser explicado o desempenho físico e mecânico desses compósitos, conforme serão apresentados em detalhes na seção 4.1.3.

A resistência de folhas e caules de palmeiras é atribuída aos corpos silicosos localizados em células especializadas chamadas de 'stegmata' e que a morfologia dessas algumas vezes é de valor diagnóstico taxonômico [TOMLINSON, 1961; UHL et. al., 1987].

4.1.2 Caracterização Física

A **Tabela 4.1** e a **Figura 4.4** apresentam os dados resumidos e obtidos para as propriedades físicas das fibras do açaí. A densidade das fibras do açaí foi obtida tendo como resultado da média da densidade real de $1,351 \text{ g/cm}^3$ para as fibras de NaOH a 0,5% e $1,362 \text{ g/cm}^3$ para as fibras de referência natural. Estes valores estão bem próximos daqueles encontrados por Fagury (2005), para as fibras açaí (*Euterpe oleraceae*) cuja densidade aparente encontrada foi de $1,308 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 4.1. Propriedades Físicas da Fibra do Açaí

Propriedade	Unidade	Valor	CV (%)
Densidade real com tratamento NaOH	g/cm ³	1,351	0,014
Densidade real da fibra Referencia – Natural	g/cm ³	1,362	0,007
Regain	%	4,16	21,49
Porosidade	%	444,95	9,6
Comprimento	Mm	22 ± 8,7	
Diâmetro	Mm	0,11 ± 0,03	
Absorção de Umidade	%	8,0 ± 2	

Foi observado que as fibras vegetais possuem espessuras variáveis, e como a secção transversal poligonal variando ao longo da fibra. No entanto, a fibra foi considerada perfeitamente circular e com diâmetro constante para simplificar a análise para determinar os diâmetros aparentes em diferentes partes dos feixes vasculares (fibras).



Figura 4.4. Mensuração dos feixes fibrosos (a) Amostra 1 (b) Amostra 2.

- **Análise Granulométrica**

Para a confecção laboratorial dos ecopainéis e após o processo de moagem as fibras do açaí foram levadas ao equipamento vibratório explicado na seção 3.2.4; e as avaliações exploratórias de classificação granulométrica indicaram que a fração do material não conseguiu atravessar as peneiras do

equipamento vibratório, isto se deve, principalmente, ao comportamento morfológico estático da fibra do açaí (Figura 4.5Figura 4.5). Portanto, não se obteve a classificação granulométrica e então foi estabelecido como matéria prima o comprimento das fibras de até 8 mm, obtido por meio do processo de moagem.



Figura 4.5. Classificação granulométrica a) equipamento vibratório b) agrupamento de fibras dentro da peneira

4.1.3 Caracterização química e microestrutural

- **Propriedades química das fibras celulósicas**

É amplamente conceituado que os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, a hemicelulose e a lignina, com menores proporções de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água. A composição química da fibra varia ligeiramente de acordo com a região extraída (caule, fruto ou folha), da região de cultivo, do tipo de solo e das condições climáticas.

Rowell *et al.*, (1997), demonstraram que a composição química de fibras lignocelulósicas influencia suas propriedades mecânicas e estrutura física, sendo que o conteúdo de lignina e hemicelulose presente em fibras, como a de sisal, têm efeito sobre a resistência à tração (CHAND *et al.*, 1988). Conforme salientado por Bisandra *et al.*, (1992) geralmente a resistência a tração e a rigidez das fibras dependem do conteúdo de celulose e do ângulo da espiral de microfibrilas da parede celular secundária interna faz em relação ao eixo da fibra. Uma fibra

natural e elementar é essencialmente um compósito natural no qual microfibrilas rígidas de celulose são envolvidas em uma matriz amorfa de lignina e hemicelulose. A lignina atua como matriz, unindo as microfibrilas, enquanto a hemicelulose age como interface entre a lignina e as microfibrilas de celulose (NABI SAHEB e JOG, 1999; SILVA, 2003).

Recentemente, Fonseca *et al.*,(2013) estudaram as propriedades anatômicas, químicas e físico-mecânica da fibra de jacitara para aproveitamento deste material como reforço lignocelulósico em compósito. Os autores concluíram que o elevado teor de celulose pode contribuir para a resistência à tração das fibras e que as microfibrilas da jacitara exerce uma grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas. Além disso, o conteúdo de lignina encontrado nas fibras foi cerca de 15% que, segundo os pesquisadores, proporcionou resistência a tração e coesão das fibras de jacitara.

Neste estudo, o conteúdo total de lignina média, celulose e hemicelulose das fibras do açaí após o processo alcalino em NaOH (0,5%) autoclave e o processo natural(referência) é apresentado e comparado com outras fibras vegetais da Amazônia na **Tabela 4.2**.

O teor de lignina em fibras do açaí tratadas com a 0,5% de NaOH é em média 33,22%, enquanto a fibra (referência) contém 30,35%. Tais resultados podem ser considerados muito próximos entre si. Verificou-se, portanto, que não houve perda de lignina significativa durante o processo da fibra de referência. No entanto, após o tratamento com NaOH, provavelmente ocorreu um aumento no percentual de lignina devido principalmente à retirada dos ácidos graxos (gorduras) presentes nas paredes das fibras. O tratamento de hidróxido de sódio é efetivo na melhoria da interface fibra/matriz e, dentre outros tratamentos, é o mais simples e de baixo custo (JOSEPH *et.al.*, 1999).

Esses polímeros também são importantes componentes químicos responsáveis pela rigidez da parede celular das fibras e têm influência direta sobre

a resistência à tração axial das fibras. Os resultados obtidos das fibras, principalmente, da resistência à tração axial, foram amplamente discutidos na seção 4.2; assim como, o comportamento mecânico dos ecopainéis com fibras de açaí tratadas pelo processo de mercerização alcalina com NaOH (0,5%-CT) e (natural-ST), analisados na seção 4.3.

Tabela 4.2. Dados experimentais da composição química da fibra do açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) e dados comparativos de algumas fibras vegetais utilizadas como material de reforço.

Fonte	Fibra	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
D. experimento	Açaí NaOH (NaOH-CT)	97,62	77,55	33,22	44,33	20,07
D. experimento	Açaí Natural (ST)	95,51	76,86	30,35	46,51	18,65
Satyanarana (2007)	Coco verde	NC	NC	38-41	43-53	14
Martins <i>et al.</i> , (2008),	Açaí (<i>Euterpe oleraceae</i>)	NC	NC	33	33	37
Quirino (2011)	Açaí (<i>Euterpe precatoria</i>)	NC	NC	10,16	73,92*	NC
Nogueira <i>et al.</i> (2012)	Piaçava	NC	NC	42,74	26,81	13,25
Marques (2009)	Arumã/canela	NC	NC	14,96	65,01	NC
Portela (2010)	Buriti	NC	NC	NC	NC	NC
Faruk (2012)	Bagaço de cana	NC	NC	25,3	55,2	16,8
Faruk (2012)	Bambu	NC	NC	21-31	26-43	30
Faruk (2012)	Sisal	NC	NC	9,9	65	12
Faruk (2012)	Curauá	NC	NC	7,5	73,6	9,9
Fonseca <i>et al.</i> , (2013)	Jacitara	NC	NC	14,2	66,1	16,8

NC: Nada Consta FDN: Fibra em detergente neutro FDA: Fibra em detergente ácido* provavelmente Holocelulose.

A composição química da fibra de açaí está na faixa encontrada normalmente em outras fibras vegetais. Mwaikambo *et al.*, (2002) abordaram que a composição química das principais fibras vegetais de interesse econômico, tais como sisal, algodão, fibra de coco, juta e linho, o teor de celulose variou de 13% a 92%, de hemicelulose variou de 1 a 28%, e o teor de lignina situou-se entre 1% e 28%. Kiruthika e Veluraja (2009) encontraram o teor de celulose cerca de 60% -

65% para a fibra de banana. Um dado importante é que as fibras da bananeira não passaram por processo de tratamento químico, segundo os pesquisadores, e apresentaram uma maior resistência a tração se comparadas àquelas tratadas em solução de kadukkai (*Terminalia chebula*), látex, pintura e verniz sintético.

Há poucos estudos que relacionam propriedades de rigidez dos compósitos particulados com a estrutura da parede celular das fibras utilizadas nos mesmos (KHA, H. *et al.*, 2007). Segundo Jarvis e MacCann (2000), as paredes celulares primárias são adaptadas para resistir aos esforços de tração, enquanto as paredes celulares secundárias também necessitam resistir a tensões de compressão. Portanto, enquanto as paredes celulares primárias podem, com vantagem, ser flexíveis e elásticas, as paredes celulares secundárias devem ser rígidas para evitar a deformação sob cargas compressivas.

Pelos resultados obtidos de teores de celulose, hemicelulose e lignina encontrados nas fibras do açaí, as citações de Jarvis e Mac Cann (2000), em relação à caracterização mecânica das paredes primárias e secundárias, corroboram com os resultados quantitativos das paredes primárias (celulose e hemicelulose) e lignina (paredes secundárias) desses polímeros naturais.

Para explicar o comportamento mecânico das fibras de açaí, foi constatado que nas paredes primárias e secundárias a presença dos cristais de sílicas (SiO_2), dispostos comprovadamente na superfície externa da parede celular (

Figura 4.6Figura 4.6). Essas sílicas são responsáveis pela rigidez da parede e, conseqüentemente, podem ser consideradas importantes parâmetros no comportamento mecânico do ecopainel.

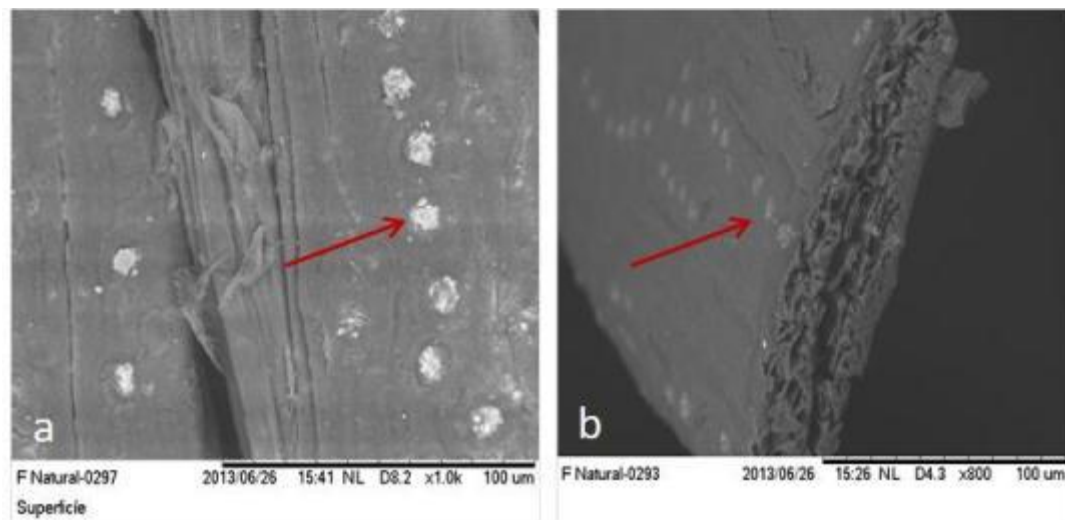


Figura 4.6. Morfologia da superfície interna e externa da fibra natural: (a) Vê-se a incrustação de sílica; (b) Distribuição aleatória das sílicas.

- **Teor de Sílica**

A presença de sílica na superfície das fibras de açaí foi identificada por imagens MEV e caracterizada quimicamente por análise elementar em EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) acoplada ao MEV.

Essas análises comprovaram a presença significativa de sílicas distribuídas tanto nas paredes internas como nas superfícies externas das fibras, conforme as imagens do MEV (**Figura 4.7**). O percentual expressivo de sílicas podem ser observados em diversos feixes vasculares das fibras naturais (ST) e nas fibras com tratamento de NaOH (0,5%-CT), nas imagens EDS do MEV (**Figura 4.8**). A morfologia das sílicas é em roseta e estão encaixadas em várias pequenas protruções globulares na superfície interna e externa da parede dos feixes fibrosos (**Figura 4.8** e **Figura 4.9**). A resistência de folhas e caules de palmeiras é atribuída aos corpos silicosos localizados em células especializadas chamadas de 'stegmata'.

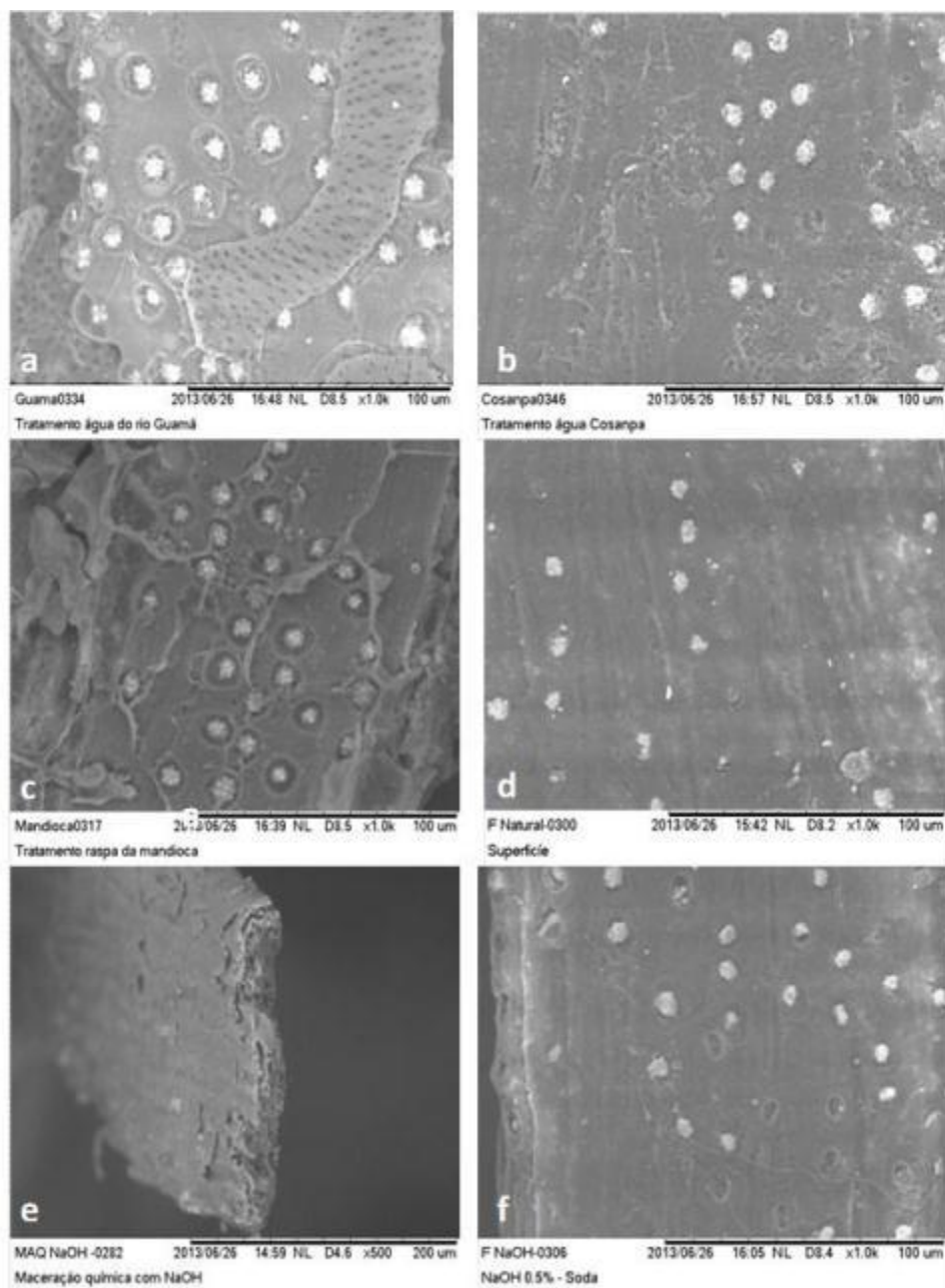


Figura 4.7. Distribuição de sílica nas fibras dos processos de mercerização: (a) Rio Guamá (RG);(b) Água Casanpa (AC); (c) Raspas da mandioca (MD); (d) (Natural); (e) NaOH (0,5%); (f) NaOH autoclave (0,5%).

A presença de compostos ricos em sílicas na forma de protruções também foram encontrados nas superfícies das fibras das palmeiras amazônicas: *Desmoncus orthacanthos* (jucitara), (KIKUCHI et. al., 2013), *Manicaria saccifera* – ubuçu (FREIRE et al., 2012) e em *Attalea funifera* Mart.(piaçava), com 52% de

SiO₂ na fibra (NOGUEIRA *et al.*, 2012). Além disso, também estão presentes nas fibras do epicarpo do coco babaçu (FRANCO, 2010).

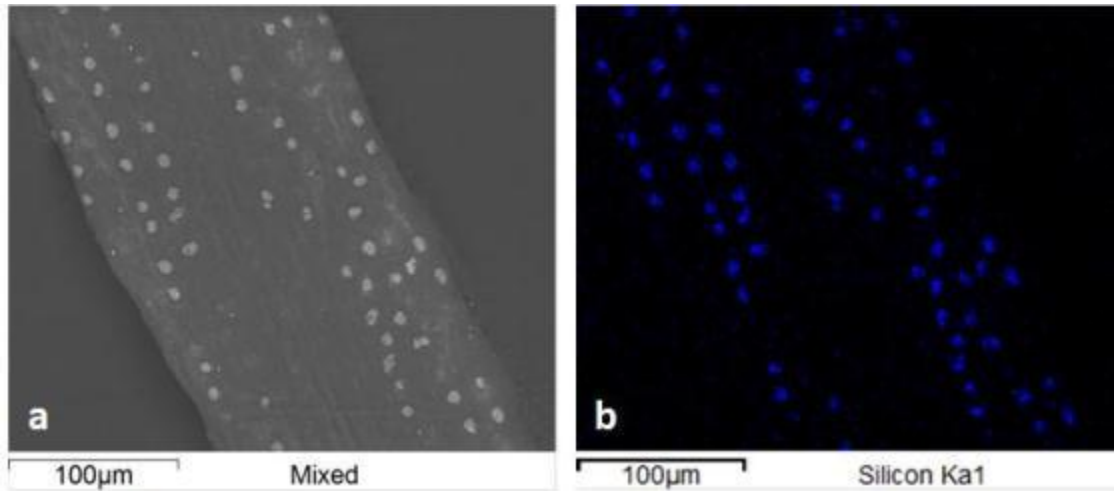


Figura 4.8. Distribuição uniforme de sílica nas fibras naturais (ST). (a). Sílicas em formato de roseta e amostras dos locais de protrusões; (b). Amostra de concentração de sílica no mapa de EDS.

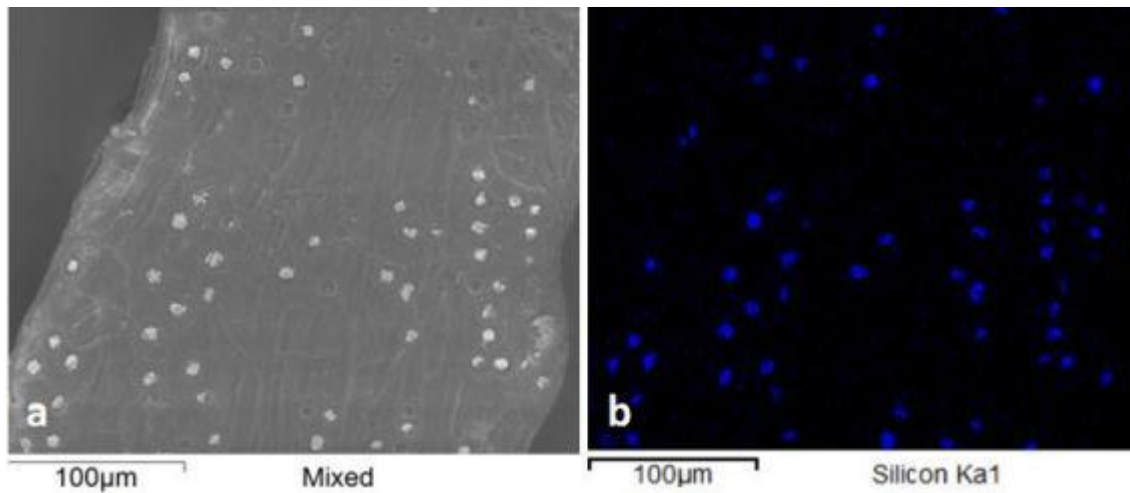


Figura 4.9. Distribuição irregular de sílica nas fibras com tratamento de NaOH (0,5%, CT). (a). Partículas de SiO₂ em formato de roseta e locais de protrusões sem a presença SiO₂ em função do NaOH; (b). Amostra de concentração de sílica no mapa de EDS.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS FIBRAS COM E SEM TRATAMENTO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos do ensaio mecânico de tração axial, com análise estatística da resistência, dos feixes fibrosos em cada uma das condições de tratamento (biológica, química) e natural (referência).

4.2.1 Fibras de açaí natural (referência)

Os resultados obtidos de resistência à tração do açaí (16,4 MPa) está abaixo dos resultados obtidos por algumas fibras vegetais. Contudo as características morfológicas anatômicas, químicas e físicas contribuem com a utilização da fibra para fabricação de compósitos lignocelulósicos, como poderá ser observado na seção 4.4. Pesquisas recentes, Fonseca *et al.*, (2013) e Satyanarayana *et al.*, (2007) sobre as propriedades mecânicas de fibras naturais, apresentaram os resultados da resistência à tração das fibras de Jacitara, de coco verde, banana e bagaço de cana, os quais são comparados com os da fibra do açaí (**Tabela 4.3**).

Tabela 4.3. Comparação de resistência máxima à tração de fibras vegetais agroindustriais com fibras de açaí.

Fibra	Tensão à tração (MPa)
Jacitara ^a	24,2-113,2
Banana ^b	142,9
Coco verde ^c	65
Bagaço de cana ^b	222
Curauá ^b	500-1150
Açaí - dado experimental-Natural	16,4

^aFonseca *et al.*, (2013)., ^b Satyanarayana *et al.*, (2007)., ^c Pereira (2012)

4.2.2 Condição experimental biológica (Maceração)

A **Tabela 4.4** apresenta os resultados de resistência à tração máxima das fibras de açaí tratadas por maceração biológica (espontânea e induzida), de acordo com as condições experimentais nos materiais e métodos, juntamente com a condição de referência, sendo \bar{x} a média amostral, *Cv* o coeficiente de variação e *Mín* e *Máx* são os menores e os maiores valores encontrados, respectivamente.

Tabela 4.4. Resultados de resistência à tração máxima de fibras tratadas por maceração biológica: espontânea e induzida.

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO MÁXIMA (MPa)				
Condição experimental	Média (\bar{x}) (MPa)	CV (%)	Mín.	Máx.
C1(2%)	18,20	34	11,79	29,94
C2(4%)	16,82	36	10,74	29,03
C3(6%)	17,18	33	9,48	25,26
C4(2%)	17,00	35	9,28	25,50
C5(4%)	18,73	31	10,43	32,29
C6(6%)	16,85	28	11,70	26,19
C7(2%)	26,26	25	17,78	36,13
C8(4%)	18,46	34	10,72	26,83
C9(6%)	16,33	27	9,75	23,54
Condição de referência	16,48	25	9,96	24,13

Condição experimental - C1 a C3: Rio Guamá; C4 a C6: Água da Consanpa e C7 a C9: Raspa de Mandioca.

Pesquisas sobre processo de extração de maceração biológica espontânea para obtenção de fibras amazônicas são escassas na literatura. Furtado (2002) é uma das poucas pesquisas existentes sobre a extração de fibra por processo de maceração biológica espontânea. O autor realizou estudo de processo de maceração biológica espontânea para obtenção das fibras de Aninga (Família das Aráceas da região metropolitana de Belém-Pará) e avaliou a resistência mecânica à ruptura por tração. Com o resultado desse estudo, foi comprovado que não

houve queda apreciável nos valores médios de tensão de ruptura e na tenacidade das fibras após o tratamento pelo processo de mercerização, registrando os valores médios da tensão de ruptura de 84 MPa.

No presente trabalho, o valor médio de resistência à tração máxima axial para as fibras do açaí após o processo de maceração biológica espontânea (**Tabela 4.4**) nas três condições experimentais, ou seja, utilizando as águas do rio Guamá (RG), água da Consanpa (AC) e a raspa de mandioca (MD), demonstraram que a melhor condição de maceração biológica espontânea foi a C7, com raspa de mandioca a 2% de água, apresentando como resultado de resistência à tração máxima o valor médio de 26,3 MPa e 25% de coeficiente de variação (CV%).

Não foram encontrados resultados na literatura de resistência a tração axial para fibras vegetais tratadas mediante maceração biológica induzida na condição MD (C7). Desta forma, não foi possível comparar os resultados de tração axial máxima das fibras de açaí obtidos da maceração biológica induzida com outras fibras naturais.

Na Figura 4.10 são mostradas as imagens de MEV das fibras do açaí após as três condições experimentais de maceração biológica. Observa-se que a fibra tratada com raspa de mandioca (MD) (Figura 4.10a), apresenta na superfície sílicas (SiO_2), enquanto que na superfície da fibra do açaí na condição do rio Guamá (RG), observa-se a retirada das sílicas, demonstrada por meio dos espaços vazios das cavidades globulares, além da degradação do tecido fibroso, indicada na Figura 4.10b. Na superfície da fibra da condição experimental água Cosanpa (AC), observa-se à presença de poucas sílicas (SiO_2), como também os espaços vazios nas cavidades (Figura 4.10c).

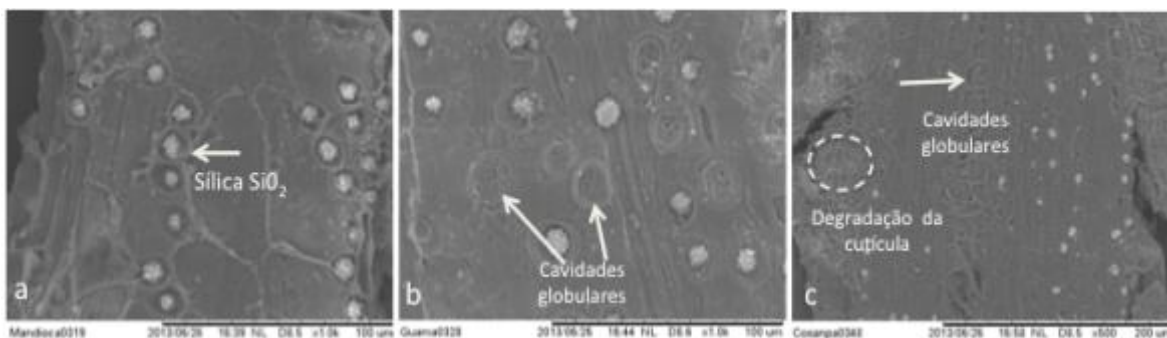


Figura 4.10. Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Fibras do açaí submetidas aos processos de maceração biológica: (a) Raspa da Mandioca (MD); (b) rio Guamá (RG); (c) Água Cosanpa (AC).

O P-valor encontrado pelo teste de Anderson-Darling foi inferior a 0,05, implicando não ser normal a distribuição dos valores de resistência à tração axial para maceração biológica: espontânea e induzida, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência à tração axial das fibras do açaí

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.007
Bartlett	0.982
Levene	0.919

De maneira a atender ao quesito de normalidade exigido pela ANOVA, foi-se realizada a transformada de Johnson. Com os dados transformados e normalizados foi avaliada a distribuição e a equivalência entre variâncias. Os resultados transformados da resistência à tração máxima apresentam distribuição normal e equivalência das variâncias entre as condições experimentais investigadas validando o uso do modelo ANOVA conforme a

Tabela 4.6. Os P-valores superiores ao nível de significância adotado (0,05) indicaram que não há diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 4.6. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.986
Bartlett	0.945
Levene	0.826

A Tabela 4.7 apresenta os resultados da ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras de açaí. O P-valor sublinhado é considerado significativo (P-valor<0,05). Constata-se que os fatores individuais não foram significativos na resistência máxima à tração das fibras, conduzindo a resultados equivalentes independente do tipo e da concentração de água. Entretanto, a interação entre os fatores concentração de água (%A) e tipo de maceração biológica (M) foi significativa.

Tabela 4.7. Resultados tratados (dados transformados) da resistência máxima à tração axial pelo método ANOVA.

FV	GL	QM	SQ	F	P - valor
M	2	169,8922935	84,94615	2,53	0,0862
%A	2	200,5579146	100,279	2,98	0,0563
M* %A	4	355,8145741	88,95364	2,65	<u>0,0393</u>
Error	81	2723,749163	33,62653		
Corrected	Total	89	3450,997		

M: Mercerização, %A: Concentrações de água. FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade. SQ: soma dos quadrados, SQ Ajust: soma dos quadrados ajustados, QM Ajust. a média dos quadrados ajustados, F: estatística F de Snedecor e P-valor a probabilidade P

A Tabela 4.8 apresenta os resultados da interação para o desdobramento entre os tratamentos de maceração biológica rio Guamá (RG), água da Cosanpa (AC) e raspas de mandioca (MD) em cada uma das concentrações (2, 4 e 6%). Analisando pelo teste Tukey o efeito dos tratamentos com a concentração de água 2%, não foi encontrada diferença estatística entre os tratamentos realizados com a água do rio Guamá (RG) e água da Cosanpa (AC) com (P valor 0.999). Constatou-se que os resultados foram significativos para os tratamentos com a concentração de 2% de casca de mandioca (P valor 0,001), como indica a Figura 4.11.

Tabela 4.8. Resultados da ANOVA para o desdobramento dos tratamentos de maceração biológica para cada concentração de água na resistência máxima à tração axial

Concentração de água (%)	FV	QM	SQ	F	P-Valor
2	2	507,606647	253,803	7,55	0,001
4	2	18,299303	9,14965	0,27	0,7625
6	2	0,541386	0,27069	0,01	0,992

Adotando P-valor superior ao nível de significância (0,10), foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos rio Guamá (RG) e raspas de mandioca (MD) com (P-valor 0,0612). Além disso, foi encontrada diferença entre os tratamentos de água da Cosanpa (AC) e raspas de mandioca (P-valor 0,0166). Entretanto, considerando as variáveis envolvidas nos tratamentos por maceração biológica (qualidade da água e tempo de coleta) que podem interferir no controle do processo.

Portanto, considerando o P-valor < 0,05, indica que o melhor tratamento investigado foi o proveniente das raspas da mandioca (MD) a 2% de concentração (C7), sendo em média 44% e 54% superior à resistência máxima à tração das fibras tratadas com 2% de água do rio Guamá (RG, C1) e 2% de água da empresa cosanpa (RC, C4), respectivamente.

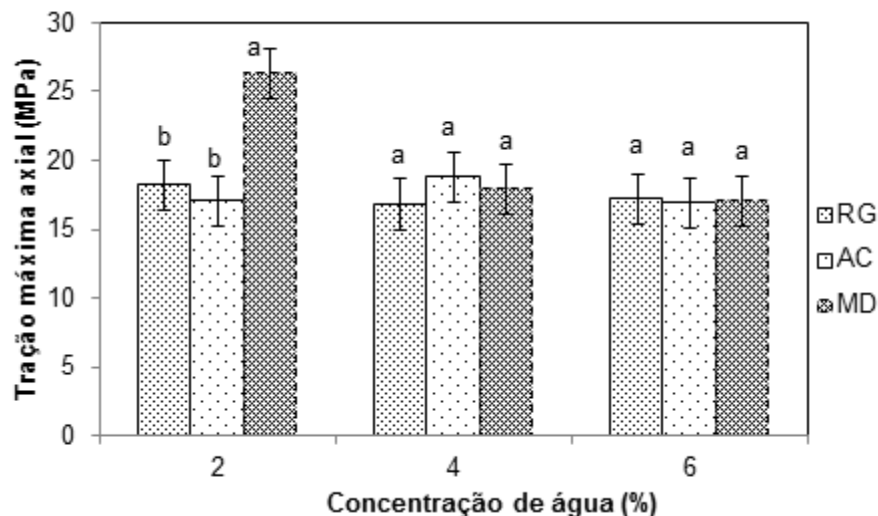


Figura 4.11. Gráfico dos efeitos do desdobramento dos tratamentos de maceração biológica para cada concentração de água na resistência máxima à tração axial. Letras minúsculas iguais indicam que os resultados não diferem entre si pelo teste Tukey.

A Tabela 4.9 lista os resultados do teste de normalidade e homogeneidade de variância para o módulo de resistência à tração das condições de referência e de maceração biológica-raspa de mandioca (C7, MD a 2%). Como os P-valores encontrados são superiores ao nível de significância (5%), fica constatada a normalidade na distribuição da resistência máxima à tração e a equivalência das variâncias entre as condições, indicando o uso do modelo ANOVA.

Tabela 4.9. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.425
Bartlett	0.193
Levene	0.084

A **Tabela 4.10** apresenta os resultados da ANOVA para a resistência à tração axial das condições de referência e maceração biológica induzida (C7). Pelo P-valor encontrado ser inferior a 5%, constata-se que o tratamento das fibras

com 2% de raspas de mandioca foi significativamente maior na resistência máxima à tração. A **Figura 4.12** apresenta o gráfico de efeitos principais (Tratamentos: C7 e fibras de referência) sobre resistência à tração axial.

Tabela 4.10. Resultados da resistência máxima à tração de fibras de referência e tratadas por maceração biológica-raspa de mandioca (C7) e tratados pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	MQ	F	P-valor
Condição	1	478,10	478,10	16,31	0,001
Erro	18	527,80	29,30		
Total	19	1005,9			

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM: média dos quadrados, F: estatística F de Snedecor, P-valor: probabilidade P

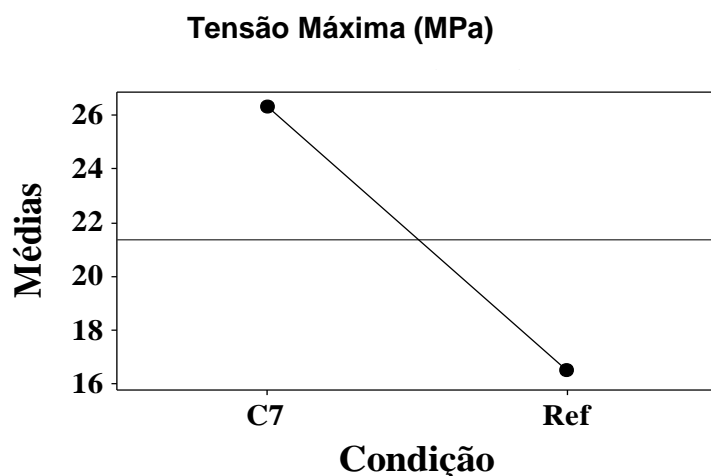


Figura 4.12. Gráfico de efeitos principais para a resistência máxima à tração (C7 e fibra referência).

Os valores de resistência à tração axial das fibras de açaí tratadas com 2% de água com raspas de mandioca (MD) foi 59% superior à das fibras de açaí da condição de referência, evidenciando a eficiência do tratamento proposto. Desse modo, as fibras tratadas MD apresentaram o valor médio de resistência à tração máxima de 26,9 MPa, o que representou significativo resultado se comparado aos resultados de 16,5 MPa da fibra de referencia.

4.2.3 Mercerização Química (Alcalina)

A **Tabela 4.11** apresenta os resultados de resistência à tração máxima em função das condições experimentais advindas do tratamento por mercerização química com NaOH e comparados com a condição de referência, sendo \bar{x} a média amostral, *Cv* o coeficiente de variação e *Mín* e *Máx* os menores e os maiores valores encontrados, respectivamente.

Tabela 4.11. Resultados da resistência máxima à tração para mercerização química

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO MÁXIMA				
Condição experimental	\bar{x} Média (MPa)	<i>Cv</i> (%)	<i>Mín.</i>	<i>Máx.</i>
N1(0,5%)	27,79	31	16,16	40,36
N2(1%)	20,58	28	12,16	29,93
N3(2%)	25,84	24	15,79	40,86
N4(0,5%)	33,40	28	16,21	46,51
N5(1%)	24,31	22	18,95	35,8
N6(2%)	26,95	25	12,06	35,36
Condição de Referência	16,48	25	9,96	24,13
Condição experimental N1a N3: NaOH; N4 a N6: NaOH autoclave				

Diversos estudos sobre a aplicação de tratamento alcalino em fibras vegetais evidenciam a melhoria das características de adesão da fibra/matriz polimérica devido ao acréscimo da rugosidade da superfície. Alguns destes estudos relacionados com tratamento superficial alcalino em fibras vegetais são relatados a seguir para comparar com os resultados de mercerização química obtidos neste trabalho.

Os resultados da resistência máxima à tração de algumas fibras vegetais com mercerização alcalina (químico) de outras fontes da literatura são apresentados na **Tabela 4.12**. Indicando valores de resistência à tração que estão

próximos ou superiores as respectivas fibras de referência, conforme a **Tabela 4.3**. Os resultados obtidos por mercerização alcalina (N1- NaOH) entre as fibras tratadas sem autoclave apresenta valor médio de tensão à tração axial de 27,79 MPa, e de 33,40 MPa (N4) entre as tratadas com autoclave. Esses resultados sugerem as mesmas tendências de aumento de resistência à tração com relação à fibra de referência, encontrada na literatura. **Tabela 4.12**.

Tabela 4.12. Resultados da resistência à tração máxima de fibras vegetais com tratamento alcalino, citado na literatura.

Autor/ano	Fibra	Tensão (MPa)
Rabi <i>et al.</i> , 2009	Coco	95
Silva <i>et al.</i> , 2006	Sisal	234-28
Goda <i>et al.</i> , 2006	Rami	151-661
Gomes <i>et al.</i> , 2004	Curauá	523-913

A Tabela 4.13 apresenta os resultados dos testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para a resistência à tração máxima das fibras de açaí para o processo de mercerização alcalina (NaOH e NaOH autoclave). Os resultados revelam que os dados da resistência à tração máxima apresentam distribuição normal e equivalência das variâncias entre as condições experimentais de tratamento de NaOH, por apresentar em ambos casos P-valor superior ao nível de significância adotado (0,05), de acordo com o modelo ANOVA.

Tabela 4.13. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.377
Bartlett	0.485
Levene	0.291

A **Tabela 4.14** apresenta os resultados da resistência à tração máxima das fibras de açaí analisados pelo método ANOVA após mercerização alcalina sem e com autoclave. O P-valor considerado significativo (P-valor<0,05) foi sublinhado. Constata-se que apenas o fator concentração de NaOH influenciou significativamente a resistência à tração axial das fibras de açaí, não sendo significativo o uso do tratamento com NaOH autoclave nem a interação entre os fatores (fontes de variação). A **Figura 4.13** apresenta o gráfico de efeitos da concentração de NaOH sobre a resistência à tração máxima.

Tabela 4.14. Resultados da resistência máxima à tração das fibras tratadas com NaOH (com e sem autoclave), analisados pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	SQ Ajust.	QM Ajust.	F	P-valor
NaOH	1	181,91	181,91	181,91	3,12	0,083
%NaOH	2	664,21	664,21	332,10	5,69	<u>0,006</u>
NaOHx%NaOH	2	50,99	50,99	25,49	0,44	0,648
Erro	54	3152,73	3152,73	58,38		
Total	59	4049,83				

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade. SQ: soma dos quadrados, SQ Ajust: soma dos quadrados ajustados, QM Ajust. a média dos quadrados ajustados, F: estatística F de Snedecor e P-valor: probabilidade P

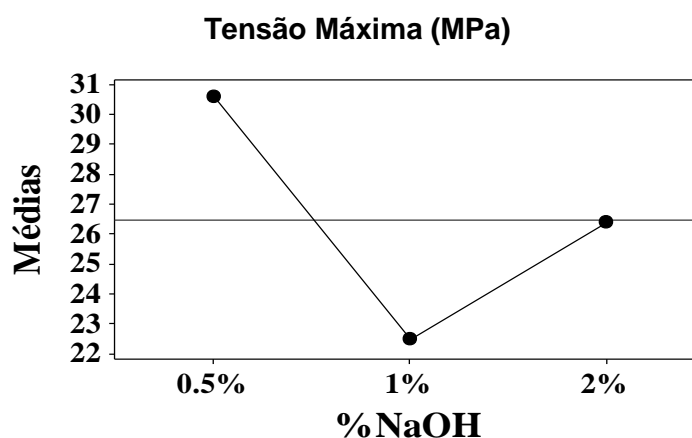


Figura 4.13. Gráfico de efeitos de concentração de NaOH sobre a resistência à tração máxima das fibras de açaí.

A **Tabela 4.15** apresenta os resultados do teste de Tukey para a resistência máxima à tração em relação aos níveis de concentração de NaOH. Letras iguais implicam em médias com tratamentos equivalentes. Os resultados revelam que o uso de 0,5% de NaOH, seja com ou sem autoclave, fornece os maiores valores de resistência máxima à tração axial. A concentração de 0,5% em massa de NaOH em água forneceu os maiores valores da resistência à tração axial máxima das fibras de açaí em torno de 36% e 16% superior em relação as fibras tratadas com 1% e 2% em massa de NaOH, respectivamente.

Tabela 4.15. Resultados do teste de Tukey para a resistência máxima à tração em função dos níveis de concentração de NaOH.

Propriedade	Concentração de NaOH		
	0,5%	1%	2%
Resistência máxima a tração axial (MPa)	30,59 ^A	22,44 ^B	26,39 ^{AB}
Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem significativamente aos 5% pelo teste Tukey.			

Entretanto, com relação a diferença de resistência mecânica entre as fibras tratadas com NaOH com e sem autoclave foi considerada não significativa pela ANOVA. Com isso, foi escolhido o tratamento NaOH sem autoclave por razões econômicas e por conta da quantidade de material disponível para analisar estatisticamente com as fibras na condição de referência.

A partir dos resultados obtidos de resistência mecânica das fibras tratadas com NaOH a 0,5% em massa (N1) foi realizada a comparação com os obtidos das fibras de referência. Para tanto, a Tabela 4.16 apresenta os resultados do teste de normalidade e homogeneidade de variância para a resistência à tração máxima das fibras de referência e N1 (NaOH (0,5%). Pelo P-valor encontrado ser inferior ao nível de significância (5%), ficou constatado que não há normalidade na distribuição e equivalência entre variâncias para a resistência à tração máxima.

Tabela 4.16. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí referência e N1 (NaOH (0,5%).

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.042
Bartlett	0.037
Levene	0.039

Desse modo, para atender ao quesito de normalidade e homogeneidade entre variâncias, exigido pela ANOVA, os valores de resistência à tração máxima das fibras tratadas (N1) e de referência foram tratados por meio da transformada de Johnson. Com os dados transformados foi avaliada a normalidade na distribuição e a equivalência entre variâncias. Os resultados revelam que os dados da resistência à tração máxima axial após a transformação de Johnson apresentaram distribuição normal e equivalência das variâncias pelo método ANOVA entre as condições experimentais referência e N1, mas ainda apresentaram em ambos os casos P-valor superior ao nível de significância adotado (0,05), indicando o uso do modelo ANOVA (Tabela 4.17).

Tabela 4.17. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para os dados transformados de resistência à tração axial das fibras do açaí: referência e N1 (NaOH (0,5%).

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.711
Bartlett	0.937
Levene	0.771

A **Tabela 4.18** apresenta os resultados pelo método ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras de referência e tratadas na condição N1. Pelo P-valor encontrado ser inferior a 5%, constata-se que diferença de resistência máxima à tração axial entre as fibras com o tratamento com 0,5% de NaOH e de referência foi significativa. A **Figura 4.14** apresenta o gráfico de efeitos do tratamento alcalino (N1) sobre a resistência à tração máxima quando comparada com as fibras de referência.

Tabela 4.18. Resultados pelo método ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras de referência e tratadas na condição N1.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição	1	1,3471	1,3471	13,98	0,002
Erro	18	1,7343	0,0964		
Total	19	3,0814			

FV: fonte de variação, GL: graus de liberdade, SQ: soma dos quadrados, QM :média dos quadrados, F :estatística F de Snedecor e P-valor: probabilidade P

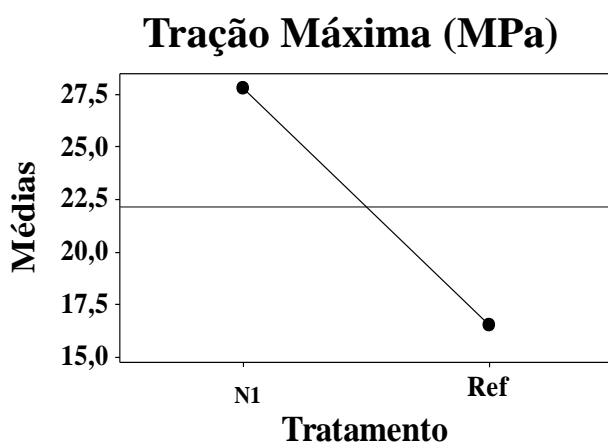


Figura 4.14. Gráfico de efeitos do tratamento com NaOH na condição N1 sobre a resistência à tração máxima das fibras de açaí.

O valor médio de resistência à tração máxima das fibras de açaí tratadas com 0,5% de NaOH, (N1), é 68% superiores ao valores das fibras de açaí de referência.

4.2.4 Análise entre os tratamentos: biológico induzido e químico

Definido o melhor tratamento por maceração biológica (MB, C7) e por escolha por questões econômicas a mercerização química (MQ, N1), sendo ambos superiores à resistência máxima à tração da condição de referência (natural), objetivou-se identificar o melhor dentre os tratamentos, N1 ou C7. Para tanto, assim como realizado anteriormente, a análise de variância foi empregada, de maneira a evidenciar as possíveis diferenças entre os dois tratamentos. A

Tabela 4.19 apresenta os resultados do teste de normalidade (Anderson-Darling) e de homogeneidade entre variâncias (Bartlett). Pelos P-valores de ambos os testes serem superiores ao nível de significância estipulado (5%), constata-se que à resistência à tração axial dos materiais para os dois tratamentos apresentam distribuição normal e que a variâncias são equivalentes, indicando o uso do modelo ANOVA.

Tabela 4.19. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência a tração axial das fibras do açaí

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.246
Bartlett	0.396
Levene	0.397

A **Tabela 4.20** apresenta os resultados da ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras tratadas com maceração biológica e mercerização química. Pelo P-valor encontrado, constata-se que os tratamentos de mercerização química (MQ, N1) e maceração biológica (MB, C7) apresentaram valores equivalentes à resistência máxima à tração (P-valor>0,05).

Tabela 4.20. Resultados da ANOVA para a resistência à tração máxima das fibras tratadas com maceração biológica e mercerização química

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (C7 e N1)	1	11,6	11,6	0,20	0,661
Erro	18	1050,80	58,40		
Total	19	1062,40			

Por serem equivalentes os resultados de resistência à tração axial máxima das fibras de açaí com o uso em ambos os processos de mercerização, biológico e químico N1(NaOH 0,5%), foi adotado o tratamento químico alcalino. Vale ressaltar que o tratamento alcalino com 0,5% em massa de NaOH, sem ou com autoclave, se apresenta como o melhor entre as mercerizações, em função das condições de controle dos parâmetros do tratamento, diferentemente do biológico,

cujas características da água não foram controladas, podendo apresentar características diferentes dependendo do período da sua coleta no rio (Guamá) ou na estação de tratamento de água (Cosanpa).

4.2.5 Considerações entre os tratamentos alcalinos

O processo de mercerização química alcalina foi o responsável pelos vazios produzidos na superfície da fibra do açaí como resultado da remoção de SiO_2 e formação de protruções globulares deixando a superfície da fibra mais rugosa (Figura 4.15), o que provavelmente facilitará maior a aderência entre a fibra e à resina poliuretana à base de mamona, melhorando como consequência, as propriedades mecânicas dos compósitos.

Visando a produção dos compósitos de fibras açaí em linha produtiva comercial foram identificadas vantagens competitivas no uso do tratamento de mercerização alcalina NaOH a 0,5% autoclave (N4) em relação à rapidez do processo (45 min) em comparação ao tratamento alcalino NaOH a 0,5% sem autoclave. É importante verificar, como discutido anteriormente, que não há diferença estatística entre esses dois tratamentos.

Além disso, a Figura 4.15a mostra a superfície da fibra do açaí com tratamento de NaOH a 0,5% (N1) e a Figura 4.15b mostra a superfície da fibra do açaí com tratamento de NaOH a 0,5% autoclave (N4). Observa-se para ambos os tratamentos que as inúmeras microfibrilas que compõem a fibra do açaí, juntamente com as marcas globulares estão mais visíveis, no entanto, as fibras obtidas do tratamento com NaOH a 0,5% com autoclave se apresentam com maior rugosidade e menor quantidade de marcas globulares o que poderá melhorar a aderência entre a fibra e a resina no compósito.

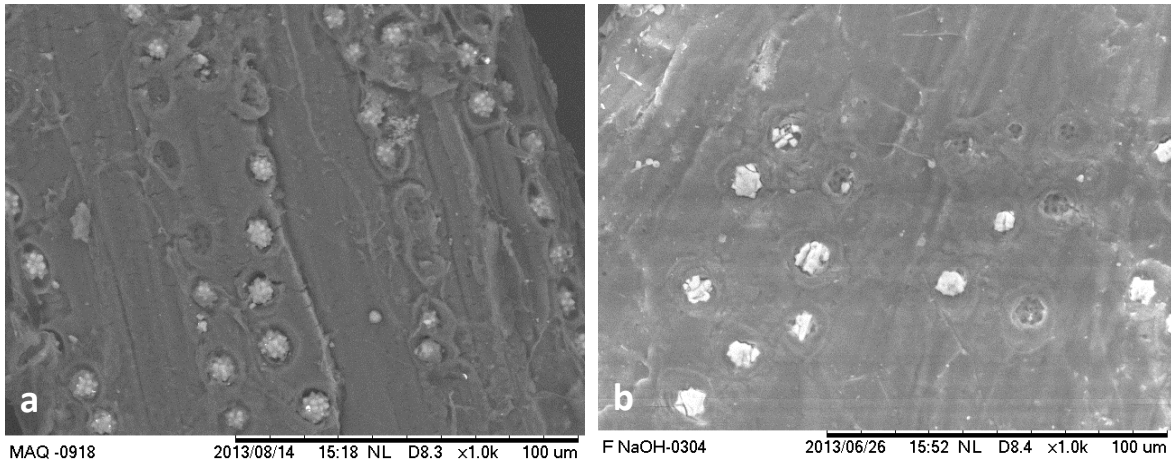


Figura 4.15. Marcas globulares visíveis e rugosidade das microfibrilas nas fibras de açaí com o processo de mercerização alcalina. a) NaOH a 0,5% (N1)., b) NaOH a 0,5 autoclave (N4)

Portanto foi selecionado o tratamento NaOH a 0,5% autoclave (N4) para a fabricação dos ecopainéis de média densidade (MDP) de fibras de açaí e resina poliuretana de mamona.

Os resultados obtidos na presente pesquisa mostraram o potencial do tratamento alcalino das fibras de açaí, para elaboração de materiais compósitos diversos, tais como a promissora área de painéis de materiais lignocelulósicos.

4.3 CONCLUSÕES FINAIS DAS FIBRAS

- A grande quantidade de esclereídes e fibrotraqueídes constituídos de numerosos apêndices presentes nas paredes das superfícies das fibras celulósicas (feixes vasculares);
- Neste estudo foram encontrados na fibra do açaí, 30% de lignina, conteúdos de celulose de 44,3% - 46,5% e hemicelulose de 18 - 20%. A composição química do açaí é comparável com os valores usuais das fibras naturais lignocelulósicas;

- O processo de maceração biológica apresentou valores na resistência à tração axial das fibras de açaí tratadas com 2% de água com raspas de Mandioca (MD) 59% superior à resistência máxima à tração das fibras de açaí da condição de referência, se apresentando como o melhor tratamento de obtenção de fibras por meio da maceração biológica.
- As fibras do processo de mercerização alcalina NaOH(0,5%) autoclave foi selecionada para a fabricação dos ecopainéis de partículas de fibras do açaí de média densidade (MDP) com resina poliuretana bicomponente a base de óleo de mamona.
- Este processo apresenta vantagem competitiva no uso deste tratamento e contribui para remoção da hemicelulose, lignina, pectina e ceras, levando ao desenvolvimento de uma superfície mais rugosa que resultou em melhor adesão interfacial entre as fibras e resina, e sobretudo acréscimo dos valores nas propriedades mecânicas.
- O processo de mercerização alcalina com autoclave (0,5% de NaOH) contribuiu para remoção da hemicelulose, lignina, pectina e ceras, levando ao desenvolvimento de uma superfície mais rugosa. As fibras apresentaram valor de resistência à tração axial máxima em média superior em 68% comparado com aquelas em condição de referência. Tais resultados sugerem a potencialidade da fibra do açaí tratadas com solução alcalina de NaOH autoclave como matéria prima na confecção de ecopainéis particulados (MDP) para uso comercial.
- Visando a produção dos compósitos de fibras açaí em linha produtiva comercial foram identificadas vantagens competitivas no uso de mercerização alcalina NaOH a 0,5% com autoclave (N4) em relação a rapidez do processo (45 min). Além disso, o tratamento N4 proporcionou uma maior rugosidade das fibras mantendo resistência mecânica equivalente ao tratamento sem autoclave.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DOS ECOPAINÉIS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS DE MÉDIA DENSIDADE DE FIBRAS DE AÇAÍ

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos da caracterização físico-mecânica e microestrutural dos ecopainéis de partículas de fibra de açaí, com as fibras tratadas pelo processo alcalino N4 (NaOH 0.5% com autoclave) e em condição natural (referência) com resina poliuretana à base de mamona.

A **Tabela 4.21** e a **Tabela 4.22** apresentam os resultados das propriedades físicas e mecânicas dos ecopainéis de partículas de fibras de açaí em condições naturais denominado neste estudo como: com fibras sem tratamento (ST) e com tratamento com a 0,5% em massa de NaOH com autoclave, denominado com tratamento (CT), respectivamente.

Tabela 4.21. Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos ecopainéis com as fibras em condições naturais sem tratamento (ST)

Propriedade	Unidade	\bar{x} Média	CV (%)	Mín.	Máx.
Absorção de água 2h (AA)	(%)	33	29	14	49
Absorção de água 24h (AA)	(%)	83	20	59	112
Inchamento em espessura 2h (IE)	(%)	20	32	11,44	30,48
Inchamento em espessura 24h (IE)	(%)	36	29	17,64	59,34
Densidade aparente (Dap)	(kg/m ³)	745	8	643	887
Arrancamento de Parafuso Superficial (APsup)	(kgf)	676	24	427	855
Arrancamento Parafuso no topo (APtop)	(kgf)	399	9	353	461
Módulo de Ruptura (MOR)	(MPa)	13	13	10	16
Módulo de Elasticidade (MOE)	(GPa)	1,13	12	922	1368
Resistência da adesão interna (RAI)	(MPa)	0,28	32	0,16	0,41

Tabela 4.22. Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos ecopainéis com as fibras tratadas com NaOH ao 0,5% com autoclave (CT).

Propriedade	Unidade	\bar{x} Média	CV (%)	Mín.	Máx.
Absorção de água 2h (AA)	(%)	21	34	11	38
Absorção de água 24 h (AA)	(%)	68	17	53	90
Inchamento 2h (I)	(%)	13	42	6,67	24,45
Inchamento 24 h (I)	(%)	22	36	10,68	38,75
Densidade aparente (Dap)	(kg/m³)	713	7	622	831
Arrancamento de Parafuso Superficial (APsup)	(kgf)	648	21	481	868
Arrancamento Parafuso no topo (APtop)	(kgf)	614	24	417	791
Modulo de Ruptura (MOR)	(MPa)	17	13	13	19
Modulo de Elasticidade (MOE)	(GPa)	1,08	17	837	1349
Resistencia da adesão interna (RAI)	(MPa)	0,53	25	0,34	0,78

Obs: \bar{x} a média amostral, Cv o coeficiente de variação e *Mín* e *Máx* os menores e os maiores valores encontrados.

Os valores obtidos para as propriedades físico-mecânicas estabelecidos por documentos normativos nacionais e internacionais para painéis de partículas de madeira foram comparados com aqueles estabelecidos pelas normas ABNT NBR 14810-3:2006; ANSI A208.1:1993 e; Norma CS 236-66:1968, se for o caso. As normas foram utilizadas como referência para avaliar o desempenho físico-mecânico dos ecopainéis produzidos dos resíduos lignocelulósicos das fibras do fruto do açai.

4.4.1 Absorção de água (2 e 24 h)

A **Tabela 4.23** apresenta os resultados do teste de Bartlett (normalidade) e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). O fato de os P-valores serem superiores a 5%, constata-se que as distribuições dos valores de absorção de água (2 e 24 h) são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, sendo possível a utilização do método ANOVA.

Tabela 4.23. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para absorção de água (2 e 24 h) nos ecopainéis com fibras de açaí com tratamento (CT) e sem tratamento (ST).

Testes	2h P valor	24 h P valor
Anderson-Darling	0.310	0.393
Bartlett	0.306	0.190
Levene	0.590	0.295

As **Tabela 4.24** e **Tabela 4.25** apresentam os resultados da ANOVA para absorção de água, sendo que FV é a fonte de variação, GL o grau de liberdade, SQ a soma dos quadrados, QM a média dos quadrados, F a estatística F de Snedecor e P-valor a probabilidade P.

Tabela 4.24. Resultados da comparação dos valores de absorção de água por 2 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (ST e CT)	1	1109,2	1109,2	15,19	< 0,0001
Erro	32	2337,1	73,0		
Total	33	3446,3			

Tabela 4.25. Resultados da comparação dos valores de absorção de água por 24 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (ST e CT)	1	1824	1824	9,15	0,005
Erro	32	6377	199		
Total	33	8201			

Os resultados analisados pelo método ANOVA revelam que os ecopainéis com fibras de açaí tratadas com NaOH por autoclave apresentaram absorção de água após 2 e 24 h significativamente inferior (P-valor < 0,00001) em relação àqueles com fibras de referência (natural). A **Figura 4.16** ilustra os gráficos de efeitos principais (com e sem tratamento) dos fatores considerados significativos pela análise de variância.

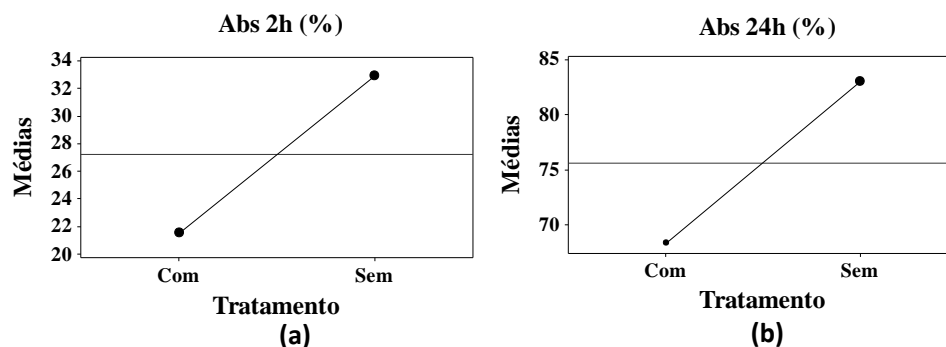


Figura 4.16. Efeitos principais das fibras com e sem tratamento para absorção de água (a) 2 horas (b) 24 horas.

Constatou-se que os valores médios de absorção de água dos ecopainéis de açaí (CT) foram 21% e 33 % (ST) para 2h. Estes resultados apresentam diferenças significativas (P-valor < 0,0001), e menor absorção do ecopainel com tratamento, que provavelmente está relacionado ao processo de mercerização das fibras por NaOH a 0,5% com autoclave.

Após análise do ensaio, verificou-se que por meio do MEV, ocorreu maior aderência das fibras no ecopainel (CT), bem como se notou uma maior quantidade de resina nas regiões das fibras que apresentam superfície da fibra mais rugosa, o que provavelmente facilitou a aderência superficial. Esta aderência pode ser também explicada e visualizada nas regiões onde ocorreram as remoções de sílicas que estavam presentes nas cavidades globulares da superfície das fibras, como observado nas análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), cujas micrografias são apresentadas na (**Figura 4.17**).

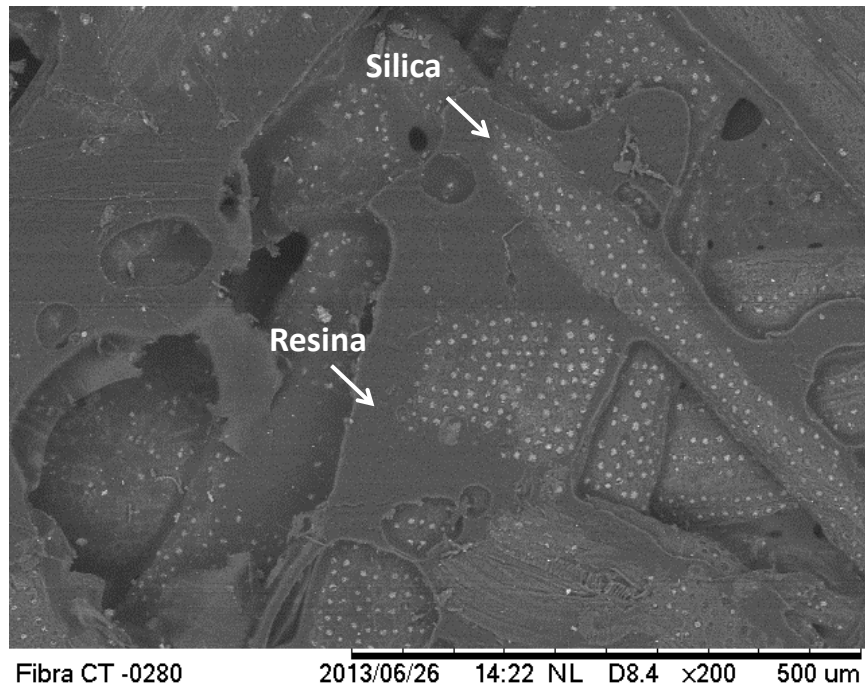


Figura 4.17. Micrografia da interface fibras e resina bicomponente de mamona na superfície do ecopainel (CT)

Os resultados quanto à absorção de água para 24 h, apresentaram 68% nos ecopainéis de açaí (CT) e 83% (ST), esses valores obtidos nos painéis (ST) foram significativos. Estes resultados também podem ser explicados em razão do processo de mercerização alcalina das fibras que absorveram menor quantidade de água do que os ecopainéis com as fibras de referência (ST).

As fibras em condição natural tem a capacidade inerente de absorção de água principalmente pela troca iônica (ligações iônicas), que devido às ligações de hidrogênio é denominada de natureza hidrofílica. Portanto, sua natureza hidrofílica influencia todas as demais propriedades mecânicas e físicas, tanto das fibras como dos compósitos (SILVA *et al.*, (2006)). Os mesmos autores utilizaram fibras de sisal e coco tratadas pelo método alcalino e observaram um bom comportamento mecânico dos compósitos com resina derivada do óleo de mamona.

Finalmente, o tratamento alcalino além de remover impurezas e extrair parte dos componentes das fibras celulósicas do açaí, produzindo uma superfície mais rugosa, acredita-se que ainda conduziu à desfibrilação, isto é, a separação do feixe de microfibrilas que compõem as fibras do açaí, e provavelmente aumentou a área de superfície e regiões interfibrilares, aumentando a probabilidade da ocorrência de interface entre fibra e resina, como observado por meio da micrografia (**Figura 4.18**).

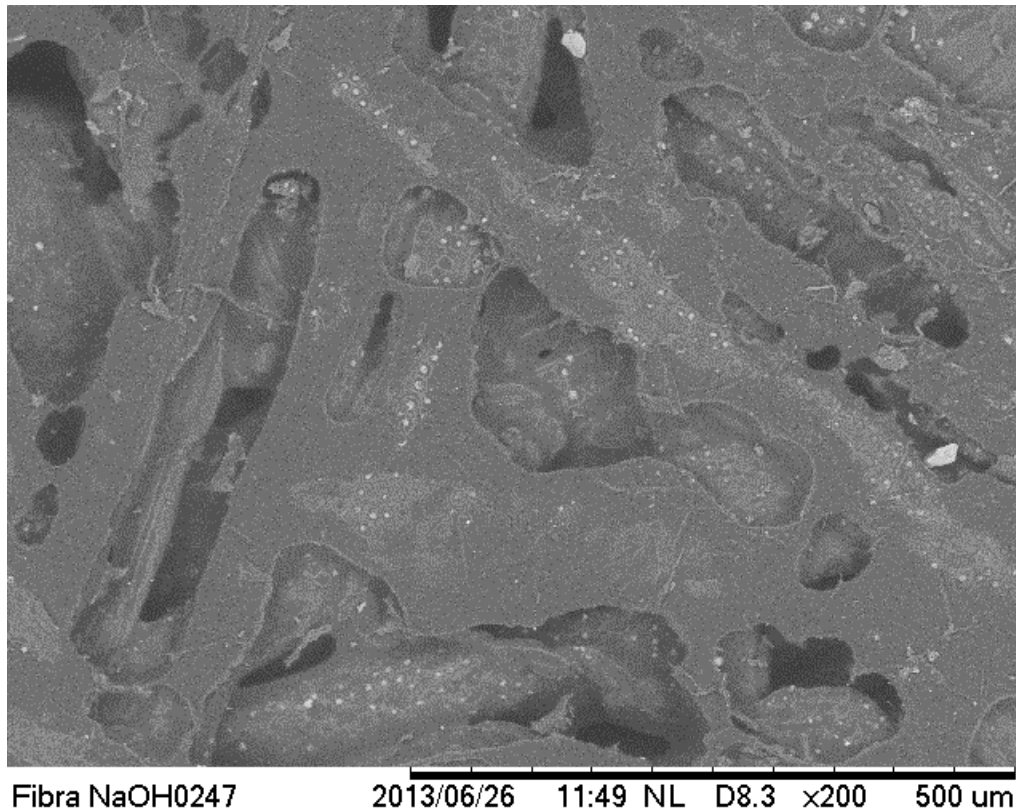


Figura 4.18. Microscopia eletrônica de varredura superficial de ecopainéis de fibras de açaí com tratamento NaOH 0,5% (CT)

Fiorelli *et al.*, (2012) fabricaram e avaliaram painéis de partículas à base de fibra da casca de coco verde e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, com $0,8 \text{ g/cm}^3$, considerado de alta densidade, e obtiveram resultados médios de inchamento em espessura de 7,57% (2h) e 14,24% para absorção de água.

Na pesquisa desenvolvida por Lima A.M *et al.*, (2004), densidade aparente $0,70 \text{ g/cm}^3$ sobre a produção de chapas de aglomerados de fibras de Babaçu, os valores médios de inchamento encontrados em espessura foram 24% (2h) e 41% (24h). E para absorção de água os valores médios foram respectivamente 21% para (2h) e 45% (24h) de imersão.

Adicionalmente, para explicar ainda o comportamento deste resíduo lignocelulósico da fibra do açaí em relação às propriedades físicas de inchamento e absorção, acredita-se que os resultados apresentados neste estudo, estão relacionados principalmente em relação à questão fisiológica e bioquímica da palmeira do açaí, as quais ocorrem principalmente em solos de várzeas e em inundações periódicas, de cheia e vazante do estuário do Rio Amazonas. Nestas áreas ocorrem espécies vegetais altamente especializadas e adaptadas e que apresentam tolerância à absorção de água.

A palmeira do açaí, portanto, apresenta um mecanismo fisiológico importante e inquestionável à tolerância e às condições de baixa disponibilidade de oxigênio. Esta planta apresenta uma vantagem competitiva sob as demais palmeiras amazônicas, pois conforme relata Neto M.A.M (2004), as sementes do açaizeiro podem tolerar até quatro meses de anoxia (sem presença de oxigênio), germinando após transferência para condições normóxicas (presença de oxigênio). Segundo ainda o autor, a tolerância de sementes e plântulas desta palmeira está relacionada bioquimicamente com a manutenção da atividade amilolítica (produção de carboidratos), como também permite o aumento de maior absorção de água e nutrientes. Portanto, esta característica biológica da fibra do açaí pode ser também um fator preponderante na elucidação da capacidade do painel de resistir às condições extremas de uso e aplicação. Para que esta condição seja comprovada, será proposto um estudo de durabilidade do ecopainel das fibras do açaí (CT e ST).

4.4.2 Inchamento em espessura (2 e 24 h)

A Tabela 4.26 apresenta os resultados do teste de Bartlett (normalidade) e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). Pelos P-valores serem superiores a 5%, constata-se que as distribuições dos valores de inchamento (2 e 24 h) são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, indicando a aplicação do método ANOVA.

Tabela 4.26. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para inchamento em espessura (2 e 24 h) nos ecopainéis CT e ST.

Testes	2h P valor	24 h P valor
Anderson-Darling	0.118	0.833
Bartlett	0.484	0.241
Levene	0.481	0.475

A

Tabela 4.27 e a Tabela 4.28 apresentam os resultados da comparação entre os valores de inchamento em espessura após 2 e 24 h, respectivamente, obtidos pelo método ANOVA. Os P-valores considerados significativos ($P\text{-valor} < 0,05$) foram sublinhados. Pelos P-valores serem ambos inferiores a 5%, constatou-se ser significativa diferença de inchamento de espessura entre os ecopainéis. A **Figura 4.19** apresenta os gráficos das diferenças nos valores médios dos ecopainéis com fibras com e sem tratamento alcalino, após a análise pelo método ANOVA.

Tabela 4.27. Resultados da comparação entre os valores de inchamento de espessura após 2 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	440,7	440,7	12,36	<u>0,001</u>
Erro	32	1141,2	35,7		
Total	33	1582,0			

Tabela 4.28. Resultados da comparação entre os valores de inchamento de espessura após 24 h dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	1724,0	1724,0	20,47	<u><0,0001</u>
Erro	32	2694,9	84,20		
Total	33	4418,9			

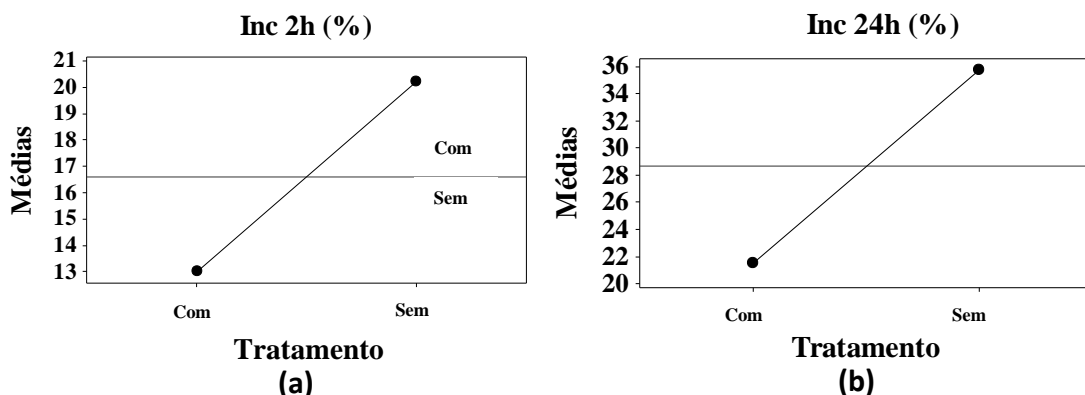


Figura 4.19. Efeito do tratamento das fibras sobre o inchamento em espessura em 2 h (a) e a 24 h (b) para os ecopainéis CT e ST.

Os valores do inchamento em espessura após 2 e 24 h dos ecopainéis com as fibras tratadas com NaOH a 0,5% e autoclave foram em média 36% e 40% inferiores, respectivamente, aos valores dos ecopainéis com as fibras não tratadas, evidenciando a eficiência do tratamento alcalino sobre as fibras para minimizar o inchamento em espessura dos ecopainéis.

Neste estudo, os resultados dos valores médios de inchamento em espessura (IE) indicam que os ecopainéis do açaí (CT) foram de 13% para 2 h e 21% para 24 h, enquanto que os painéis (ST) foram de 20% para 2 h e 35% para 24 h. Somente os ecopainéis com fibras tratadas atenderam com margem de segurança as recomendações das normas CS 236-66: 1968, que estabelecem IE máximo de 30-35% (24h) para painéis de partículas de madeira de média densidade.

4.4.3 Densidade aparente

A **Tabela 4.29** apresenta os resultados do teste de Bartlett (normalidade) e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). Como P-valores foram superiores a 5%, constatou-se que as distribuições dos valores para densidade aparente são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, validando o uso do método ANOVA.

Tabela 4.29. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para densidade aparente nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.494
Bartlett	0.578
Levene	0.659

A **Tabela 4.30** apresenta os resultados da comparação entre os valores de densidade aparente, analisados pelo método ANOVA. O fato de o P-valor ser superior a 5% constatou-se que não há diferença significativa entre os ecopainéis. Ou seja, os valores médios da densidade aparente obtidos não apresentaram diferença significativa.

Tabela 4.30. Resultados da comparação entre os valores de densidade aparente para os ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	6192	6192	1,92	0,180
Erro	22	70880	3222		
Total	23	77072			

De acordo com a norma ANSI A208.1:1999, os ecopainéis do açaí obtidos neste estudo (CT e ST) são classificados como ecopainéis de média densidade-MDP, destinados ao uso comercial ou industrial, uma vez que eles apresentaram valores médios de densidade na faixa de 713 a 745 kg/m³, respectivamente.

Nesta pesquisa, as densidades dos ecopainéis do açaí (CT, ST), apresentaram coeficientes de variação (CV) similares e próximos a 10%, o que

demonstra homogeneidade e uniformidade dos corpos de prova analisados, principalmente devido à elaboração do processo de fabricação e na compactação dos ecopainéis. Esta similaridade deve-se provavelmente à inovação e aplicação de uma nova metodologia de homogeneização das fibras com a resina bicomponente de óleo de mamona, por meio de uma pistola de ar comprimido (Seção 3.4) que substituiu o prévio experimento realizado manualmente no qual se obteve formação de grumos de fibras e resina e posteriormente o seu aparecimento na superfície do ecopainel. Este procedimento proporcionou melhor distribuição homogênea e maior aderência das fibras com a resina nos painéis do açaí, resultando em valores de densidade muito próximos entre si. Tais resultados corroboram com a assertiva que as propriedades e qualidades dos painéis, muito são os fatores à obtenção de lâminas e produção de compensados de boa qualidade está estritamente relacionada às características inerentes a madeira ou do material lignocelulósico utilizado, assim como da resina e dos procedimentos empregados na confecção dos ecopainéis (MARRA, 1992).**(Figura 4.20).**

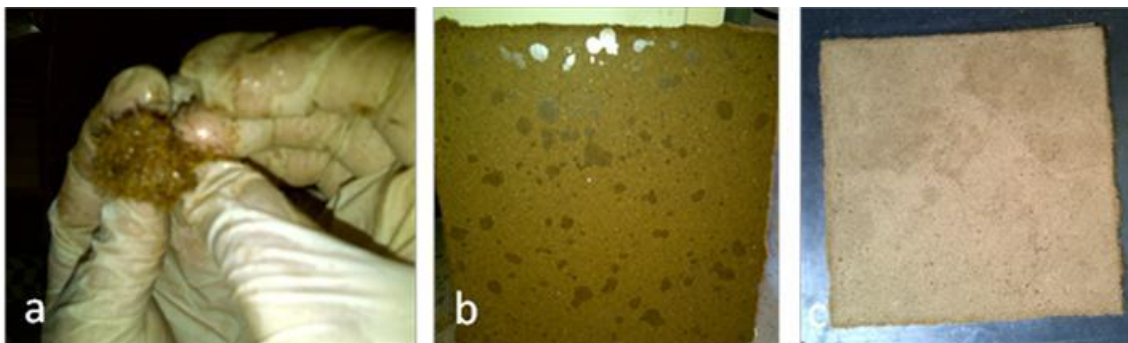


Figura 4.20. a) Formação de grumos fibras e resina após procedimento de homogeneização manual; b) Superfície de ecopainel com manchas visíveis de grumos após processo de homogeneização manual; c) Superfície de ecopainel após processo de homogeneização por ar comprimido.

4.4.4 Resistência ao arrancamento de parafuso superficial (RASup)

A **Tabela 4.31** apresenta os resultados do teste de Bartlett e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). Como os P-valores foram superiores a 5%, constatou-se que as distribuições dos valores de arrancamento de parafuso na superfície são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, de acordo com o método ANOVA.

Tabela 4.31. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para arrancamento de parafuso na superfície nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.084
Bartlett	0.600
Levene	0.494

A **Tabela 4.32** apresenta os resultados da ANOVA para a comparação entre os valores da resistência ao arrancamento de parafuso de superfície. O fato de o P-valor ser superior a 5% constatou-se que não há diferença significativa entre os tratamentos das fibras.

Tabela 4.32. Resultados da comparação de valores de arrancamento de parafuso na superfície dos ecopainéis CT e ST obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (ST e CT)	1	3925	3925	0,17	0,684
Erro	18	413602	22978		
Total	19	417527			

A norma brasileira para as chapas de partículas (NBR 14810, 2006) descrevem a metodologia desses ensaios, mas entretanto não indicam, o valor mínimo para chapas de 12mm de espessura. O valor médio obtido foi de 676 kgf para o arrancamento de parafuso superficial para as fibras dos ecopainéis ST, enquanto para os ecopainéis CT foi de 648 kgf.

4.4.5 Resistência ao arrancamento de parafuso de topo (RAtop)

A

Tabela 4.33 apresenta os resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variância, respectivamente, para arrancamento de parafuso no topo. O fato de os P-valores serem inferiores a 5% constatou-se que as distribuições dos valores de arrancamento de parafuso no topo não são normais e que as variâncias entre os tratamentos não são equivalentes.

Tabela 4.33. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para arrancamento de parafuso no topo nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	<0.005
Bartlett	0.000
Levene	0.000

Para atender ao quesito de normalidade e homogeneidade entre variâncias exigida pela ANOVA para a resistência ao arrancamento de parafuso de topo, foi realizada a transformada de Johnson. Com os dados transformados foi avaliada a normalidade na distribuição e a equivalência entre variâncias. Os resultados revelam que os dados da RAtop transformados apresentam distribuição normal e equivalência entre as variâncias, por apresentar em ambos os casos P-valor superior ao nível de significância adotado (0,05), indicando a aplicação do método ANOVA. (**Tabela 4.34**).

Tabela 4.34. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para os dados transformados de arrancamento de parafuso no topo nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.607
Bartlett	0.908
Levene	0.745

A **Tabela 4.35** apresenta o resultado da comparação entre os valores da resistência ao arrancamento de parafuso de topo, analisado pelo método ANOVA.

O P-valor considerado significativo (P-valor<0,05) foi sublinhado. Com isso, constatou-se ser significativa a diferença entre os valores médios RAtop dos ecopainéis. A Figura 4.21 apresenta os gráficos de efeitos do tratamento das fibras sobre o desempenho dos ecopainéis.

Tabela 4.35. Resultados da comparação entre os valores de resistência ao arrancamento de parafuso de topo dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	1,9115	1,9115	27,52	<u><0,0001</u>
Erro	18	1,2501	0,0694		
Total	19	3,1616			

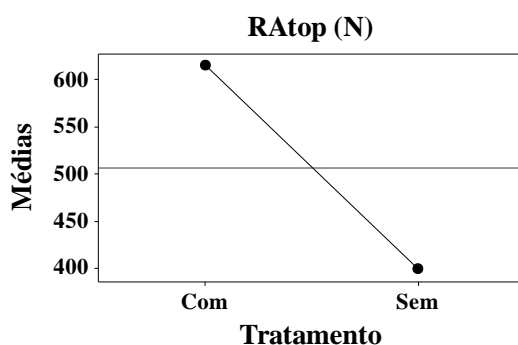


Figura 4.21. Gráfico que mostra o efeito do tratamento das fibras sobre o arrancamento de parafuso no topo dos ecopainéis CT e ST.

Os valores médios obtidos no arrancamento de parafuso topo (RAtop) para os ecopainéis ST foi de 399 kgf, enquanto para os ecopainéis CT foi de 614 kgf. O tratamento das fibras de açai com NaOH a 0,5% com autoclave teve um efeito positivo, promovendo um aumento da força mecânica necessária para o arrancamento de parafuso de topo do ecopainel.

4.4.6 Módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE)

A partir dos ensaios de flexão estática obteve-se o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). O módulo de ruptura é uma propriedade muito importante que determina resistência à tração na flexão do ecopainel de partículas lignocelulósicas, enquanto o módulo de elasticidade (MOE) é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço no regime elástico. Os resultados obtidos dos painéis de açaí (CT e ST) serão discutidos e comparados a seguir:

- **Módulo de Ruptura (MOR)**

A **Tabela 4.36** apresenta os resultados do teste de Bartlett e teste F e de Levene. Como os P-valores foram superiores a 5%, constatou-se que as distribuições dos valores de módulo de ruptura são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, de acordo com o método ANOVA.

Tabela 4.36. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para módulo de ruptura nos ecopainéis de fibras de açaí com tratamento (CT) e sem tratamento (ST).

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.304
Bartlett	0.477
Levene	0.337

A **Tabela 4.37** apresenta o resultado da comparação entre os valores de módulo de ruptura, analisados pelo método ANOVA. O P-valor considerado significativo ($P\text{-valor} < 0,05$) foi sublinhado. Com isso, constatou-se ser significativa diferença entre os valores médios de MOR entre os ecopainéis. De fato o ecopainel com fibras tratadas com NaOH e autoclave apresentou um melhor desempenho na flexão.

Tabela 4.37. Resultados da comparação dos valores de MOR dos ecopainéis tratados pelo método ANOVA nos ecopainéis CT e ST.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	78,21	78,21	21,64	<u><0,0001</u>
Erro	18	65,05	3,61		
Total	19	143,26			

A **Figura 4.22** ilustra o gráfico que indica o efeito do tratamento da fibra como um dos fatores significativos pela análise de variância. Observou-se que a média obtida para os valores de resistência à flexão estática entre os ecopainéis de açaí foram 17 MPa para ecopainéis CT, e 13 MPa para o ST, cujo percentual foi 31% maior de MOR para os ecopainéis CT.

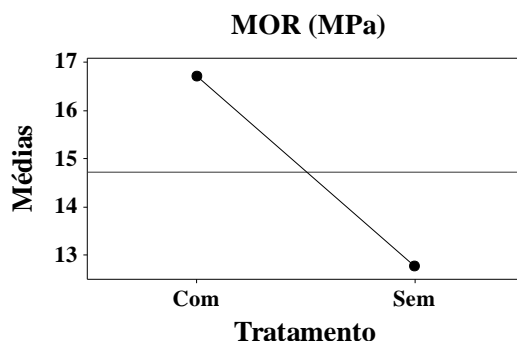


Figura 4.22. Efeito do tratamento das fibras sobre o MOR dos ecopainéis CT e ST.

Para a NBR14810 -2006 recomenda que o módulo de ruptura deva ter o valor mínimo de 18 MPa para os painéis industrializados de 8-13 mm de espessura. Neste trabalho, o ecopainel CT de escala laboratorial apresentou bom desempenho mecânico ao atingir valores próximos aos propostos pela norma. Contudo, verifica-se que os valores de MOR dos ecopainéis (CT e ST) estão de acordo com as normas ANSI 208.1 (1999) e CS 236-66:1968, que recomendam valores entre 11 e 16,5 MPa.

Esses resultados sugerem que o processo de produção com homogeneização por ar comprimido, proporcionou uma distribuição mais uniforme

e melhor adesão da resina poliuretana à base de óleo de mamona entre as partículas de fibras do açaí.

- **Módulo de Elasticidade (MOE)**

A **Tabela 4.38** apresenta os resultados do teste de Bartlett (normalidade) e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). Por meio dos P-valores serem superiores a 5%, constata-se que as distribuições dos valores de módulo de elasticidade (MOE) são normais e que as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, validando o uso do método ANOVA.

Tabela 4.38. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para módulo de elasticidade nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.172
Bartlett	0.350
Levene	0.125

A **Tabela 4.39** apresentam os resultados da comparação dos valores de MOE pelo método ANOVA. Por meio do P-valor ser superior a 5%, constatou-se que não ha diferença significativa entre os ecopainéis CT e ST.

Tabela 4.39. Resultados da comparação dos valores de MOE para ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição (CT e ST)	1	13833	13833	0,54	0,473
Erro	18	464338	25797		
Total	19	478171			

Nos resultados de MOE, observou-se que a média obtida para os valores de resistência à flexão estática entre os ecopainéis de açaí foram 1,08 GPa (CT), e 1,13 GPa (ST). Com isso, verifica-se que os valores do MOE dos ecopainéis (CT e ST) não apresentaram desempenho superior às normas ANSI A208.1 :1993 (1,9 GPa) e CS 236-66:1968 (2,45 - 2,8 GPa) para painéis de partículas média

densidade. Vale destacar que os valores apresentados nos documentos normativos são para painéis de partículas de madeira. Esses documentos estão sendo utilizados somente como parâmetros de comparação devido a semelhanças desses com os ecopainéis. Vale também destacar que são ecopainéis produzidos em escala laboratorial.

Desta maneira, analisando os resultados do MOE dos ecopainéis, podemos ressaltar que foram excelentes em ambos ecopainéis (CT e ST), por apresentar um comportamento dúctil e elástico devido às características químicas, anatômicas das fibras. Além disto, foi observado que estes ecopainéis de fibras de açaí indicam alta resistência e alta capacidade de deformação.

4.4.7 Resistência da adesão interna (RAI)

A **Tabela 4.40** apresenta os resultados do teste de Bartlett (normalidade) e teste F e de Levene (homogeneidade entre variâncias). Os P-valores se apresentaram superiores a 5%, como consequência as distribuições dos valores da resistência da adesão interna são normais e as variâncias entre os tratamentos são equivalentes, validando a aplicação do método ANOVA.

Tabela 4.40. Testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias para resistência da adesão interna nos ecopainéis CT e ST.

Testes	P valor
Anderson-Darling	0.881
Bartlett	0.307
Levene	0.594

A **Tabela 4.41** apresenta os resultados da comparação dos valores de resistência da adesão interna (RAI), tratados pelo método ANOVA. O P-valor considerado significativo ($P\text{-valor} < 0,05$) foi sublinhado. Constata-se ser significativa a diferença entre os ecopainéis CT e ST.

Tabela 4.41. Resultados da comparação entre os valores de resistência da adesão interna dos ecopainéis CT e ST, obtidos pelo método ANOVA.

FV	GL	SQ	QM	F	P-valor
Condição	1	0,2813	0,2813	22,06	<u>≤0,0001</u>
Erro	16	0,2040	0,0127		
Total	17	0,4852			

Os resultados tratados pelo método ANOVA revelam que o tratamento das fibras influenciou significativamente a resistência da adesão interna (RAI). A **Figura 4.23** ilustra o gráfico do efeito do tratamento das fibras como um dos fatores considerados significativos pela análise de variância. Observou-se que a RAI média determinada para os ecopainéis foram 0,53 MPa para o CT, e 0,28 MPa para o ST, cujo percentual foi 89% maior superior para o CT.

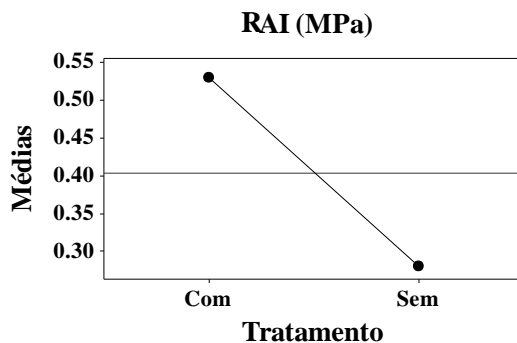


Figura 4.23. Efeito do tratamento das fibras sobre RAI dos ecopainéis CT e ST.

O ecopainel particulado CT apresentou desempenho superior daquele recomendado às normas ABNT NBR 14810:2006 (0,40 MPa), ANSI A208.1:1999 (0,40 MPa) e CS 236-66:1968 (0,42-0,49 MPa) para painéis de partículas média densidade. A explicação desses resultados tão significativos de 89% dos painéis de partículas (CT), ocorreu possivelmente pelo efeito da mercerização do NaOH a 0,5% em massa com autoclave que efetivamente melhorou à aderência das fibras, com distribuição homogênea, na resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Considerando a ausência de pesquisas relacionadas com a fibra de açaí e em especial sobre painéis com fibras de açaí, optou-se por analisar e comparar as propriedades mecânicas dos ecopainéis com resultados obtidos de pesquisas com painéis de partículas de média densidade de resíduos agroindustriais do bagaço de cana-de-açúcar (**Tabela 4.42**). Pode-se verificar que os resultados médios apresentados pelo ecopainel CT, são significativamente superiores àqueles encontrados por (BARROS FILHO, 2011; TABARSA *et al.*, 2011; CONTRERAS *et al.*, 2006) e semelhante aos resultados apresentados por Belini *et al.*, 2011. Contudo, os valores de RAI dos ecopainéis foram menores comparados àqueles apresentados por Sartori *et al.*, (2011), com painéis de alta densidade de bagaço de cana-de-açúcar e com à aplicação da mesma resina poliuretana à base de óleo de mamona.

A importância desses resultados estabelecerá perspectivas de uso dos ecopainéis (CT e ST) para áreas internas de construção civil e na indústria moveleira. No entanto, poderão ainda ser realizadas pesquisas futuras para uso de revestimentos ou pisos (deck).

Tabela 4.42. Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados a base de bagaço de cana de açúcar

Autor	Tipo de resina (%)	Densidade aparente (g/cm ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	RAI (MPa)	IE (%) 2 h
Sartori <i>et al.</i> (2012)	OM (15)	0,94	22,6	2848	1,18	20,0
Belini <i>et al.</i> , (2011)	UF(14)	0,628	12	1740	0,56	10,5
Tabarsa <i>et al.</i> , (2011)	UF	0,7	6,0	2000	0,30	18
Barros Filho (2011)	UF	0,7	4,6	765	0,20	15,59
Contreras <i>et al.</i> , (2006)	PF(13)	0,65	18,0	NC	0,35	14,43
Okino <i>et al.</i> (1997)	UF(12)	NC	13,1	22	4,7	28,9

OM: à base de Óleo de mamona bicomponente UF: Ureia Formaldeído PF: Fenol Formaldeído * Partículas de Cana Brava NC: Nada consta

4.5 Caracterização microestrutural dos ecopainéis

A aderência entre a fibra e a matriz e, como consequência, contribuiu na no desempenho físico e mecânico dos compósitos com fibras de açai. A **Figura 4.24** e a **Figura 4.25** apresentam a microscopia eletrônica por varredura da superfície das ecopainéis CT e ST.

A caracterização anatômica dos constituintes celulares, principalmente, os tecidos vasculares identificados por esclereides encontrados maciçamente nas paredes das fibras (LINS *et al.*, 2012) devem ter contribuído para a resistência mecânica e provavelmente são os responsáveis pela compactação homogênea das fibras como pode ser observado nas micrografias, assim como na formação do colchão do ecopainel.

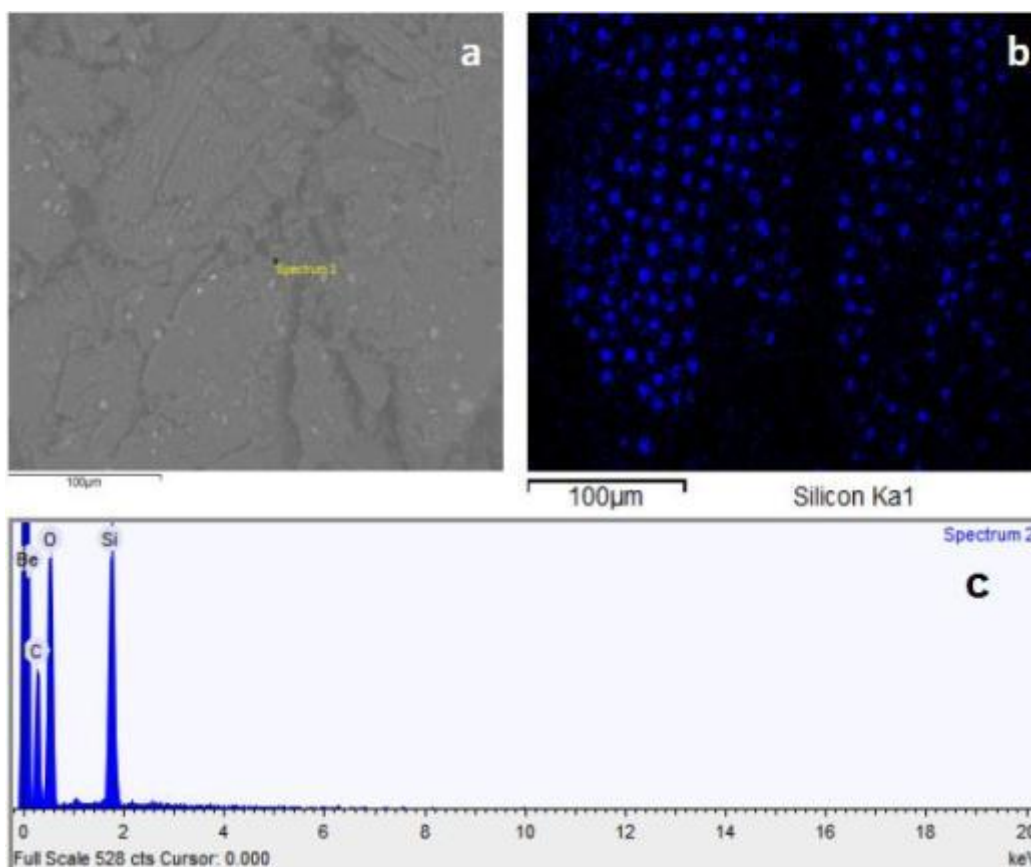


Figura 4.24.(a) Micrografias dos ecopainéis CT; (b) Mapa de EDS; indicando a sílica nas fibras de açai; (c). Espectro do EDS indicando o silício (Si).

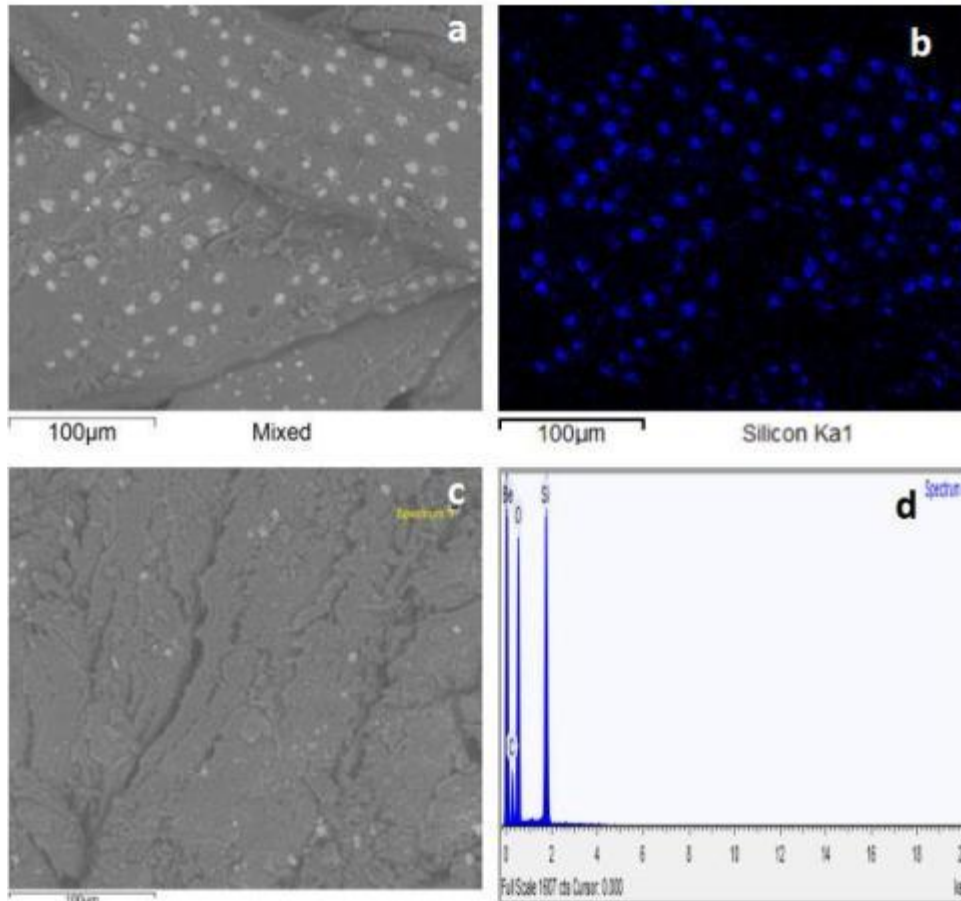


Figura 4.25. (a) Micrografias dos ecopainéis ST; (b) Mapa de EDS; indicando a sílica nas fibras de açai (c) Micrografia do ecopainel ST; (d) Espectro do EDS indicando o silício (Si).

Belini *et al.*, (2012) determinaram o teor de sílica em painéis confeccionados com diferentes percentuais de fibras de eucalipto e de partículas de bagaço de cana-de-açúcar. O aumento do percentual de utilização do bagaço de cana-de-açúcar na matriz fibrosa de eucalipto dos compósitos promoveu expressivo acréscimo do teor de sílica nos compósitos. Como os resultados apresentaram altos teores de sílica os autores sugeriram a inclusão da análise do desgaste dos materiais de corte na avaliação dos painéis.

4.6 CONCLUSÕES FINAIS DOS ECOPAINÉIS

- A inovação da metodologia de homogeneização das fibras com a resina bicomponente de óleo de mamona, com uso de pistola de ar comprimido para a aplicação direta às fibras do açaí foi satisfatória. Este processo proporcionou também melhor distribuição homogênea da resina e como consequência uma maior aderência das fibras nos ecopainéis do açaí, resultando em valores de densidade muito próximos entre os ecopainéis testados.
- Os ecopainéis obtidos neste estudo com fibras tratadas com NaOH e autoclave (CT) e com fibras naturais (ST) de acordo com a norma ANSI A208.1:1999, são classificados como painéis de partículas de média densidade- MDP, destinados ao uso comercial ou industrial, uma vez que eles apresentaram valores médios de densidade na faixa de 713 a 745 kg/m³.
- As densidades aparentes dos ecopainéis CT e ST demonstraram a homogeneidade e uniformidade dos corpos de provas analisados, principalmente devido ao processo de fabricação na compactação dos ecopainéis.
- Os valores médios de inchamento em espessura dos ecopainéis CT foram em média 36% e 40% inferiores, respectivamente após 2 e 24 horas, em relação aos ecopainéis com fibras não tratadas (ST).
- O uso do tratamento nas fibras de açaí com 0,5% em massa de NaOH com autoclave proporcionou reduções de 35% e 17% nos valores de absorção de água dos ecopainéis CT, respectivamente, após 2 h e 24 h, em relação aos ecopainéis com fibras não tratadas (ST).
- As propriedades mecânicas dos ecopainéis CT apresentaram valores superiores em 31% de módulo de ruptura, 89% de resistência à adesão

interna e 54% de resistência ao arrancamento no topo da superfície, se comparado com os ecopainéis com fibras sem tratamento (ST).

- Os valores de módulo de elasticidade dos ecopainéis CT e ST indicaram característica de comportamento dúctil e elástico (elástico-plástico) devido às características anatômicas, químicas e propriedades físico-mecânicas das fibras de açaí, assim como a interação dessas fibras com a resina.
- Os resultados físico-mecânicos apresentados dos ecopainéis com fibras de açaí tratadas sugerem a potencialidade dessas fibras do açaí como matéria prima na produção de particulados de média densidade e, conseqüente uso comercial na indústria da construção civil e moveleira. Este estudo de processo de extração das fibras do fruto do açaí no âmbito da Engenharia de materiais e ciências afins é inédito, estabelecendo, sobretudo para Amazônia uma contribuição à inovação tecnológica na fabricação de ecopainéis de partículas de média densidade (MDP) com a homogeneização mecânica por ar comprimido na aplicação da resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. Desse modo, esta pesquisa estabelece uma nova alternativa de uso de resíduos dos frutos de açaí em escala industrial para o desenvolvimento da região Amazônica.

CAPÍTULO 5

Os resultados alcançados neste trabalho, relacionados com a análise e utilização dos resíduos do fruto de açaí, especificamente as fibras, para produção ecopainéis. Além disso, foi proposto um tratamentos químico com NaOH e autoclave nas fibras para melhorar o comportamento físico-mecânico dos ecopainéis, possibilitaram a ampliação da visão sobre vários aspectos que devem ser considerados sobre a caracterização de propriedades desses materiais em condições operacionais de trabalho em suas possíveis aplicações na construção civil.

Entretanto, como o assunto é complexo, muitos estudos devem ainda ser realizados para consolidar e complementar o conhecimento nesta área. Com isso, algumas propostas para futuros trabalhos são sugeridas a seguir.

- 1) Realizar pesquisas anatômicas das paredes internas das fibras do açaí;
- 2) Realizar pesquisas sobre a cristalinidade das fibras;
- 3) Estudar a durabilidade do ecopainel das fibras do açaí;
- 4) Realizar pesquisas futuras para sua aplicação em revestimentos ou pisos (deck) bem como outras afins.
- 5) Realizar estudo socioeconômico para viabilizar a produção de ecopainéis na região Amazônica.

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA .Texto referencia do PSQ. Programa setorial da qualidade de painéis de partículas de madeira (MDP) e painéis de fibra de madeira (MDF). Abril 2013. Disponível em <http://www.abipa.org.br/ProgramaSetorialQualidade.php>. Acesso 12/05/2013

AGENCY ENVIROMENTAL PROTECTION EPA. Chapter 10: Wood Products Industry, AP 42. <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch10/> Acesso 05/07/2013.

AKGÜL, M.; TOZLUOGLU, A. Utilizing peanut husk (*Arachis hypogaea L.*) in the manufacture of medium-density fiberboards. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 5590-5594, 2008.

ALZATE, S.B.A. Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urofilia*. Teses de Doutorado em tecnologia de produtos Florestais- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 132 p .2004. (2004).

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI A208.1 (1993). Mat-formed wood particleboard: Specification. National Particleboard Association. Gaithersburg.

ARAÚJO, M. de; CASTRO, E.M. de. Manual de engenharia têxtil. Lisboa.: Fundação Calouste Gulbenkian, v.1,p.250.1984.

ARAÚJO, L.C.R. Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física e química de São Carlos Brasil.,1992.

ASHORI, A.; NOURBAKSH, A.; KAREGARFARD, A. Properties of medium density fiberboard based on bagasse fibers. *Journal of Composite Materials*, v.43, p.1927-1934, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada - parte 3: Métodos de Ensaio, terminologia. Rio de Janeiro, 32p, 1999.

_____. NBR 15316: painéis de fibra de média densidade. Parte. 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, p 48, 2006.

_____. NBR 7220 Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. 3 p. 2000.

_____. NBR 9778. Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação Da Absorção de Água Por Imersão - Índice de Vazios e Massa Específica.. 3 p.1987

ASTM D 1037. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials, Philadelphia, p. 137-166, 1996.

ASTM D 3822. Tensile properties of single fibers. 18 p,1996.

BARBER, N. F.; NEYLAN, B. A. The anisotropic shrinkage of wood: a theoretical model. *Holzforschung*, Berlin, v. 18, n. 5, p. 146. 1964.

BARROS FILHO, R. M. et al. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. *Industrial Crops and Products*, v. 33, Issue 2, 2011, p. 369-373.

BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. *Revista Minerva*. São Carlos, SP, v 5, n.3, p. 297-305, 2009.

BELINI, U.L. Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J.T.S.; CHAGAS, M.P. Alterações na estrutura anatômica da madeira de cavacos de *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento para a confecção de painéis MDF. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, p. 523-532, 2008.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; PENETRA CERVEIRA, L. J. L.; DE CARVALHO RODRIGUES J. C.; SARTORI, A. J. R. Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse and eucalyptus fibers. *European Journal of Wood Products*, v. 70, p. 537-539, 2011.

BERTOLINI M.. Emprego de resíduos de *Pinus* sp tratados com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana a base de mamona. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. 2010.

BISANDRA, E. T. N.; ANSELL, M. P. Properties of sisal-CNSL composites. *Journal of Material Science*, New York, v. 27, p. 1690-1700, 1992.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, London, n. 24, p. 221-274, 1999.

BORGES, J. C. Tecnologia de resinas e painéis de madeira: passado, presente e futuro. Curitiba: Chimar Hellas S.A., 2008. 37 p.

BRITO, E.O.; SÁ-ROCHA,JD.; VIDAURRE, G.B.; BATISTA,D.C.;PASSO,P.R.; MARQUES, L.G.C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. *Revista Floresta e ambiente*.v.11, n.2,p.01-06,2004.

CALIL, M.R; GABOADI,F.; GUEDES,C.G.F; ROSA,D.S. Compararision of the biodegradation of polycellulose acetate and their blends by the sturmm test and selected cultured fungi. *Polymer Testing*, v.25, n.5, p.597-604,2006.

CAMPOS, C. I. de.; LAHR, F. A. R. Propriedades físico-mecânicas de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos. 2005. 113 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Interunidades, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CANTO, S. A. E. Processo extrativista do Açaí: Contribuição da ergonomia com base na análise postural durante a coleta dos frutos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2001.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. Painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, v.19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CHAND, N.; TIWARY, R. K; ROGHATI, P. K. Bibliography Resource structure properties of natural cellulosic fibres: an annotated bibliography. *Journal of Materials Science*, London, v. 23, p. 2, p. 381-387, 1988.

CHAND, N; TIWARY, R.K; ROGHATI, P.K. Resource structure properties of natural cellulosic fibres In: *Annotated Bibliography: Journal of Materials Science*, 23 (2), 1988.

CHAPMAN, K.M.; JORDAN, P.J. Optimising blowline resin blending in MDF manufacture. In: CPA PRESSLINE SEMINAR , Charlotte. Proceedings Charlotte, 2002.

CHAVES, J.M. & PECHNIK, E. O açaí : um dos alimentos básicos da Amazônia . Amapá, Instituto de Tecnologia Alimentar,1945.

- COMMERCIAL STANDARD. Mat formed wood particleboard. CS 236-66. 1968.
- CONSTANT, P. B. L. Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açai (Euterpe oleraea M.). Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 183 f. 2003.
- CONTRERAS, W. M. OWEN de C, BALLESTER, C.V.; CONTRERAS M. GARAY J.D. Diseño de Tableros de Partículas de Caña Brava y Adhesivo Fenol – Formaldehído. Rev. For. Lat, n. 39, p. 39- 55, 2006.
- CORRÊA, M.PIO Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas, São Paulo. v 1,418 p,1984.
- COUTTS, R. S. P. & WARDEN, P. G. Sisal Pulp Reinforced Cement Mortar. Cement & Concrete Composites, n. 14, p. 17-21. Elsevier Science Publisher Ltd. Grã-Bretanha, 1992.
- COZZA, E. Salão Internacional da Construção. Revista Técnica, São Paulo, n. 105, Dez. 2005.
- CRAVO, J. C. M. ; SARTORI, D. L. ; VALQUÍRIA CAÇÃO DA CRUZ ; FONSECA, R. ; FIORELLI, J . Utilização do Painel Oriental Strand Board como Forro para Galpões Avícolas. In: 49 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Brasília, 2012.
- DIN 53802: Testing of Textiles; Conditioning of Samples to the Standard Atmosphere. 3p.1979.
- DUKE, J. A. Hibiscus cannabinus L., Malvaceae. Kenaf, Bimli, Bimlipatum, Jute, Deccan hemp. Handbook of Energy Crops. [S.l: s.n.], 1983. Disponível em:<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Hibiscus_cannabinus.html>. Acesso em: 30 de Jun. 2011.
- DURATEX. Organograma de fabricação em escala industrial de painéis MDP. Informação suministrada pela empresa. 2013.
- DURATEX S.A. Brazilian MDF market evolution. In: International wood composites symposium and technical workshop, 42., 2008, Seattle. Proceedings Seattle: Duratex S.A., 2008.
- FAGURY, G. R.V. Avaliação Fibras naturais para a fabricação de compositos: Açai, coco e Juta. Universidade Federal do Pará. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Dissertação de Mestrado. Belem-PA. 80f 2005

FARIA, L.J.G. processos de obtenção de fibras. Belém-PA, Universidade Federal do Pará. Editora CEJUP. 1993.

FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. Progress in Polymer Science, London, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012

FENGEL, D., WEGENER, G. Wood chemistry ultrastructure reactions: Berlin. 1989.

FERREIRA, J.; BEZERRA, I.M.T.; NEVES, G.A. FERREIRA, H.C.; CARVALHO, J.B.Q. Avaliação de argamassa com cinzas de casca de arroz. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, Anais.Salvador, 2007.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JUNIOR, H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. Industrial Crops and Products. v.40, p.69-75, 2012

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JUNIOR, H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. Industrial Crops and Products. v.40, p.69-75, 2012.

FONSECA, A.S.; MORI, F.A.; TONOLI, G.H.D.; SAVASTANO J; FERRARI, D.L.; MIRANDA, I.P.A. Properties of an Amazonian vegetable fiber as a potential reinforcing material. Industrial Crops and products. V.47, p 43 – 50, 2013.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood – resin composites, and a new macerating method for wood. Nature, v 155, nº 3924, p. 51. 1945.

FREIRE, E. S.; SOUZA, S. M. M.; MENDONÇA, M. A. S. Caracterização de frutas nativas da América Latina: açaí. (Série Frutas Nativas). Jaboticabal: Funep; p. 3-6, 2000.

FROLLINI, E.; PAIVA J.M.F.; TRINDADE W.G.; RAZERA .A.T.; TITA S.P.; Lignophenolic and phenolic resins as matrix in vegetal fibers reinforced composites. In: Wallenberger FT, Weston N, editors. Natural fibers, plastics and composites. New York: Kluwer Academic Publishers; p. 193–219, 2004.

FUKUSHIMA, R. S.; HATFIELD, R. D. Um novo método analítico para a determinação do teor de lignina em produtos vegetais. VIII Encontro nacional sobre métodos dos laboratórios do EMBRAPA. Jaguariúna, SP 4-7 de Novembro 2003.

FURTADO, B.M. Contribuição ao estudo do processo de extração e a caracterização física da fibra de aninga (*Montrichardia linifera* Schott). Universidade Federal do Pará. Centro Tecnológico. Programa de Pos-Graduação em Engenharia Química. Dissertação de Mestrado.45f, 2002.

GARZON, N. ; SARTORI, D. ; ZUANTETTI, I. ; BARBIRATO, G. H. A. ; Ramos, R. D. ; FIORELLI, J.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JUNIOR, H. Durability evaluation of agroindustrial waste based particle boards using accelerated aging cycling tests. Key Engineering Materials, v. 517, p. 628-634, 2012.

GASSAN, J., BLEDZKI, A.K. Composites reinforced with cellulose based fibres, progress. Polymer Science, v.24, p 221-274, 1999.

GATANI, M. P. Utilização de casca de Mani para fabricação de chapas de partículas. Pirassununga: USP, 2009. (Relatório de Pesquisa, Laboratório de Construções e Ambiente, FZEA/USP).

GLOBO RURAL: glossário. São Paulo, 2011. Disponível em:<<http://globoruraltv.globo.com/GRural/0,27062,4369,00.html>>. Acesso em: 16 Dez. 2011.

GODA, K.; SREEKALA, M .S; GOMES, A;KAJI, T.;OHGI, J. Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites – Effect of load application during mercerization of ramie fibers. Composites: part A: 37-2213-2220, 2006.

GOMES, E.O. Caracterização do bagaço da cana-de-açúcar. In: Congresso internacional geração distribuída e energia no meio rural, 6., 2006, Campinas. Anais. Campinas: UNICAMP, 2006.

GOUVÊA, A. C. M. S. Quantificação das antocianinas majoritárias do açaí por cromatografia líquida de alta eficiência. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 63 f. 2010.

GRIGORIOU, A. Comparisons between medium density fibreboard and particleboard. Holz al Roh und Werstoff, Heidelberg, v. 41, n. 5, p. 183–186, 1986.

GUIMARÃES JR. M.; NOVACK, M. K.; BOTARO, R. V. Caracterização anatômica da fibra de Bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. Revista Iberoamericana de Polímeros, Espanha, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.

HANS TER STEEGE et al. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. Science. v 342, 2013.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. Forest products and wood science: an introduction. Ames: Iowa State University, 459 p, 1982.

HOMMA AKO, A. Civilização da junta na Amazônia: expansão e declínio. Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola. Brasília: EMBRAPA/SPI;p 13–67, 1998

HO M-p; WANG, HAO.; LEE,JOONG-HEE; HO,CHUN-KIT HO; LAU, KIN-TAK; LENG,JINSONG;HUI,DAVID. Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. Composites: part B .xxx.2011.

ISO 139. Textiles. Standard atmospheres for conditioning and testing. International Organization for Standardization. British Standards Institution .18 p.1973

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF; 247 p, 2005.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira: características tecnológicas e aplicações. Revista da madeira, Curitiba, PR, Edição Especial. n. 72, maio, 2003.

JARDIM , M. Pesquisas com palmeira açai (*Euterpe oleracea*), no Museu Paraense Emilio Goeldi. IN: Açai (*Euterpe oleracea Mart.*) : possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico.: editores: Mário Augusto Gonçalves Jardim, Leila Mourão e Monika Grossmann.- Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi,. Coleção Adolpho Ducke. 274 p P. 181-204. 2004.

JARDIM, M.A.G.; ANDERSON, A.B. Manejo de populações nativas de açazeiro no estuário amazônico: resultados preliminares. Bol. Pesq.Flor., Curitiba, (15): 1-18. 1987.

JARVIS, M.C.; McCANN M.C. Macromolecular biophysics of the plant cell wall: Concepts and methodology. Plant Physiol. Biochem., v 38, p 1 -13, 2000.

JASTRZEBSKI, Z. D. The Nature and properties of engineering materials. New York: John Wiley & Sons, 1987.

JOHANSEN, D.A. Plant microtechnique. New York. McGraw-Hill Book Co. 1940

JONES, R. M. Mechanics of Composite Materials. 2nd ed. Blacksburg, EUA, 1999. Taylor & Francis, Inc.

JORNAL DO COMERCIO. Banana e pupunha tomam o lugar da madeira de lei. Rio de Janeiro, 23 fev. 2007.

JOSÉ, F. J.; BERALDO, A. L. Chapas prensadas de partículas de bambu e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. In: 10 EBRAMEM- Encontro

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.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Tensile properties of unsaturated polyester composites reinforced by short sisal fibers. *Polímeros*. São Carlos, v. 9, n. 4, p. 136-141, Out / Dez, 1999.

JOSHI, S.V. L.T. DRZAL, A.K. MOHANTY, S. ARORA. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites. *Composites: Part A*. Vol.35 p.371–376, 2004.

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.

KHA, H.; TUBLE, S.; KALYANASUNDARAM, S.; WILLIAMSON R.E. Structure – based models for determining the mechanical properties of plant cell walls. V Australasian congress on applied mechanics. ACAM. 6 p, 10-12 December, 2007.

KARAKUS, B.; GUNTEKIN, E. Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard. *Industrial crops*, v.27; p.354-358, 2008.

KEENER, T. J.; STUART, R. K.; BROWN, T. K.. Maleated coupling agents for natural fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Kidlington, v. 35, n. 3; p. 357-362, 2004.

KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-10, 1977

KELSEY, KE. A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of Wood. C.S.I.R.O. Division of Forest Products.Tech.paper N^o 28, 1963.

KHEDARI, J. et al. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. Building Scientific Research Center. Boletim. Bangkok, Thailand, 2004.

KIKUCHI, T. Y. S. E LINS, A. L. F. DE A. Caracterização das fibras foliares de *Desmoncus orthacanthos* e *Desmoncus polyacanthos* (Arecaceae). 64^o Congresso nacional de botânica. Museu Paraense Emilio Goeldi. Belo Horizonte, 10-15 de Novembro de 2013.

KIRUTHIKA, A. V.; VELURAJA. K. Experimental studies on the physico-chemical properties of banana fibre from various varieties. *Fibers and Polymers*, Volume 10, Number 2, p 193. 2009,

KLEM, D. et al. Comprehensive cellulose chemistry. Fundamentals and analytical methods. Cidade: Wiley, Weinheim, V.1, 1998.

KLOCK, U.; MUNIZ, G.I.B.;HERNANDEZ, J.A; ANDRADE, A.S. Química de madeira. Curitiba. Universidade Federal do Paraná.86 p,2005.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. Principles of wood science and technology II. Wood based materials. New York: USA, 703 p,1975.

KUBLER, H. Wood: as building and hobby material. New York: John Wiley, 256 p. 1980.

LA CONDAIME , C.M. 1944. Viagem na América Meridional descend o rio das amazonas. Rio de Janeiro, Pan-Americana. (Biblioteca Brasileira de Cultura, 1).

LEE, S.; SHUPE, T.F.; HSE, C.Y. Utilization of Chinese tallow tree and bagasse for medium density fiberboard. Forest Products Journal, Madison, v. 54, n. 12, p. 71-76, 2004. 161.

LI, Y.; MAI , Y.-W.;YE, L. Sisal fiber and this composites: a review of recent developments. Composites Science and Technology. V.60, p.2037 – 2055, 2000.

LIMA, M.A.M.; VIDAURRE, B.G; LIMA, M.R, BRITO, O.E. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção chapas de madeira aglomerada. Ver. Árvore v.30 n.4. p 1-6. Visçosa jul/ago. 2006

LIMA JR. U. M. Fibras da semente do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios... Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Universidade Pontifícia de Porto Alegre, Porto Alegre, 141 f. 2007.

LINS, A.,L. F.; MESQUITA, A.L; GARCIA,T. B.; KIKUCHI,T.Y.S.; MACEDO,E. G. & FARIA, L. J. G. Caracterização anatômica do tecido vascular do fruto de *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae): uma contribuição ao aproveitamento das fibras do caroço de açaí. 63º Congresso Nacional de Botânica. JOINVILLE – Santa Catarina- 2012.

LOPES, F.M.F.; ARAÚJO, G.T.; LUNA, S.; NASCIMENTO, W.B.J.; VALNEIDE R.D. Modificação das propriedades das fibras de curauá por acetilação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.15, n.3, p.316 – 321, 2010.

LORENZI.H ET AL. Palmeiras do Brasil: Nativas e exóticas. Nova Odessa: Plantarum. 303 p, 1996.

MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, (Coleção Adolpho Ducke). 274 p, 2004.

LUTZ ADOLFO INSTITUTO. Normas analíticas do instituto Adolfo Luz: Métodos Químicos e Físicos para Análise em alimentos, São Paulo,.p. 126 -127,1985.

LUZ, R. Uma solução para o homem do campo e para a Mata Atlântica: programa ambiental: a última Arca de Noé. 2005. Disponível em: <<http://www.ultimaarcadenoe.com>>. Acesso em: 20 de Dez. 2011.

MALONEY, T. M. Modern Particleboard & Dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco. 1977. 672p.

MANHÃES, A.P. Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil abordagem preliminar. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, 2008. 39 p.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORT, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A.D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica. Polímeros, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008

MARQUES, M. G. S. Compositos cimentícios reforçados com fibra vegetal de arumã. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Programa de pós-graduação em engenharia civil – PPGEC/Universidade Federal da Amazonas, 2009.

MARRA, A. A. Technology of wood bonding: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MARTINS, M.A.; PESSOA, J.D.C.; GONÇALVES,P.S.; SOUZA, F.I.; MATTOSO, L.H.C. Thermal and mechanical properties of acai fiber/natural rubber composites. Journal of Materials Science Letters.p-1-25.2008.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação de propriedades física mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. Revista Floresta, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 149-158, 2007.

MEDEIROS, E. S.; MATTOSO, L. H. C.; CARVALHO, L. H. Uso de tecidos de fibras vegetais para melhoria das propriedades de materiais plásticos. Circular Técnica, São Carlos, n. 16, Nov. 2002. Disponível em: <http://watts.cnpdia.embrapa.br/publicacoes/CiT16_2002.pdf>. Acesso em: 30 Jun. 2011.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. & IWAKIRI, S. Revista da Madeira Wood Magazine, Edição Especial - Painéis, p.12, 2003.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. The effect of adhesive on the properties of particleboards made from sugarcane bagasse generated in the distiller. Revista de Ciências Agrárias. Lisboa-PT. v. 32, n. 2, p. 209-218, 2010.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.; GUIMARÃES JR., J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Nomenclatura Comum de Mercosul. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1090www.receita.fazenda.gov.br/publico/tipi/tipi.doc>. Acesso em: 05 maio. 2013.

MOBILE FORNECEDORES - Inovação e negócios para a indústria moveleira ANO XXV. ED. 242. Maio 2012.

MOHANTY, S. ; VERMA, S.K. ; NAYAK, S.K. Dynamic mechanical thermal properties of MARPE treated jute/HDPE composites. Composites and Science and Technology. V. 66, n.3-4, p-538- 547.2006.

MOIZÉIS, F.A. Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2007.

MORTON, W.E.; HEARLE, J.W.S. Physical properties of textile fibres. London. Second Edition. (1975).

MOSCOSO S.V.B. Modelagem da distribuição geográfica de doze espécies vegetais (seis madeiras e seis palmeiras) na Amazônia, usando dados de coleção e inventários. Dissertação apresentada à universidade Federal rural da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração Botânica Tropical, para obtenção do título de mestre. 2012.

MOSLEMI, A. A. Particleboard: Technology. Southern Illinois: University Press, 1974.

MOURÃO, L. AÇAIZEIRO: AÇAÍ E PALMITO NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO. IN: Açaí (*Euterpe oleracea Mart.*): possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico. P. 181-204: editores: Mário Augusto Gonçalves Jardim,

MURAKAMI, C. H. G.. Bambu: matéria-prima do futuro. In Boletim Florestal: Informativo Florestal do Norte Pioneiro, ed. 6, ano 1, dez. 2007. p. 5. Disponível em < www.forestbrazil.com.br>. Acesso em 16 nov. 2013.

MWAIKAMBO, L. Y; ANSELL, M. P. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. Journal of Applied Polymer Science, Hoboken, v. 84, p. 2222-2234, 2002.

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

NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R.; BERTOLINI, M.; SOUZA, A.M.; Viabilidade do emprego de Eucalyptus tratado com CCA e CCB na produção de painéis particulados de alta densidade. 57-90. In: Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos. São Carlos: EESC/USP, 2013. 339 p.

NASCIMENTO, M. F. CPH – Fabricação de chapas de Partículas de OSB - Oriented Strand Board, com matéria-prima proveniente de espécies de madeira da caatinga do Nordeste do Brasil. São Carlos: USP. (Relatório de Pesquisa – Programa de Desenvolvimento Regional/CNPq). 2006.

NAZARÉ., R. F. R.; EMMI, D. T.; BARROSO, R. F. F.; ROCHA, P. O. Bacterial plaque evidencing composition based on natural colorants. U.S. n. 7, 182, 935. 2007.

NETO M.A.M. Caracterização anatômica e bioquímica de sementes de açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart*) Durante a germinação em condições de anoxia e normoxia. Universidade federal de Lavras (UFLA). Tese de Doutorado. Minas Gerais. 86 f (2004).

NOGUEIRA, B. R. et al. Thermal and morphological behavior of evo/piassava fiber composites. Characterization of minerals, Metals, and Materials. In: TMS, The Minerals, Metals and Materials Society, [New York], p. 373-380, 2012.

Office of Biological and Environmental Research of the U.S. Department of Energy Office of Science. Disponível em science.energy.gov/br. Acesso 10 Agosto 2013.

OKINO, E.; ANDAHUR, J. P. V.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Physicomechanical properties of chemically modified sugarcane bagasse particle panels. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, SP, n. 52, p. 35-42, 1997.

OLIVEIRA, A. K. F.; D'ALMEIDA, J. R. M. Caracterização da fibra de tururi como elemento para fabricação de eco-compósitos. In: Congresso brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em design, 9. São Paulo. 2010.

OLMOS, M. A. C. Equipamento e processamento de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 114p. 1992.

ORTUNÕ, T.G.; RODRÍGUES, J.A.; GARCÍA, M.T.F.; VILLENA, M.F.; GARCÍA, C.E.F. Evaluation of the physical end mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax* L.). *BioResources*, Raleigh, v. 6, n. 1, p. 477-486, 2011.

PABLO, A. A.; PEREZ, E. B.; ELLA, A. B. Development of particleboard on a pilot-plant and semi-commercial scale using plantation and secondary wood species and agricultural fibrous waste materials. Forest Products Research and Industries Development Commission, University of the Philippines, Philippines, 1975

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,ab.jun.1999.

PAPADOPOULOS, A.N.; HILL, C.A.S.; GKARAVELI, A.; NTALOS, G.A.; KARASTERGIOU, S.P. Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. *Holz als Roh – und Werkstoff*, Heidelberg, v. 62, p. 36–39, 2004

PASSOS, P. R. A. Destinação sustentável de cascas de coco verde (*Cocos nucifera*): obtenção de telhas e chapas de partículas. 2005. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L.. Bambu de corpo e alma. Bauru-SP: Canal 6, 2007

PEREIRA, L.C. Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados a construção rural. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. 137 f. Pirassununga .2012.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.

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

PICHA, D. H. Guyana economic opportunities. In: Chemonics International Inc. United States Agency for International Development. Georgetown, 2003. Disponível em: <<http://www.dec.org/pdf-docs/PNAY794.pdf>>. Acesso em: 22 de Jun. 2011.

PIMENTEL, M. S. Rotação de culturas: espécies alternativas para formação de palha no cerrado. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, n. 85, Jan./Fev. 2005. Disponível em: <http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=607>. Acesso em: 11 de Jan. 2012.

PIZZI, A. Advanced wood adhesives technology. New York: Marcel Dekker. 289 p. 16, 1994.

POEMA. Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia, Pará. 2005. Disponível em: <<http://www.poema.org.br>>. Acesso em: 2 set. 2011.

PORTELA, T.G.R.; COSTA, L.L.; SANTOS, N.S.S.; LOPES, F.P.D.; MONTEIRO, S.N. Tensile behavior of lignocellulosic fiber reinforced polymer composites: Part II buriti petiole/polyester. Matéria, vol.15. n° 2. Rio de Janeiro. 2010.

PRANDA, J. Medium density fiberboards made from *Pinus pinaster* and *Eucalyptus globulus* wood. Part I: Chemical composition and specific surface area of defibrated wood. Drevarsky Vyskum, Bratislava, n. 2, p. 19–28, 1995.

QUIRINO, G.M (2010). Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória). Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Faculdade Tecnologia – FT. Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Tese de Doutorado. 156 f. 2010

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A.L.; BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry – a sustainability assessment. Journal of Cleaner Production 15, pp.1032-1040. 2006

RABI J.A.; SANTOS S.F., TONOLI H.D.G., SAVASTANO JR , H. Agricultural wastes as building materials properties, performance na applications. Building materials: Properties, performance and applications. Chaper 9.p 44.2009.

RAI, A.; JHA, C.N. Natural fibre composites and its potential as building materials. BMTPC/Development Officer, Nova Déli, 2004. Disponível em: s energéticos a partir de caroços de açai. <<http://www.bmtpc.org/pubs/papers/paper1.htm>>. Acesso em: 13 ago. 2011.

REIS, B.O.; SILVA, I.T.; SILVA, I.M.O.; ROCHA, B.R.P. Produção de briquetes energéticos a partir de caroço de açai. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, Campinas, 4p,2002.

RENÓFIO, A.; FERREIRA, C.V. Confecção de painéis de serragem cromada com resina fenólica. Bauru: UNESP; 46 p. 2001.

RIBEIRO, E. E.; CRUZ, I. B. Dieta amazônica: saúde e longevidade. Manaus: Cultural do Amazonas; 152 p. 2012.

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

ROCHA, F.T.; FLORSHEIM, S.M.B.; OUTO, H.T.C. Variação das dimensões dos elementos anatómicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. Revista Instituto Florestal, São Paulo, v 16, n.1. p 43-55 Jun. 2004.

RODARMEL, J.L. Medium density fiberboard refining: better fibers. Muncy: Andritz Sprout-Bauer, 1995. 8 p.

RODRIGUES, M. S.; GISLEIVA F. C. ; SHIROMA, L. ;BERALDO, A. L.; BENTO, HERNANDES . L. Physicomechanical evaluation of cementitious matrices with Portland cement replacement by rice husk ash. In: International Conference of Agricultural Engineering CIGR-Ag Eng 2012, Valencia. International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng v. 1. 2012

ROGEZ, H. Açai: preparo, composição e melhoramento da conservação. Belém: EDUFA, 313 p. 2000.

ROWELL, R. Utilisation of natural fibers in plasticc composites: probles and opportunities. In: LEÃO, A.; CARVALHO, F. X.; FROLINI, E. (Eds.). Lignocelluusic: plastic composites São Paulo: USP, UNESP, p. 23-25. 1997.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: Natural polymers and agrofibers based composites,1. São Carlos, SP Anais. São Carlos, SP, 2000, p. 115-134. 2000.

ROWELL, R. M.; YOUNG, R. A.; ROWELL, J. K. Paper and composites from agro-based resources. Boca Ratón: CRC Press LCC, 1997. p. 269-299. Disponível em: <<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1997/engli97c.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2011.

SANTANA A C ; CRUZ P J D; SANTANA Á L. O mercado de açaí e os desafios tecnológicos. p 21-39. 2012.

SANTOS, M.P.; AGUILAR, M.T.P. Painéis de madeira como vedação vertical em construções. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, v. 14, n. 15, p. 242-263, dez. 2007

SARTORI, D.; CRAVO, MACHADO J.; N GARZON ; FIORELLI, J ; SAVASTANO JUNIOR H. Painel em Madeira de Reflorestamento e Chapas de Partículas para Instalações Rurais. Floresta e Ambiente, v. 19, p. 171-178, 2012.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Composites Part A: Applied Science and manufacturing, Kidlington, v. 38, p. 1694-1709, 2007.

SATYANARAYANA, K. G.; GREGORIO, G.C.; ARIZAG.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – An overview. Progress in Polymer Science 34, p. 982-1021. 2009.

SAVASTANO JR., H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 2000. 144 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO JR., H. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. In: ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. (Eds.). Utilização de resíduos na construção habitacional. Rio de Janeiro: FINEP, 2003. Disponível em:<<http://habitare.infohab.org.br/%20pdf/publicacoes/arquivos/128.pdf>>. Acesso em: 27 de Jan. 2012.

SAVASTANO JR., H. Telhas à base de cimento alternativo reforçado com fibras celulósicas. Relatório de atividades, construções rurais & ambiência. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2002. Disponível

em:<http://www.antac.org.br/prototipos/projetos/%2003_telha_cimento_alternativo/etapas/rel_fibrocimento.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2011.

SAVASTANO JR., H. Zona de transição entre fibras e pasta de cimento portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas do compósito. 1992. 249 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1992.

SCHUH, T. G. Renewable materials for automotive applications. Daimler-Chrysler AG. Stuttgart, Alemanha, 1997 Disponível em:<<http://www.ienica.net/fibresseminar/schuh.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2011.

SHUPE, T.F.; GROOM, L.H.; EBERHARDT, T.L.; RIALS, T.G.; HSE, C.Y.; PESACRETA, T. Mechanical and physical properties of composite panels manufactured from Chinese tallow tree furnish. Forest Products Journal, Madison, v. 56, n. 6, p. 64-67, June 2006.

SILVA, A. J. P. Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB. 2006. _116__p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, A. J. P.; FRANÇA SANTOS, W. L.; ROCCO LAHR, F. A. Partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel similar ao OSB. In: XI Encontro Brasileiro Em Madeira E Estruturas De Madeira, 2008.

SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. 2003. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, R.V., SPINELLI, D.; BOSE, F. W.W.; CLARO, N. S.; CHIERICE, G.O.; TARPANI, J.R.; Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. Composites Science and Technology 66 1328-1335. 2006.

SOARES, L.L.; PENNA, J.E.; LOGSDON, B.N.; ABREU, J.G. Produção e caracterização física de painéis homogêneos aglomerados de resíduo de casa de arroz. XI Encontro Brasileiro em madeira e estruturas de madeira. Londrina, .p 12, Julho 2008.

SOUZA, M. A. C.; YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, J.P. L.;PANTOJA, L. Suco de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação microbiológica, tratamento térmico e vida de prateleira. *Acta Amaz.* [online]., vol.36, n.4, p. 497-5022006.

SPIX, J.B. VON E MARTIUS, C.F.P.VON. Viagem pelo Brasil. 1817-1820. Belo Horizonte/São Paulo/USP. 1981.

SREENIVASAN, S.; BHAMA IYER P; KRISHNA IYER KR. Influence of delignification and alkali treatment on the fine structure of coir fibres (cocos nucifera). J Mater Sci: 31:721-6. 1996.

SYDENSTRICKER, THD; MOCHNAZ, S; AMICO, S.C. Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. Polym Test. 22(4): p 375-80. 2002.

TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. Composites: Part B, v.42, p.1330–1335, 2011.

TAPPI . Acid- insoluble lignin and wood and pulp, T222 om -88,1988.

TAVALERA, F.J.F.; GUZMAN, J.A.S.; RICHTER, H.G.; DUENAS, R.S.; QUIRARTE, J.R. Effect of production variables on bending properties, water absorption and thickness swelling of bagasse/plastic composite boards. Industrial Crops and Products, Amsterdam, v. 26, p. 1–7, 2007.

TEIXEIRA, A.A. Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa. 2002. 204 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 5, p. 29-34, 1997.

TOMAZELLO FILHO, M Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. 2009. 134 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TOMAZELLO FILHO, M. Formação e anatomia da madeira: exercícios práticos. Piracicaba: ESALQ, 2002. 76 p.

TOMLINSON, P.B. Anatomy of the Monocotyledons. II. Palmae. Oxford: Claredon Press. 440 p,1961.

UHL, N.W. e DRANSFIELD, J.. Genera Palmarum: a classification of palms based on the work of Harold E. Moore, Jr. Kansas, Allen Press. Pp. 34-374,1987.

VALE, A.T.; GENTIL, L.V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.S.; NOGUEIRA, M. (Org.). Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III. Jerônimo Monteiro: UFES, 2008. cap. 8, p. 195-242.

VAN, S. P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *J Dairy Sci.* v 74, p 3583-3597, 1991.

VILAR, W.D. Química e tecnologia dos poliuretanos. 1993.

WAMBUA P, IVENS J, VERPOEST I. Natural fibers: can they replace glass in fiber-reinforced plastics. *Compos Sci Technol*; v. 63:1259–64, 2003

WIDYORINI, R.; XU, J.; UMEMURA, K., KAWAI, S Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse: effects of raw material type, storage methods and manufacturing process. *Journal of wood science*, v. 52, n. 6, p. 648-654, 2005.

WOODS, G. The ICI polyurethane book. New York. 1990.

XING,, C; RIEDL, B; CLOUTIER, A. Measurement of urea-formaldehyde resin distribution as a function of MDF fiber size by laser scanning microscopy. *Wood Science and Technology*, New York, v. 37, p. 495 – 507, 2004.

YUYAMA, L. K. O.; AGUIAR, L.J.P.; FILHO, S.D.F.; YUYAMA, K.; VAREJÃO M.J.; FÁVARO, T.D.I., VASCONCELLOS, A.M.B., PIMENTEL, S.A., CARUSO F.M.S. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. *Acta Amaz.* [online]., vol.41, n.4, pp. 545-552. 2011.