



**Ana Karla Freire de Oliveira**

**Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito  
poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na  
fabricação de pisos e revestimentos**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos.

Orientador: José Roberto Moraes d'Almeida

Rio de Janeiro  
Julho de 2011



**Ana Karla Freire de Oliveira**

**Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito  
poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na  
fabricação de pisos e revestimentos**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof<sup>o</sup>. José Roberto Moraes d’Almeida**

Orientador e Presidente

Departamento de Engenharia de Materiais – PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup> Rossana Mara da Silva Moreira Thiré**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ

**Prof<sup>o</sup> Marcos Henrique de Pinho Maurício**

Departamento de Engenharia de Materiais - PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup> Laura Hecker de Carvalho**

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

**Prof<sup>a</sup> Ana Lúcia Fampa Seabra d’Almeida**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ

**Prof<sup>o</sup> José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico e Científico – PUC Rio

Rio de Janeiro, 26 de julho de 2011.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Ana Karla Freire de Oliveira**

Bacharel em Desenho Industrial pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Doutora em Engenharia de Materiais pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC Rio, tendo como tema de pesquisa o desenvolvimento de um compósito original e ecológico para aplicação em pisos e revestimentos. Professora adjunta da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Belas Artes, Curso de Desenho Industrial – Projeto de Produto. Pesquisadora da área de design e materiais.

#### Ficha Catalográfica

Oliveira, Ana Karla Freire de

Estudo da viabilidade técnica de utilização de compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos / Ana Karla Freire de Oliveira ; orientador: José Roberto Moraes d'Almeida. – 2011.

251 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia de Materiais, 2011.

Inclui bibliografia

CDD: 620.11

A Deus, o Grande Criador.

## Agradecimentos

A Deus. Certamente a única presença em todos os momentos.

Aos meus pais, Francisco e Salete, que com muita simplicidade e humildade, me mostraram o poder que a educação tem em transformar a vida das pessoas.

A Marco, pelo amor, paciência e compreensão nessa etapa, onde muitas vezes, estive ausente para alcançar os objetivos.

Ao meu orientador José Roberto Moraes d’Almeida pelo conhecimento transmitido, incentivo, sugestões e críticas em todas as etapas desse trabalho.

Ao CNPq e à PUC - Rio, pelos auxílios financeiros concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao Departamento de Desenho Industrial – PUC Rio, pela fabricação dos corpos de prova.

Ao professor José Geraldo do CEPEL, pela ajuda na realização dos ensaios.

À professora Verônica, pela realização dos ensaios de análises térmicas no laboratório de compósitos da Escola de Química da UFRJ.

À professora Valeria Pettarin, pela realização dos ensaios de impacto.

À professora Ana d’Almeida, pela realização do ensaio de densidade.

Aos professores que participaram da Comissão Examinadora.

Aos amigos, professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais da PUC Rio pela ajuda e ensinamentos.

## Resumo

Oliveira, Ana Karla Freire de; d'Almeida, José Roberto Moraes. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos.** Rio de Janeiro, 2011. 251p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nas últimas décadas o processo de degradação do meio ambiente e os movimentos ecológicos tornaram as questões ambientais algo bastante popular. Com o objetivo de se preservar o meio ambiente, o uso de materiais derivados da biomassa vem se intensificando. Neste sentido, a área de materiais compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais representam uma boa alternativa no campo dos materiais para aplicações de engenharia e design. Os principais objetivos deste trabalho foram o processamento, caracterização e análise de viabilidade de aplicação do compósito formado por uma resina poliuretano derivada do óleo de mamona (*Castor oil*) e fibras de ubuçu (*Manicaria saccifera*) na fabricação de pisos e revestimentos. O processamento dos compósitos foi realizado utilizando-se a técnica de moldagem por compressão. As fibras de ubuçu foram utilizadas na forma de tecido, sem qualquer tratamento e empilhadas segundo orientações de 0 e 90°, para tentar manter um comportamento isotrópico. Primeiramente foi realizada a caracterização da fibra de ubuçu através dos seguintes ensaios: tração, difração de Raios-X, TGA, MEV/EDS, densidade, FTIR, DSC e gramatura. Esta primeira parte se fez necessária pelo fato da fibra de ubuçu não ser totalmente conhecida pela comunidade acadêmica, em termos de suas características químicas e mecânicas. Na confecção dos compósitos, para fins de comparação, foram utilizadas as resinas de mamona em duas proporções de seus componentes e a resina epóxi, esta última por ser uma das mais utilizadas na confecção de compósitos poliméricos. Os compósitos foram caracterizados através dos seguintes ensaios: flexão, compressão normal e paralela, impacto, DMTA, abrasão e MEV/EDS. Os resultados de caracterização da fibra de ubuçu mostraram que a mesma não difere das demais fibras vegetais pesquisadas comumente, porém, no ensaio de tração, ela apresentou resistência superior às de

outras fibras vegetais encontradas na literatura. Os resultados indicam que as propriedades mecânicas do compósito de resina de mamona e fibra de ubuçu em flexão, compressão e impacto foram superiores às de compósitos similares reportados na literatura. No ensaio de abrasão, os compósitos de resina de mamona e fibra de ubuçu foram comparados a duas espécies de madeira, pupunha e coco, mostrando-se adequados como material na fabricação de pisos e revestimentos, mesmo apresentando propriedades inferiores que as das madeiras pesquisadas. Foi desenvolvido, de acordo com a metodologia do Design Industrial, um piso na forma de “taco” para observação de encaixes e detalhes estéticos, o que resultou na seleção do mesmo para exposição no 24º Prêmio Museu da Casa Brasileira e em um Registro de Patentes do material pela PUC Rio.

## **Palavras-chave**

Eco-compósito; fibra de ubuçu; caracterização mecânica; resina de mamona; design; pisos sustentáveis.

## Abstract

Oliveira, Ana Karla Freire de; d'Almeida, José Roberto Moraes (Advisor). **Study of technical feasibility of using composite polyurethane resin from castor oil and fiber of ubuçu in the manufacture of flooring and coatings.** Rio de Janeiro, 2011. 251p. Doctoral Thesis – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In recent decades the process of environmental degradation and the ecological environmental issues became very popular. In order to preserve the environment, the use of biomass materials has been intensified. In this sense, the area of polymer composites reinforced by natural fibers represents a good alternative in the field of engineering materials for design applications. The main objectives of this study is the processing, characterization and analysis of composite applying feasibility for the flooring and tiles. This composite is made of a polyurethane resin derived from castor oil (Castor oil) and ubuçu fiber (*Manicaria saccifera*). The composite process was performed with the compression molding technique. Ubuçu fibers were used as a tissue without any treatment and stacked with orientations from 0° to 90°, trying to keep an isotropic behavior. The characterization of the ubuçu fiber was made by the following tests: traction, X-ray diffraction, TGA, SEM / EDS, density, FTIR, DSC, and weight. This first part was necessary because the fiber ubuçu is not known by the academic community in terms of their chemical and mechanical characteristics. In the composites manufacture, for comparison purposes, was used the two resins castor proportions, and epoxy resin, this last being one of the most used in the polymer composites manufacture. The composites were characterized by the following tests: bending, normal and parallel compression, impact, DMTA, abrasion and SEM / EDS. The results of the characterization of ubuçu fiber showed that it does not differ from other fibers plant commonly studied, but in the tensile test, it showed superior resistance if compare to other fibers plant found in the literature. The results in bending, compression and impact tests indicate that the mechanical properties of the composite, castor oil and ubuçu fiber, were higher than similar composites reported in the literature. The abrasion test, the



composite made of castor oil and ubuçu fiber were compared to two palms (*Bactris gasipaes* and *Cocos nucifera*) and even with inferior properties, the composite is suitable as a material in the manufacture of floors and walls. It was developed in accordance with the methodology of Industrial Design, a floor in the form of "cue" for observation of aesthetic details, which was selected to be exhibited in 24 Brazilian House Museum Award and a Patents registration material by PUC Rio.

## **Keywords**

Eco-composite; ubuçu fiber; mechanical characterization; resin from castor oil; design; sustainable floors.

## Sumário

1. Introdução	23
1.1 Objetivos Geral e Específicos	26
2. Revisão Bibliográfica	28
2.1 Materiais Compósitos	28
2.2 Compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais	29
2.2.1 Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais: Aplicação no setor automotivo	35
2.2.2 Materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais: Aplicação no setor da construção civil e design	39
2.3 Fibras – Panorama Geral	44
2.3.1 Fibras Vegetais – Panorama geral e classificação	45
2.3.2 Estrutura física e constituição química das fibras vegetais	48
2.3.3 Métodos de modificação superficial das fibras vegetais	51
2.3.4 Brasil como produtor de fibras vegetais – Panorama geral	54
2.3.5 Quadro de imagens de algumas fibras vegetais	56
2.4 Palmeira Ubuçu – <i>Manicaria saccifera</i>	58
2.4.1 Classificação e localização	58
2.4.2 Dados silviculturais da palmeira ubuçu	60
2.4.3 A fibra da ubuçu - Tururi	62
2.4.4 Tururi – Importância econômica	64
2.5 Resina de mamona – <i>Ricinus communis L</i>	66
2.5.1 Mamona – Aspectos gerais	66
2.5.2 Óleo de mamona – Mercado mundial	68
2.6 Poliuretanas – Aspectos gerais	73
2.6.1 Resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona	75
2.6.1.1 Resina de mamona monocomponente	76
2.6.1.2 Resina de mamona bicomponente	76
2.7 Do Design industrial ao ecodesign	78
2.7.1 Design industrial – Panorama geral	78

2.7.2 Eco-design	82
2.7.3 Ciclo de vida	83
2.7.4 Análise do ciclo de vida – ACV (Life Cycle Assessment – LCA)	85
 3. Material e Métodos	 88
3.1 Material	88
3.1.1 Fibra de ubuçu	88
3.1.2 Resina de mamona	89
3.1.3 Resina epóxi	90
3.2 Procedimento experimental	91
3.2.1 Ensaios para caracterização da fibra de ubuçu	91
3.2.1.1 Microscopia eletrônica de varredura – MEV/EDS	91
3.2.1.2 Difração de Raios X	92
3.2.1.3 Análise termogravimétrica - TGA	92
3.2.1.4 Densidade aparente em relação à água	95
3.2.1.5 Análise térmica – Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC	96
3.2.1.6 Espectroscopia na região do infravermelho	97
3.2.1.7 Ensaio de gramatura	98
3.2.1.8 Ensaio de tração na fibra	99
3.2.2 Fabricação do compósito e ensaios realizados	100
3.2.2.1 Metodologia de fabricação do compósito	100
3.2.2.2 Compressão normal e paralela	104
3.2.2.3 Análise Térmica Dinâmico Mecânica - DMTA	106
3.2.2.4 Flexão estática	106
3.2.2.5 Ensaio de abrasão	107
3.2.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV	109
3.2.2.7 Ensaio de resistência ao impacto do tipo queda de dardo	109
3.2.2.9 Projeto de design – Piso tururi mamona	112
 4. Resultados e Discussões	 114
4.1 Caracterização da fibra de ubuçu	114

4.1.1 MEV/EDS	114
4.1.2 Difração de Raios X	117
4.1.3 Análise termogravimétrica - TGA	118
4.1.4 Densidade aparente em relação à água	121
4.1.5 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier - FTIR	121
4.1.6 Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC	125
4.1.7 Gramatura	127
4.1.8 Resistência à tração	130
4.2 Caracterização do compósito de fibra de ubuçu e resina de mamona	133
4.2.1 Ensaio de flexão estática	134
4.2.2 Ensaio de compressão paralela	145
4.2.3 Ensaio de compressão normal	156
4.2.4 Ensaio de impacto	165
4.2.5 Análise das superfícies de fratura de impacto através da Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	178
4.2.6 Ensaio de abrasão	187
4.2.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura – Análise das superfícies de abrasão	190
4.2.7 Análise Dinâmico Mecânica - DMA	195
4.2.8 Projeto de Design – Piso tururi mamona	201
4.2.9 Análise de Ciclo de Vida - ACV	220
5. Conclusões	222
5.1 Caracterização da fibra de ubuçu	222
5.2 Caracterização dos compósitos de fibra de ubuçu e resinas de mamona/epóxi	223
6. Sugestões para futuros trabalhos	225
7. Referências bibliográficas	226
8. Anexos	243

## Lista de Figuras

Figura 1 – Fluxograma de caracterização da fibra de ubuçu, da resina de mamona e do compósito	25
Figura 2 – Classificação de compósitos	29
Figura 3 – Capacete para ciclista de PU puro e PU com 20% (p/p) de curauá	32
Figura 4 – Aspecto dos compósitos com fibras orientadas aleatoriamente ou unidirecionalmente.	33
Figura 5 – Microscopias obtidas por MEV com ampliação de 200X: compósito lignina-fenol/fibras de bagaço 1,5cm; compósito fenólico/fibras de sisal 3 cm.	34
Figura 6 – Mercedes Classe A com seus componentes internos confeccionados com compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais.	37
Figura 7 – BMW e o uso de fibras vegetais	38
Figura 8 – Bugster, o carro conceito da Fiat desenvolvido em Betim (MG).	39
Figura 9 – Telhas de compósito polimérico de óleo de soja e fibras vegetais	40
Figura 10 – Placas de compósito polimérico de óleo de soja e fibras vegetais	40
Figura 11 – Aspecto da matéria-prima do compósito plástico-madeira; Pós de madeira, polímeros e algumas peças fabricadas com o plástico-madeira	41
Figura 12 – Perfis produzidos a partir do compósito plástico-madeira; Deck construído com o compósito “madeira-plástica”	42
Figura 13 – Linha BIOS Banho Native da empresa COZA	42
Figura 14 – Linha ORGANIC Organizadores COZA	43
Figura 15 – Classificação das fibras	44

Figura 16 – Alguns usos tradicionais de fibras vegetais no mercado	46
Figura 17 – Constituição estrutural da fibra vegetal	49
Figura 18 – <i>Manicaria saccifera</i> (ubuçu)	60
Figura 19 – Palmeira de ubuçu adulta	61
Figura 20 – Palmeira de ubuçu jovem	61
Figura 21 – Estrutura da palmeira ubuçu. Invólucro/saco fibroso denominado “Tururi”. Folhas. Frutos	62
Figura 22 – Detalhe do Invólucro/saco fibroso (Tururi) que protege os frutos da palmeira ubuçu	63
Figura 23 – Detalhe da fibra da ubuçu (Tururi). Folha aberta, seca e tratada	63
Figura 24 – Fibra de ubuçu/tururi	63
Figura 25 – Processo de secagem das fibras de tururi	65
Figura 26 - Coleção de roupas criadas com fibras da ubuçu/ tururi	65
Figura 27 – Bolsas confeccionadas com a fibra de tururi/ubuçu	66
Figura 28 – Mamona/detalhe da planta e semente	67
Figura 29 – Processo de extração do óleo de mamona	68
Figura 30 – Projeção no consumo mundial do óleo de mamona	70
Figura 31 – Óleo de mamona padrão	72
Figura 32 – Aplicações do óleo de mamona	72
Figura 33 – Esquema de formação de poliuretana a partir de polioli e diisocianato	73
Figura 34 – Estrutura do difenilmetano diisocianato - MDI	78
Figura 35 – Alguns produtos do Design Industrial	79
Figura 36 – Folha de ubuçu coletada no estudo e suas dimensões aproximadas	89
Figura 37 – Câmara de amostras do MEV aberta	91
Figura 38 – Equipamento de DSC utilizado e detalhe	97
Figura 39 – Detalhe das garras pneumáticas com o corpo de prova	99
Figura 40 – Corpo de prova utilizado no ensaio de tração	100
Figura 41 – Molde metálico para fabricação do compósito	101

Figura 42 – Esquema técnico do molde metálico e suas respectivas dimensões internas	101
Figura 43 – Esquema de corte das folhas de ubuçu	102
Figura 44 – Folhas da ubuçu cortadas	102
Figura 45 – Pesagem das folhas de ubuçu	102
Figura 46 – Aspecto da placa de compósito	103
Figura 47 – Corpo de prova utilizado no ensaio de compressão normal	105
Figura 48 – Corpo de prova utilizado no ensaio de compressão paralela	105
Figura 49 – Aspectos do corpo de prova utilizados no ensaio de DMTA	106
Figura 50 - Corpo de prova de flexão fixado à máquina de ensaio	107
Figura 51 – Tarugos de compósitos obtidos do torneamento mecânico para o ensaio de abrasão	108
Figura 52 – Corpo de prova a ser ensaiado. Corpo de prova ao final do ensaio. Corpo de prova pesado ao final do ensaio.	109
Figura 53 – Equipamento “Falling Weight”, ensaio de Impacto. Esquema do teste de impacto.	110
Figura 54 – Configuração do equipamento utilizado no ensaio de resistência ao impacto	111
Figura 55 – Ponte de Wheaststone	112
Figura 56 – Face externa da fibra e face interna	114
Figura 57 – Superfície externa da fibra com células parenquimáticas. Superfície interna coberta com material orgânico	115
Figura 58 – Detalhe das protruções na superfície da fibra de ubuçu	115
Figura 59 – Protrusão e espectro de EDS da fibra de ubuçu	116
Figura 60 – Espectro de EDS da fibra de ubuçu na protrusão	116
Figura 61 – Difratoograma da fibra de ubuçu	117
Figura 62 – Curva de TG da fibra de ubuçu	118
Figura 63 – Curva de TG da fibra de ubuçu com valores	119
Figura 64 – DTG. Curva da derivada da perda de massa em	120

função da temperatura da fibra de ubuçu	
Figura 65 – Cálculo da energia de ativação da fibra de ubuçu	120
Figura 66 – Espectro no IV para a fibra de ubuçu e suas bandas de absorção	122
Figura 67 – Espectro IV das bandas de celulose e C-H alifáticos	123
Figura 68 – Espectros IV das bandas relativas à lignina e hemicelulose	124
Figura 69 – Espectros IV das bandas entre 769 – 1239 cm <sup>-1</sup>	124
Figura 70 – Curvas de DSC para a fibra de ubuçu	125
Figura 71 – Picos bruscos identificados na fibra de ubuçu	126
Figura 72 – Detalhe do pico endotérmico de degradação da celulose	127
Figura 73 – Fibra de ubuçu. Tecido de fibra de juta. Tecido de fibra de vidro	128
Figura 74 – Tecido plano	128
Figura 75 – Tecido de sisal no plano basket	129
Figura 76 – Início do carregamento em flexão com pequena deformação inicial	135
Figura 77 – Resistência à flexão dos materiais compósitos estudados	135
Figura 78 – Média dos valores do módulo de elasticidade para os compósitos analisados	137
Figura 79 – Resistência à flexão dos compósitos com resina de mamona 1:1	139
Figura 80 – Módulo de elasticidade dos compósitos fabricados com resina de mamona 1:1	140
Figura 81 – Valores de resistência à compressão para cada corpo de prova dos materiais analisados	145
Figura 82 – Valores médios de resistência à compressão para os três materiais analisados	146
Figura 83 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento do Material 1	147
Figura 84 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento do	147



Material 2	
Figura 85 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento do Material 3	148
Figura 86 – Corpo de prova de compressão paralela na máquina de ensaio universal	148
Figura 87 – Esquema de flambagem em corpos de prova sob compressão	149
Figura 88 - Falhas sob compressão em compósitos fibrosos	150
Figura 89 – Falhas características de cada grupo de materiais	156
Figura 90 – Valores de resistência à compressão para cada corpo de prova dos materiais analisados	156
Figura 91 – Valores médios de resistência à compressão para os três materiais analisados	157
Figura 92 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento para as amostras do Material 1	158
Figura 93 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento para as amostras do Material 2	159
Figura 94 – Aspecto das curvas tensão versus alongamento para as amostras do Material 3	159
Figura 95 – Corpo de prova nos discos de compressão	160
Figura 96 – Mecanismos de falha em compósitos sob impacto	166
Figura 97 – Curvas força versus deslocamento para o material 1	168
Figura 98 – Resistência ao impacto máxima para as amostras do material 1	168
Figura 99 – Curvas força versus deslocamento para o material 2	170
Figura 100 – Médias de resistência ao impacto para o material 2	171
Figura 101 – Curvas força versus deslocamento para o material 3	173
Figura 102 – Médias de resistência ao impacto do material 3	173
Figura 103 – Médias de resistência ao impacto para os três materiais analisados	175
Figura 104 – Força máxima (N/mm) para cada material	175
Figura 105 – Energia de fratura (Nmm/mm)	176
Figura 106 – Energia de fratura com valores de iniciação,	177

propagação e total	
Figura 107 – Deslocamentos (mm) para cada tipo de material	178
Figura 108 – Superfície da amostra/bolhas na matriz do material 1	179
Figura 109 – Bolhas na matriz; fibra fraturada do material 1	179
Figura 110 – Protrusões na superfície da fibra; fibra fraturada do material 1	180
Figura 111 – Detalhe de ligação interfacial fibra/matriz e bolha no material 1	181
Figura 112 – Trinca se propagando na matriz do material 2	181
Figura 113 – Fraturas na matriz; fibra rompida na matriz do material 2	182
Figura 114 – Padrão de fraturas de matriz de natureza dúctil do material 2	182
Figura 115 – Fratura da fibra no plano da matriz	183
Figura 116 – Evidências de bolhas detectadas na matriz do material 2	183
Figura 117 – Descolamento maciço de fibras da matriz do material 3	184
Figura 118 – Superfície na matriz da fibra arrancada; buraco. Material 3	185
Figura 119 – Bolhas na matriz; fratura frágil e semi-dúctil no material 3	185
Figura 120 – Mecanismos de falha no Material 3	186
Figura 121 – Médias dos pesos das amostras antes do ensaio de abrasão	187
Figura 122 – Média dos pesos das amostras após o ensaio de abrasão	188
Figura 123 – Desgaste abrasivo (%) dos materiais analisados	188
Figura 124 – Micrografias da superfície que sofreu abrasão para o material 1	191
Figura 125 – Micrografias da superfície que sofreu abrasão para o material 2	191
Figura 126 – Micrografias da superfície que sofreu abrasão para o	192

material 3	
Figura 127 – Micrografias da superfície que sofreu abrasão para a madeira de pupunha	193
Figura 128 – Micrografias da superfície que sofreu abrasão para a madeira de coqueiro	194
Figura 129 – $\tan \delta$ em função da temperatura para os materiais	198
Figura 130 – Módulos de armazenamento ( $E'$ ) encontrados para os materiais em função da temperatura	199
Figura 131 – Módulos de perda ( $E''$ ) encontrados para os materiais em função da temperatura	201
Figura 132 – Piso do assoalho de madeira	203
Figura 133 – Exemplo do piso do tipo taco	204
Figura 134 – Exemplo de piso do tipo parquet	204
Figura 135 – Espinha de peixe; tijolinho; quadrado	205
Figura 136 – Etapas de instalação do piso de madeira/contrapiso	206
Figura 137 – Etapas para instalação do piso de madeira/piso de taco	207
Figura 138 – Máquinas lixadeiras grandes e portáteis para dar acabamento ao piso de taco	207
Figura 139 – Esquema da área útil da folha de ubuçu a ser aproveitada	209
Figura 140 – Esquema do bloco de compósito prensado e fabricação de seis peças de tacos por vez	209
Figura 141 – Esquema do taco projetado com o material 1	210
Figura 142 – Esquema do taco projetado com as vistas laterais	210
Figura 143 – Esquema de encaixe do taco projetado/topo	211
Figura 144 - Esquema de encaixe do taco projetado/frente	211
Figura 145 – Esquemas de montagens possíveis para o taco projetado	211
Figura 146 - Perspectiva do taco projetado	211
Figura 147 – Corte das placas de compósito na serra de disco	212
Figura 148 – Detalhe da feitura do encaixe macho e fêmea no taco	213
Figura 149 – Peça de taco fabricada com o material 1	213

Figura 150 – Peça de taco em perspectiva	214
Figura 151 – Configuração formal “tijolinho”	214
Figura 152- Configuração formal “espinha de peixe	214
Figura 153 – Configuração formal “quadrado”	215
Figura 154 – Empilhamento dos tacos para embalagem/transporte	215
Figura 155 – Logomarca criada para o piso de taco material 1	216
Figura 156 – Cores em escala Pantone/CMYK e RGB	217
Figura 157 – Logomarca em preto	218
Figura 158 – Logomarca em tons de cinza e preto	218
Figura 159 – Estudo de cores de fundo para a logomarca	219
Figura 160 – Piso “Tururi Mamona” com a logomarca	220

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e fibras convencionais de reforço	31
Tabela 2 – Fontes importantes de fibras vegetais	47
Tabela 3 – Dimensões de algumas fibras lignocelulósicas	49
Tabela 4 – Composição química provável de algumas fibras vegetais (% em peso)	49
Tabela 5 – Áreas de cultivo de fibras vegetais no Brasil	56
Tabela 6 – Fibras vegetais no Brasil	56
Tabela 7 – Palmeiras da floresta de várzea do setor estuarino do Estado do Amapá	60
Tabela 8 – Exportação de óleo de mamona em toneladas	69
Tabela 9 – Produção mundial de mamona em baga no ano de 2005 (t)	70
Tabela 10 – Composição do óleo de mamona	71
Tabela 11 – Atribuições das bandas de absorção no FTIR	121
Tabela 12 – Carga máxima suportada e alongamento na ruptura	131
Tabela 13 – Designação dos materiais compósitos pesquisados	134
Tabela 14 – Temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), pico de $\tan \delta$ e módulo de armazenamento para os três materiais compósitos analisados	196

## Lista de Quadros

Quadro 1 – Fibras vegetais: Planta e aspecto das fibras	57
Quadro 2 – Aspectos das curvas de tensão de flexão e extensão de flexão	141
Quadro 3 – Aspectos dos corpos de prova após o ensaio de flexão	143
Quadro 4 – Amostras testadas e a aparência da curva tensão versus alongamento (mm) – Compressão Paralela	151
Quadro 5 – Aspectos dos corpos de prova após o ensaio de compressão e curvas de tensão versus deformação (mm)	161
Quadro 6 – Imagens das fraturas de cada corpo de prova do Material 1 após o ensaio de resistência ao impacto	170
Quadro 7 – Imagens das fraturas de cada corpo de prova do Material 2 após o ensaio de resistência ao impacto	171
Quadro 8 – Imagens das fraturas de cada corpo de prova do Material 3 após o ensaio de resistência ao impacto	174
Quadro 9 - Classificação de Pisos	203