



PGDESIGN | Programa de Pós-Graduação
Mestrado | Doutorado



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

Eliana Paula Calegari

**COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM CASCA DE ARROZ: DESENVOLVIMENTO,
CARACTERIZAÇÃO E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NO DESIGN DE
PRODUTO**

Tese de Doutorado

Porto Alegre

2018

ELIANA PAULA CALEGARI

Compósitos poliméricos com casca de arroz: Desenvolvimento, caracterização e possibilidades de aplicação no design de produto

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Design.

Orientador: Prof^ª. Dra. Branca Freitas de Oliveira

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Calegari, Eliana Paula

Compósitos poliméricos com casca de arroz:
Desenvolvimento, caracterização e possibilidades de
aplicação no design de produto / Eliana Paula
Calegari. -- 2018.

201 f.

Orientadora: Branca Freitas de Oliveira.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-
Graduação em Design, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Compósito. 2. Casca de arroz. 3. Poliéster. 4.
Design de Produto. I. Freitas de Oliveira, Branca,
orient. II. Título.

Eliana Paula Calegari

**COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM CASCA DE ARROZ: DESENVOLVIMENTO,
CARACTERIZAÇÃO E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NO DESIGN DE
PRODUTO**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de Doutora em Design, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS.

Porto Alegre, 24 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Régio Pierre da Silva

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS

Banca Examinadora:

Orientadora: **Prof^a. Dra. Branca Freitas de Oliveira**

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG

Prof^a. Dra. Carmen Iara Walter Calcagno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense – IFSUL –
Examinador Externo

Prof^a. Dra. Denise Maria Lenz

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis
PPGEMPS – ULBRA – Examinador Externo

Prof. Dr. Sandro Campos Amico

Departamento de Engenharia de Materiais – DEMAT – Examinador Externo

Prof^a. Dra. Jocelise Jacques de Jacques

Departamento de Design e Expressão Gráfica – DEG – Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial a minha orientadora, Prof^a. Dra. Branca Freitas de Oliveira, que nesta longa caminhada sempre confiou no meu trabalho, apoiou e auxiliou em todos os momentos.

À Prof^a. Dra. Carmen Iara Walter Calcagno, à Prof^a. Dra. Denise Maria Lenz, ao Prof. Dr. Sandro Campos Amico e à Prof^a. Dra. Jocelise Jacques de Jacques pelo aceite e a disponibilidade em compor a banca examinadora.

Ao Prof. Dr. Sandro Campos Amico por me receber no GCOMP – UFRGS e disponibilizar o laboratório para a realização dos experimentos e ensaios, e pela assistência durante este trabalho.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Design, em especial a minha colega de doutorado Jussara Smidt Porto pelo companheirismo, trocas de experiências e auxílio em todas as etapas deste trabalho, e ao Gabriel Barbieri pelo companheirismo e auxílio na realização da Microscopia Eletrônica de Varredura.

À Clarissa Coussirat Angrizani pela assistência na realização dos experimentos e ensaios no GCOMP, e por toda sua valiosa contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

À Pilar F. C. Lima pelo auxílio na preparação da casca de arroz para a confecção dos compósitos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao corpo docente e funcionários.

Ao Instituto Federal de Rondônia, em especial ao Campus Porto Velho Zona Norte pelo apoio e afastamento integral concedido para a realização da etapa final deste trabalho.

À minha família, por todo incentivo e apoio, em especial ao meu esposo Felipe da Luz Colomé, por todo companheirismo, ensinamentos, leitura e contribuições realizadas para este trabalho.

À CAPES pela bolsa concedida.

RESUMO

A casca de arroz, enquanto um resíduo agrícola corresponde ao principal subproduto gerado da indústria arroseira em grandes quantidades. Um dos principais destinos para a casca de arroz é a sua disposição a céu aberto ou queimada, o que gera graves problemas ambientais, como a poluição da água, do solo e do ar. Assim, há necessidade latente de aproveitamento desse resíduo, que é abundante e de fonte renovável. Uma das formas possíveis é a sua utilização para a produção de materiais, como em compósitos poliméricos, ainda pouco explorada. Nesse sentido, a presente pesquisa parte dos seguintes questionamentos: qual é a viabilidade de utilização da casca de arroz em compósitos com poliéster? É possível empregar compósitos à base de poliéster com 80% (fração volumétrica) de casca de arroz no design de produto? Para responder essas questões, foram produzidos compósitos com casca de arroz inteira, casca de arroz inteira e moída e casca de arroz moída, com matriz à base de resina poliéster insaturada, utilizando a moldagem por compressão. A partir disso, foi avaliado o desempenho mecânico dos compósitos desenvolvidos, como a resistência à tração, o módulo de elasticidade, a resistência à flexão, a dureza e a resistência ao impacto. Além disso, foi verificada a absorção de água, e por fim, foram avaliados os efeitos do intemperismo natural nos compósitos desenvolvidos. Após a caracterização, foram verificados os materiais que possuem atributos tangíveis próximos aos dos compósitos com casca de arroz, e as aplicações dos materiais selecionados, e, a partir disso foram verificados os atributos estéticos desses materiais e comparados com os atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz. Por fim, foi avaliado o comportamento e o acabamento dos compósitos a partir da experimentação com processos de fabricação utilizados na indústria moveleira. Como principais resultados, constatou-se que os compósitos possuem atributos tangíveis próximos aos de materiais utilizados na produção de móveis, como madeiras e derivados. Em relação aos outros ensaios, o compósito com casca de arroz moída absorveu menos água, a exposição a intempéries não afetou significativamente as propriedades mecânicas, contudo, houve mudança na coloração dos compósitos após os 6 meses de exposição às intempéries. Ainda, verificou-se que os compósitos com casca de arroz possuem atributos tangíveis próximos aos de madeiras e derivados, além disso, os compósitos com casca de arroz compartilham atributos estéticos com esses materiais. Constatou-se que podem ser empregados processos de fabricação utilizados na produção de móveis nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento. Portanto, móveis podem ser possibilidades de aplicação para os compósitos desenvolvidos nesta pesquisa.

Palavras-chave: Compósito. Casca de arroz. Poliéster. Design de Produto.

ABSTRACT

Rice husk, as an agricultural waste, corresponds to the main by-product generated from the rice industry in large quantities. The main destinations for rice husk are in dumps or burned, which cause serious environmental problems, such as pollution of water, soil and air. Thus, there is a latent need to take advantage of this waste, which is abundant and from renewable source. One of the possible ways is the utilization for the production of materials, as in polymeric composites, yet little explored. In this sense, the present research is based on the following questions: what is the feasibility of using rice husk in polyester composites? Is it possible to use composites based by polyester with 80% (volumetric fraction) of rice husk in the product design? To answer these questions, composites with whole rice husk, whole and ground rice husk and ground rice husk were produced with a matrix based on unsaturated polyester resin, using compression molding. The mechanical properties of the developed composites, such as tensile strength, modulus of elasticity, flexural strength, hardness and impact strength were evaluated. The water absorption, the contact angle, and finally, the effects of natural weathering were evaluated. After characterization, the research investigated the materials with tangible attributes close to the composites with rice husks and the applications of the selected materials. Based on these procedures the aesthetic attributes of these materials were verified and compared with the aesthetic attributes of the composites with rice husk. Finally, the behavior and the finishing of the composites were evaluated through experimentation with manufacturing processes used in the furniture industry. As main results, it was found that the composites have tangible attributes close to materials used in the production of furniture, such as woods and derivatives. In relation to the other tests, the composite with ground rice husk absorbed less water, the exposure to natural weathering did not significantly affect the mechanical properties, however, there was a marked change in the color of the composites after 6 months of exposure to the elements. Moreover, it was verified that the composites with rice husk have tangible attributes close to those of wood and derivatives, in addition, the composites with rice husk share aesthetic attributes with these materials. It was verified that manufacturing processes used in the production of furniture in the composites with rice husk can be used, with good finishing results. Therefore, furniture is a potential application for the composites developed in this research.

Palavras-chave: Composite. Rice husk. Polyester. Product design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A) Calçado desenvolvido com considerações estritamente técnicas e funcionais, B) e C) Calçados projetados pelo designer Zaha Hadid, com linguagem escultural, produzidos com impressão 3D.	30
Figura 2: Poltronas com materiais que criam experiências táteis: A) Poltrona chamada Blow Lounge Chair em espuma de poliuretano, e B) Poltrona vermelha, projetada pelos Irmãos Campana, produzida com armação de aço e tramada com corda acrílica revestida de algodão.	31
Figura 3: A) Reprodutor digital de música com o painel frontal em madeira projetado pelo designer Joshua Driggs, B) Detalhe e C) O mesmo produto com o painel frontal em polímero.	32
Figura 4: Modelo de Significado de Materiais.	33
Figura 5: Ordem de informações para a seleção de materiais conforme designers de produto.	35
Figura 6: Exemplos de materiais e produtos ecológicos: A) Tecido produzido com algodão orgânico, B) Piso vinílico com 75% de matéria-prima reciclada, C) Laminado de fibras vegetais com resina à base de óleo de mamona, D) Manta de fibra de coco, E) Manta de fibra de açaí, F) Pastilha de coco, G) Pastilha de castanha do Brasil, H) Piñatex (couro de fibra de folhas de abacaxi), I) Plástico produzido com amido de batata.	40
Figura 7: Exemplos de produtos com uso de materiais ecológicos: A) Móvel desenvolvido a partir da reutilização de tubos de papelão, B) Cadeira projetada a partir de cortinas persianas descartadas, C) Cadeiras feitas com resíduos têxteis, D) Colar criado a partir de sucata de computadores, E) Sapato feito à mão a partir de roupas usadas e tecido de garrafa Pet reciclada, F) Camiseta feita com 50% de poliéster proveniente de garrafa Pet reciclada tramado com 50% de algodão, G) Copos de bagaço de cana-de-açúcar e PLA, H) Embalagem para ovos produzida com amido de milho e I) Telha fabricada a partir de embalagens tetra park pós-consumo.	41
Figura 8: Proposta de classificação de compósitos.	42
Figura 9: Estrutura química da resina poliéster ortoftálica.	45
Figura 10: Classificação das fibras vegetais.	47
Figura 11: A) Planta de arroz, B) Grão de arroz e C) Camadas do grão de arroz.	49
Figura 12: Etapas do processamento de compósitos poliméricos.	53
Figura 13: Equipamento para moldagem por compressão.	54
Figura 14: Representação esquemática do dispositivo de ensaio de flexão em três pontos.	57
Figura 15: Representação esquemática do equipamento para ensaio de impacto.	58

Figura 16: A) Partes internas de veículos fabricadas em compósitos com fibras vegetais, B) Painel para assentos.	70
Figura 17: Painel de porta em compósito com fibra de cânhamo.	70
Figura 18: A) Motocicleta produzida em compósito com fibra de cânhamo e linho, B) Detalhe da motocicleta.	71
Figura 19: A) Cadeira produzida em compósito com fibra de cânhamo na cor natural, B) Cadeiras coloridas.	72
Figura 20: A) Cadeira em compósito com aparas de madeira, B) Partes da cadeira.	73
Figura 21: A) Cadeira em compósito com juta, B) Cadeira em compósito com cânhamo.	73
Figura 22: A) Cadeira produzida em compósito com linho, B) Detalhe frontal da cadeira, C) Detalhe posterior da cadeira e D) Fibras utilizadas na fabricação da cadeira e placa de compósito com recorte do corpo da cadeira.	74
Figura 23: A) Cadeira em compósito com cânhamo, B) Detalhe posterior da cadeira, C) Moldagem dos componentes da cadeira e D) Componentes em várias cores.	75
Figura 24: A) Bancos em compósito com fibra de Stromanthera lutea, B) Banco desmontado e C) Montagem do banco.	76
Figura 25: A) e B) Utensílios domésticos fabricados em compósito com fibras de madeira, C) Detalhe do produto.	77
Figura 26: A) e B) Utensílios domésticos em compósito com fibra de madeira, C) Utensílios coloridos.	77
Figura 27: Óculos em compósito com fibra de cânhamo e linho, B) Detalhe dos óculos e C) Processo de fabricação.	78
Figura 28: Protótipo de selim produzido em compósito com fibra de linho.	79
Figura 29: A) e B) Protótipo de pás de remo em compósito híbrido com fibra de linho e fibra de vidro, C) Detalhe da pá.	79
Figura 30: A) e B) Violão em compósito com fibra de linho e C) Detalhe do violão.	80
Figura 31: A) e C) Revestimento em compósito com casca de arroz, B) e D) Detalhes dos revestimentos.	81
Figura 32: Casca de arroz: A) Inteira e B) Moída.	94
Figura 33: Fluxograma do processamento dos compósitos.	95
Figura 34: Dimensões dos corpos de prova: A) Tração, B) Flexão, C) Impacto, D) Absorção de água.	96

Figura 35: Plano de corte dos corpos de prova: A) Tração, B) Flexão, C) Absorção de água, D) Impacto.....	97
Figura 36: Corte a laser dos corpos de prova.	98
Figura 37: Preparação dos corpos de prova para o ensaio de tração: A) Corte dos tabs, B) Tabs com formato quadrado, C) Lixamento das extremidades dos corpos de prova, D) Lixamento dos tabs, E) e F) Colagem dos tabs nas extremidades dos corpos de prova.	99
Figura 38: Ensaio mecânico de tração: A) Visão geral do equipamento universal de ensaio, B) Corpo de prova posicionado no equipamento e C) Corpo de prova fraturado.	100
Figura 39: Ensaio mecânico de flexão: A) Visão geral do equipamento, B) Corpo de prova posicionada no equipamento.	100
Figura 40: Ensaio mecânico de impacto: A) Visão geral do equipamento, B) Corpo de prova posicionado no equipamento.	101
Figura 41: Corpo de prova posicionado no equipamento para ensaio mecânico de dureza.	101
Figura 42: Microscopia eletrônica de varredura: A) Visão geral do equipamento da marca Phenon World, Modelo PRO X e B) Corpos de prova posicionados no interior do equipamento.	102
Figura 43: Ensaio de intemperismo natural: A) Suporte para ensaio de intemperismo natural, B) Fixação dos corpos de prova na tela e C) Suporte com os corpos de prova.	103
Figura 44: Condições climáticas no período de 23 de janeiro de 2017 a 23 de julho de 2017. No eixo y ao lado esquerdo encontra-se a escala da radiação ultravioleta máxima (azul), e no eixo y ao lado direito encontram-se as escalas da temperatura máxima (verde) e mínima (laranja), e o acumulado de chuva (rosa).	104
Figura 45: Serrote: A) Serrote e B) Realização do corte na placa de compósito.....	109
Figura 46: Serra de fita: A) Visão geral do equipamento e B) Realização do corte na placa de compósito.	110
Figura 47: Esquadrejadeira: A) Serra de disco e B) Realização do corte na placa de compósito.	110
Figura 48: Usinagem dos compósitos de casca de arroz: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.....	111
Figura 49: A) Lixas com diferentes grãos e B) lixamento manual.	111
Figura 50: Lixamento das placas de compósito: A) Lixadeira de disco e B) Lixamento.	112
Figura 51: Furação das placas de compósito: A) Furadeira manual, B) Furação e C) Geração de cavaco.	112

Figura 52: Furação com broca forstner nas placas de compósito: A) Broca forstner, B) Furação e C) Geração de cavaco.	113
Figura 53: Inserção de parafuso nas placas de compósito: A) Parafuso utilizado, B) Furação e C) Inserção do parafuso.....	113
Figura 54: Placas de compósitos (17 cm x 27 cm): A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.	115
Figura 55: Gráficos: A) Resistência à tração da matriz e dos compósitos e B) Módulo de elasticidade da matriz e dos compósitos.	116
Figura 56: Resistência à flexão da matriz e dos compósitos.	118
Figura 57: Resistência ao impacto da matriz e dos compósitos.....	120
Figura 58: Dureza Shore D da matriz e dos compósitos.	121
Figura 59: Absorção de água da matriz e dos compósitos.....	122
Figura 60: Micrografias da casca de arroz: A) Superfície externa com cutículas, B) Tricomas (em forma de espinhos), C) Superfície interna, D) Casca de arroz moída.	125
Figura 61: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz: A) PO, B) PO/CAI, C) PO/CAM e D) PO/CAIM.	126
Figura 62: Gráficos: A) Resistência à tração da matriz e dos compósitos antes e após o ensaio de intemperismo natural e B) Módulo de elasticidade em tração da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.....	127
Figura 63: Resistência à flexão da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.	128
Figura 64: Massa da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.	130
Figura 65: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) Matriz antes do intemperismo, B) Detalhe, C) Matriz após o intemperismo, D) Detalhe.	130
Figura 66: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAI antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAI após o intemperismo, D) Detalhe.....	131
Figura 67: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAIM antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAIM após o intemperismo, D) Detalhe.....	133
Figura 68: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAM antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAM após o intemperismo, D) Detalhe.....	134

Figura 69: Móveis em madeira teca: A) Mesa, B) Espreguiçadeira, C) Painele D) Bancada e cuba para banheiro.	142
Figura 70: Móveis em madeira carvalho: A) Aparador, B) Mesa, C) Criado mudo e D) Mesa de jantar.....	142
Figura 71: Móveis em madeira marfim: A) Armário para roupas, B) Cama, C) e D) Móveis para quarto de bebê.....	143
Figura 72: Móveis em madeira pinus: A) Mesa de jantar, B) Mesa de jantar e painel, C) Aparador e D) Criado mudo.....	143
Figura 73: Móveis em MDP: A) Armário para roupas, B) Painele rack, C) Mesa de jantar e D) Armários de cozinha.	144
Figura 74: Móveis em madeira cerejeira: A) e B) Cadeiras, C) Mesa de jantar e D) Armário para cozinha.....	144
Figura 75: Móveis em madeira mogno: A) e B) Aparador, C) Mesa e D) Criado mudo.	145
Figura 76: Móveis em madeira freijó: A) Painele rack, B) Mesa de centro, C) Cadeira e D) Aparador.....	145
Figura 77: Móveis em madeira cedro: A) Cadeira, B) Mesa de jantar, C) Mesa, D) Bancos.	145
Figura 78: Móveis em MDF: A) Aparador, B) Mesa de jantar, C) Estante e D) Móveis para cozinha.....	146
Figura 79 Móveis em madeira imbuia: A) Cadeiras, B) Aparador, C) Painele rack e D) Armário para roupas.	146
Figura 80: Móveis em madeira nogueira: A) Mesa de jantar, B) Aparador, C) Painele D) Cama.....	147
Figura 81: Móveis em madeira jacarandá: A) e B) Aparador, C) Mesa de centro e D) Mesa.	147
Figura 82: Móveis em madeira cumaru: A) e B) Poltronas, C) Aparador e D) Mesa.	148
Figura 83: Móveis em madeira de demolição: A) Mesa de jantar, B) Painele C) Mesa de centro e D) Cabeceira para cama.	148
Figura 84: Paleta de cores de madeiras e derivados: A) Marfim, B) MDP, C) Pinus, D) Teca, E) Cerejeira, F) Mogno, G) Cedro, H) Freijó, I) MDF, J) Carvalho, K) Imbuia, L) Nogueira, M) Jacarandá, N) Cumaru, O) Madeira de demolição.	151
Figura 85: Madeiras com padrões de superfície com formas orgânicas: A) Nogueira, B) Jacarandá, C) Cerejeira e D) Pinus.	152
Figura 86: Madeiras com padrões de superfície com linhas horizontais: A) Imbuia, B) Carvalho, C) Mogno e D) Freijó.....	152

Figura 87: Textura das madeiras: A) Madeira pinus, B) Detalhe, C) Madeira de demolição, D) Detallhe.....	153
Figura 88: Paleta de cores dos compósitos: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.	154
Figura 89: Padrão de superfície: A) PO/CAI, B) Detalhe.....	154
Figura 90: Padrão de superfície: A) PO/CAIM, B) Detalhe.....	155
Figura 91: Padrão de superfície: A) PO/CAM, B) Detalhe.....	155
Figura 92: Cores de madeiras próximas às cores dos compósitos com casca de arroz: A) PO/CAI, B) Cerejeira, C) Teca, D) Marfim, E) PO/CAIM, F) Cumaru, G) Madeira de demolição, H) PO/CAM, I) Imbuia.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de resina poliéster.....	45
Tabela 2: Composição química de amostras de casca de arroz.....	50
Tabela 3: Composição e nomenclatura dos materiais estudados.....	95
Tabela 4: Dureza e resistência ao impacto da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo.....	129
Tabela 5: Corpos de prova da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo.....	135
Tabela 6: Valores de resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAI, PO/CAIM e do PO/CAM, para a seleção de materiais.....	137
Tabela 7: Materiais selecionados pelo software a partir dos valores da resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAI e do PO/CAIM.....	138
Tabela 8: Materiais selecionados pelo software a partir dos valores da resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAM.....	139
Tabela 9: Principais usos da madeira pinus, madeira de lei e MDF conforme o software de seleção de materiais.....	140
Tabela 10: Atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz e madeiras de lei.....	156
Tabela 11: Atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos com casca de arroz e experimentação com processos de fabricação.....	172

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Materiais e processamento de compósitos poliméricos com casca de arroz.....	60
Quadro 2: Ensaio e métodos utilizados para a caracterização de compósitos poliméricos com casca de arroz.....	65
Quadro 3: Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos com casca de arroz.....	68
Quadro 4: Corpos de prova resultantes do corte a laser.....	98
Quadro 5: Características observadas durante e após a experimentação com os processos de fabricação.....	114
Quadro 6: Corpos de prova fraturados após o ensaio de flexão.....	119
Quadro 7: Corpos de prova antes e após o ensaio de absorção de água.....	123
Quadro 8: Principais tipos de madeiras de lei e derivados utilizados para a produção de móveis.....	150
Quadro 9: Resultado do corte com serrote.....	161
Quadro 10: Resultado do corte com serra de fita.....	162
Quadro 11: Resultado do corte com esquadrejadeira.....	164
Quadro 12: Resultado do corte com usinagem convencional.....	165
Quadro 13: Resultado do lixamento manual.....	167
Quadro 14: Resultado do lixamento com lixadeira automática e lixamento automático.....	168
Quadro 15: Resultado da furação com broca forstner (10 mm) e broca de 4 mm.....	170
Quadro 16: Resultado da fixação de parafuso.....	171

LISTA DE ABREVIATURAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CFRP	<i>Carbon Fiber Reinforced Plastic</i>
DMA	Análise Dinâmico-mecânica
DSC	Calorimetria Diferencial de Varredura
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GPS	3-Glicidoxipropil-Trimetoxi-Silano
ICSID	<i>International Council of Societies of Industrial Design</i>
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
PBAT	Poli (butileno adipato co-tereftalato)
PLA	Poli (ácido láctico)
PO	Poliéster
PO/CAI	Poliéster/casca de arroz inteira
PO/CAIM	Poliéster/casca de arroz inteira e moída
PO/CAM	Poliéster/casca de arroz moída
TGA	Análise Termogravimétrica
WPC	<i>Wood plastic composites</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	24
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	25
1.2 ESTRUTURA DA TESE	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 DESIGN E MATERIAIS	27
2.1.1 <i>Seleção de materiais no design de produto</i>	34
2.1.2 <i>Design e materiais ecológicos: o potencial para inovação</i>	39
2.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS	42
2.2.1 <i>Matrizes termorrígidas</i>	43
2.2.2 <i>Reforços lignocelulósicos</i>	46
2.2.3 <i>Processamento de compósitos poliméricos</i>	52
2.2.4 <i>Ensaio para a caracterização de compósitos</i>	55
2.2.5 <i>Compósitos poliméricos com casca de arroz</i>	59
2.2.6 <i>Emprego de compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos no design de produto</i>	69
2.3 DEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS E COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	82
2.3.1 <i>Degradação de compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos</i>	85
2.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA	89
3. MATERIAIS E MÉTODOS	93
3.1 MATERIAIS	93
3.2 MÉTODOS	93
3.2.1 <i>Preparação da casca de arroz</i>	93
3.2.2 <i>Preparação dos compósitos</i>	94
3.2.3 <i>Preparação dos corpos de prova</i>	96
3.2.4 <i>Caracterização dos compósitos com casca de arroz</i>	99
3.2.5 <i>Intemperismo natural</i>	103
3.2.6 <i>Procedimentos para análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz</i>	105
3.2.7 <i>Procedimentos para análise sincrônica de produtos</i>	106
3.2.8 <i>Procedimentos para análise morfológica com foco nos atributos estéticos</i>	108
3.2.9 <i>Procedimentos para experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira</i>	109
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	115
4.1 PLACAS DE COMPÓSITOS COM CASCA DE ARROZ.....	115
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS COM CASCA DE ARROZ.....	115
4.2.1 <i>Ensaio Mecânico de Tração</i>	115
4.2.2 <i>Ensaio mecânico de flexão</i>	118
4.2.3 <i>Ensaio de impacto</i>	120
4.2.4 <i>Ensaio de dureza Shore D</i>	121
4.2.5 <i>Absorção de água</i>	122
4.2.6 <i>Microscopia da casca de arroz e da superfície de fratura dos compósitos com casca de arroz</i>	124

4.3 EFEITOS DO INTEMPERISMO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, NA MORFOLOGIA DA SUPERFÍCIE E NOS ASPECTOS VISUAIS DOS COMPÓSITOS COM CASCA DE ARROZ.....	127
4.3.1 <i>Efeitos do intemperismo nas propriedades mecânicas</i>	127
4.3.2 <i>Efeitos do intemperismo sobre a massa</i>	129
4.3.3 <i>Efeitos do intemperismo natural na morfologia dos compósitos com casca de arroz</i>	130
4.3.4 <i>Efeitos do intemperismo nos aspectos visuais dos compósitos com casca de arroz</i>	135
4.4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DOS COMPÓSITOS COM CASCA DE ARROZ NO DESIGN DE PRODUTO	137
4.4.1 <i>Análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz</i>	137
4.4.2 <i>Análise sincrônica de produtos da indústria moveleira</i>	140
4.4.3 <i>Análise morfológica de madeiras e derivados com foco em atributos estéticos</i>	149
4.4.4 <i>Análise morfológica dos compósitos com casca de arroz com foco nos atributos estéticos</i>	153
4.4.5 <i>Comparação dos atributos estéticos de madeiras e derivados com os dos compósitos com casca de arroz</i>	156
4.4.6 <i>Significados associados aos compósitos com casca de arroz a partir de atributos estéticos</i>	158
4.4.7 <i>Experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira</i>	160
4.5 ATRIBUTOS TANGÍVEIS E INTANGÍVEIS DOS COMPÓSITOS COM CASCA DE ARROZ.....	172
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	175
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	178
REFERÊNCIAS	179

1. INTRODUÇÃO

Por volta de dez mil anos atrás o homem deixou de ser nômade e passou a cultivar os alimentos, surgindo então, a agricultura. A partir dos séculos XVIII e XIX, com a modernização da agricultura, a produção de alimentos ampliou-se para uma escala maior e os sistemas agrícolas tornaram-se mais intensivos. Atualmente, no Brasil, o setor de produção primária de alimentos, junto com a agroindústria, constitui um dos principais segmentos da economia para abastecimento interno e externo (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006).

Em relação ao setor agrícola, o Brasil encontra-se em posição de destaque devido ao crescimento acentuado do agronegócio nas últimas décadas. A partir de 1980, a geração, adaptação, transferência e adoção de inovações tecnológicas possibilitaram ganhos expressivos de produtividade, principalmente, no setor de grãos. Contudo, em outra dimensão, essas atividades da agroindústria geram resíduos que se não forem gerenciados, podem representar em desperdícios para o setor produtivo além de oferecerem riscos ecológicos e sociais (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006).

Em relação aos resíduos rurais, são incluídos todos os gerados pelas atividades produtivas nas áreas rurais, como: os resíduos agrícolas, florestais e pecuários. Os resíduos agrícolas são aqueles produzidos no campo, resultantes de atividades da colheita dos produtos agrícolas, entre eles: cascas, palhas, colmos, ramas, raízes, caroços e outros, os quais provêm do cultivo de cana-de-açúcar, feijão, arroz, café, milho, algodão, amendoim, coco, trigo, soja e outros (CENBIO, 2012). Em geral, esses resíduos não são tratados e aproveitados, assim, normalmente a disposição é ambientalmente inadequada criando potenciais riscos de contaminação da água e do solo (VIANA; CRUZ, 2016). Além disso, o não aproveitamento dos resíduos pode representar em perdas de matérias-primas e energia, o que pode exigir investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição (PELIZER *et al.*, 2007).

Neste contexto, um dos maiores desafios ambientais hoje é encontrar novas maneiras de utilizar resíduos provenientes de processos industriais e agrícolas. Em 2012, a quantidade total de resíduos gerados no mundo foi de $1,2 \times 10^{12}$ kg, sendo aproximadamente metade de material orgânico (HOORNWEG; BHADA-TATA,

2012). O aterro sanitário é o principal meio de disposição desses resíduos, no entanto, esse destino é considerado um desperdício de materiais na medida em que podem ser utilizados para outros fins, como a reciclagem ou a reutilização (ODLARE *et al.*, 2011). Assim, o crescimento agroindustrial contribui para o aumento de resíduos sólidos, e com isso há a necessidade de alternativas de uso e aproveitamento integral dos resíduos agrícolas (UENOJO; PASTORE, 2007).

De acordo com Laufenberg (2003), se for empregada uma tecnologia adequada, os resíduos agrícolas podem ser convertidos em produtos ou matérias-primas para processos secundários. Dessa forma, o emprego desses resíduos pode estar associado ao desenvolvimento de materiais que causem menor impacto ambiental. Assim, o uso de matérias-primas renováveis, subprodutos, resíduos industriais e agrícolas, e materiais reciclados, podem contribuir para amenizar os problemas ambientais, na medida em que é extraída menor quantidade de matéria-prima da natureza, o que pode promover o aproveitamento e valorização de resíduos que seriam descartados. Um exemplo disso é a utilização de resíduos agrícolas como reforço em compósitos (YANG *et al.*, 2004). Neste contexto, a utilização de novos materiais, que sejam provenientes de fontes renováveis para a produção de bens de consumo pode colaborar significativamente para a preservação dos recursos naturais. Assim, o design possui um papel importante, pois pode voltar-se para o desenvolvimento de produtos que estejam alinhados com os princípios da sustentabilidade (MANZINI, 2008).

Papanek (2002), afirma que diante das mudanças catastróficas que provocamos na natureza, é fundamental que designers, arquitetos, engenheiros e outros profissionais contribuam para a busca de soluções para esta problemática. Neste sentido, os designers podem projetar produtos visando à diminuição de tais impactos, uma das alternativas constitui-se na utilização de materiais que causem menos danos ao meio ambiente, como os que são provenientes de fontes renováveis. Cândido (2011) destaca que o design de produto vem passando por mudanças profundas no processo de desenvolvimento de produtos nos últimos anos, que transpassa a questão do produto ser esteticamente agradável, ser funcional e ter uma estrutura bem resolvida, a aplicação do fator ambiental vem sendo imposta como outro requisito de projeto.

Na área de engenharia de materiais, estão surgindo novas alternativas de materiais que procuram minimizar impactos ambientais. De acordo com Faruk *et al.* (2012), o aumento da consciência ambiental e a existência de regulamentações ambientais aumentaram a demanda pela utilização de materiais não convencionais, surgindo o desenvolvimento de materiais de origem renovável, recicláveis, biodegradáveis, sustentáveis e ecológicos, nos quais enquadram-se os compósitos com materiais de origem renovável.

Historicamente as fibras vegetais foram usadas como reforço em compósitos pelos egípcios. Os primeiros materiais compósitos conhecidos foram confeccionados com argila e palha de bambu para construção de muros no Egito há 3.000 anos (AFFZAN *et al.*, 2013). A partir do século XX, o desenvolvimento de novas fibras a partir do boro, aramida, carbono e outros fez com que a aplicação de compósitos fosse amplamente aumentada. Essas fibras sintéticas, de alta tecnologia, dominaram o mercado de compósitos devido às suas propriedades mecânicas e térmicas superiores em relação às das fibras vegetais (HAPUARACHCHI *et al.* 2007). No entanto, recentemente, a legislação ambiental, bem como a conscientização dos consumidores, fez ressurgir o interesse pelas fibras vegetais como reforço substituto das fibras sintéticas. Atualmente, diversos tipos de fibras vegetais estão disponíveis e estão sendo continuamente estudadas para serem usadas como reforço em compósitos poliméricos, incluindo kenaf, juta, rami, sisal, fibra de coco, fibra de folha de abacaxi e outras (MOHANTY *et al.*, 2005).

Nas últimas décadas, a indústria automobilística, de construção e de embalagens têm se voltado para a aplicação de novos materiais compósitos com reforços lignocelulósicos. Além disso, o baixo custo e peso desses compósitos tendem a aumentar o uso desses materiais (BROUWER, 2000). Vários pesquisadores (SANTULLI; CARUSO, 2009; DE VASCONCELLOS *et al.*, 2014; SURATA *et al.*, 2014; RASSIAH *et al.*, 2016), têm se esforçado na fabricação de compósitos utilizando reforços lignocelulósicos (com e sem tratamento químico), com matrizes poliméricas termoplásticas e termorrígidas, caracterizando as propriedades físicas, químicas, mecânicas, térmicas e elétricas.

Diversos tipos de fibras vegetais são cultivadas em praticamente todos os países. O Brasil, que é um país rico em recursos naturais e possui grandes áreas para plantio, tem potencial para assumir a liderança no desenvolvimento desses

materiais. Já existem projetos em andamento na região amazônica que buscam cultivar fibras vegetais para tal fim (OLIVEIRA, 2016), além das fibras vegetais, os resíduos agrícolas também podem representar uma alternativa para reforço em compósitos, agregando valor aos resíduos, pois são baratos e amplamente disponíveis (VÄISÄNEN *et al.*, 2018). Zini e Scandola (2011) explicam que uma abordagem interessante para a preservação ambiental é a extração de matérias-primas para compósitos a partir de resíduos agrícolas. Entre os resíduos agrícolas produzidos no Brasil, como: cascas, palhas, colmos, ramos, raízes, caroços, a casca de arroz é gerada em grandes quantidades, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul (MAPA, 2017).

Em relação à produção de arroz no mundo, conforme a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) os dez principais países são a China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã, Tailândia, Mianmar, Filipinas, Brasil e Japão. A produção mundial de arroz aumentou cerca de 200 milhões de toneladas de 1960 para mais de 740,95 milhões de toneladas em 2014 (FAO, 2017). Ainda, o arroz é a segunda cultura mais cultivada no mundo e a que produz a maior quantidade de resíduos (NAKHSHINIEV *et al.*, 2014). No Brasil, a maior parte da produção de arroz ocorre em cinco estados: Rio Grande do Sul (71,1%), Santa Catarina (9,2%), Maranhão (1,8%), Mato Grosso (3,9%) e Tocantins (5,6%) (MAPA, 2017). O restante da produção está distribuída no estado do Ceará e uma pequena quantidade é produzida nos estados por onde passa o Rio São Francisco, como Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco.

A casca de arroz, disponível no mercado por um baixo custo, é um resíduo agrícola, que além de gerada em grande quantidade possui poucas aplicações devido às suas baixas propriedades nutritivas e elevado teor de cinza (LUYI; KECHENG, 2001). A casca de arroz é a cobertura externa que envolve o grão de arroz, sendo removida no processo de moagem, cerca de 20% da massa do grão de arroz é composta por casca (WALTER *et al.*, 2008).

No que diz respeito à utilização da casca de arroz, o destino primário é a compostagem, o que reduz a sua carga orgânica. No entanto, esse método é empregado de forma indireta pela maioria dos produtores, já que boa parte da casca gerada é depositada no solo sem nenhum tipo de tratamento. Um problema desse método é que a casca de arroz demora aproximadamente 5 anos para decompor-se.

Além disso, a casca apresenta baixa densidade, em torno de $0,13 \text{ g/cm}^3$, o que resulta em um grande espaço necessário para a sua disposição. Outra destinação imprópria para a casca de arroz, que ocorre com frequência nos países produtores, é a queima a céu aberto, emitindo grande quantidade de monóxido e dióxido de carbono, cinza e gases tóxicos (MAYER *et al.* (2006).

No Brasil, antes da década de 1990, quase todo o resíduo oriundo do cultivo do arroz era destinado para as lavouras e depositado nos rios, o que causava graves impactos ao meio ambiente, alterando a qualidade da água e do solo devido ao grande volume de acúmulo de matéria orgânica. Atualmente, um problema relacionado à destinação da casca de arroz é o custo de transporte, devido ao elevado volume ocasionado pela baixa densidade da casca de arroz. Em muitos casos, a casca de arroz ainda é depositada de forma irregular, em margens de estradas, em solo agrícola e em rios (LIM *et al.*, 2012). Assim, diante dessa problemática, há a necessidade de encontrar caminhos para a utilização da casca de arroz para amenizar a degradação ambiental provocada por ela, como a fabricação de compósitos, e assim, oferecer a possibilidade de fabricar produtos a partir desses materiais (YANG *et al.*, 2007). Na literatura encontram-se trabalhos relacionados ao desenvolvimento de compósitos com talos de girassol e bagaço de cana-de-açúcar (ASHORI; NOURBAKSH, 2010), casca de arroz (FAVARO *et al.*, 2010), palha de soja (AHANKARI *et al.*, 2011) e palha de milho (REDDY; YANG, 2005), como reforço para compósitos.

O uso de resíduos agrícolas na produção de materiais proporciona uma oportunidade para uma indústria de reforços para compósitos nos países que têm pouco ou nenhum recurso de madeira (JOHN *et al.*, 2008). Tanto a palha de arroz, como a casca de arroz são resíduos agrícolas subutilizados com potencial para reforço em compósitos poliméricos, o que pode economizar os recursos de madeira e petróleo. A combinação da casca de arroz com matrizes poliméricas proporciona características vantajosas, como a leveza, resistência às intempéries e também torna os produtos finais mais competitivos economicamente (BASSYOUNI *et al.*, 2012). Em comparação aos compósitos à base de madeira, os que possuem casca de arroz têm maior resistência a cupins e ao ataque biológico e também melhor estabilidade dimensional após a exposição à umidade (KWON *et al.*, 2014). Entretanto, Sajith *et al.* (2017) afirmam que ainda existe uma grande lacuna na

investigação de resíduos agrícolas como reforço para compósitos. Em relação aos compósitos com casca de arroz Defonseka (2014) afirma que a tecnologia de produção desses materiais é praticamente nova.

Neste sentido, esta pesquisa parte dos seguintes questionamentos: qual é a viabilidade de utilização da casca de arroz em compósitos com poliéster? É possível empregar compósitos à base de poliéster com 80% (fração volumétrica) de casca de arroz no design de produto? Dessa forma, esta pesquisa justifica-se pela necessidade evidente de estudar compósitos poliméricos com casca de arroz, pois é uma alternativa para seu aproveitamento. Além disso, esses compósitos podem ser uma possibilidade de inovação para o desenvolvimento de produtos que estejam alinhados com o apelo ecológico e da sustentabilidade. Com isso, emprega-se a casca de arroz em compósitos poliméricos em alta proporção (80% fração volumétrica) que possibilita a produção de uma placa de qualidade visual adequada, para o maior aproveitamento do resíduo, e assim, reduzir a quantidade de resina poliéster. Optou-se pelo poliéster insaturado como matriz, pois esse material tem sido amplamente utilizado em compósitos reforçados com fibras devido às suas vantagens de baixo custo, boa processabilidade e propriedades mecânicas superiores as dos compósitos com matriz termoplástica (PENCZEK *et al.*, 2005). Sendo assim, nesta pesquisa, buscou-se ampliar o conhecimento científico sobre materiais compósitos poliméricos com casca de arroz, sua produção, caracterização e aplicação no design de produto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é desenvolver e caracterizar compósitos poliméricos à base de poliéster e alta proporção de casca de arroz, e a partir disso, investigar as possibilidades de aplicação dos compósitos obtidos no design de produto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir compósitos poliméricos com casca de arroz inteira e moída e matriz à base de resina poliéster insaturada, utilizando métodos convencionais de fabricação, como a moldagem por compressão;
- Avaliar o desempenho mecânico e a absorção de água dos compósitos em função do emprego de casca de arroz inteira, moída e a mistura dessas;
- Avaliar os efeitos do intemperismo natural nos compósitos com casca de arroz expostos a diferentes condições climáticas;
- Selecionar os materiais que possuem atributos tangíveis próximos aos dos compósitos com casca de arroz, e após, examinar as aplicações dos materiais selecionados.
- Verificar os atributos estéticos dos materiais selecionados e os dos compósitos com casca de arroz e compará-los.
- Avaliar o comportamento e o acabamento dos compósitos com casca de arroz a partir da experimentação com processos de fabricação utilizados na indústria moveleira.

1.2 Estrutura da tese

Na introdução, é apresentado o assunto da pesquisa, a definição do problema de pesquisa e os objetivos, geral e específicos. No segundo capítulo, é abordada a revisão bibliográfica sobre design e materiais, em que são apresentados aspectos históricos e conceituais, além disso, nessa seção, é feita uma discussão sobre a seleção de materiais no design de produto e são apresentados materiais e produtos considerados ecológicos. Em outra seção, são abordados os conceitos acerca de materiais compósitos poliméricos, matrizes termorrígidas, resina poliéster, reforços lignocelulósicos e casca de arroz. Ainda, abordam-se os tipos de processamento de compósitos, com foco na moldagem por compressão e os ensaios para a caracterização de compósitos. Na sequência, em outra seção, foi realizada a revisão bibliográfica sobre a degradação de polímeros e compósitos poliméricos, em que foi descrito o ensaio de intemperismo natural. Por fim, foram abordados os processos de fabricação utilizados na indústria moveleira.

O terceiro capítulo, sobre materiais e métodos, é relatada a descrição dos materiais empregados para a produção dos compósitos, bem como, a preparação da casca de arroz, dos compósitos e dos corpos de prova para a realização dos ensaios. Logo após, são abordados os métodos utilizados para a realização dos ensaios mecânicos, absorção de água, análise estatística, microscopia eletrônica de varredura e o ensaio de intemperismo natural. Além disso, foram descritos os procedimentos para a análise de materiais com atributos tangíveis próximos aos dos compósitos com casca de arroz, análise sincrônica de produto, análise morfológica com foco nos atributos estéticos e os procedimentos para a experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira.

No quarto capítulo são expostos os resultados da pesquisa, em que são apresentadas as placas resultantes do processo de fabricação empregado, a discussão dos resultados da caracterização mecânica, do ensaio de absorção de água e dos efeitos do intemperismo natural nas propriedades mecânicas, na morfologia da superfície e nos aspectos visuais dos compósitos com casca de arroz. Além disso, são apresentados os resultados do estudo das possibilidades de aplicação dos compósitos com casca de arroz no design de produto, que abrange a análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz, a análise morfológica de madeiras e derivados e dos compósitos com casca de arroz com foco nos atributos estéticos, a comparação desses atributos e, a discussão dos significados associados aos compósitos com casca de arroz a partir de seus atributos estéticos. Ainda, apresentam-se os resultados referentes à experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira. Finaliza-se a tese com as considerações finais acerca da investigação e as sugestões de trabalhos futuros para a continuidade da pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Design e materiais

A primeira citação e menção ao termo “design” remonta ao ano de 1588, no *Oxford Dictionary*, com a seguinte definição: “um plano desenvolvido pelo homem ou um esquema que possa ser realizado; o primeiro projeto gráfico de uma obra de arte; ou um objeto de artes aplicadas ou que seja útil para a construção de outras obras” (BÜRDEK, 2010 p. 14).

Apesar do termo “design” já ser citado há alguns séculos, foi somente com o advento da industrialização que se passou a abordar o design com um sentido mais próximo ao de hoje. Na industrialização, a criação dos objetos e a sua produção, tornaram-se tarefas distintas. A partir deste momento, o design foi consolidando-se como uma atividade separada dos meios de produção, ao contrário do que acontecia antes da industrialização, em que o artesão era responsável pelo desenvolvimento de produtos, desde a concepção até a produção (SCHNEIDER, 2010).

De acordo com Forty (2007), o design desempenhou um papel fundamental na criação da riqueza industrial, em que a mecanização da produção criou as bases para a profissão destinada a conformar bens de consumo. O surgimento da industrialização repercutiu no crescimento cada vez mais acelerado da indústria e da economia, a partir da qual a produção industrial de bens de consumo ampliou-se freneticamente. A partir disso, as pessoas passaram a cada vez mais terem acesso a objetos que até então praticamente não existiam ou não faziam parte do cotidiano de muitas delas.

Neste cenário, a indústria necessitou convencer os consumidores a comprar cada vez mais os bens de consumo. Percebeu-se que os objetos não poderiam apenas cumprir uma função, mas necessitavam de formas atraentes e sedutoras para diferenciarem-se de seus concorrentes. Assim, a indústria reconheceu que a configuração dos objetos pode incentivar eficientemente as vendas, pois os produtos industrializados ganham em atratividade mediante mudanças de sua forma externa, sem que isso possa estar, necessariamente, ligado a uma melhoria na sua funcionalidade (SCHNEIDER, 2010).

Nos dias de hoje, o design está presente em tudo que nos cerca, em casa, no trabalho, no lazer, no transporte. Para Bürdek (2010), a vida das pessoas é inimaginável sem a presença do design. Sendo assim, a definição de design estabelecida pelo *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID) é: “design é uma atividade criativa que tem por objetivo estabelecer as qualidades multifacetadas dos produtos, processos, serviços e seus sistemas sob o ponto de vista global do seu ciclo de vida” (ICSID, 2015). Para Redig (1977, p. 32) o design é “o equacionamento simultâneo de fatores ergonômicos, perceptivos, antropológicos, tecnológicos, econômicos e ecológicos no projeto dos elementos e estruturas físicas necessárias para a vida, o bem estar e/ou cultura do homem”.

De maneira geral, as etapas do processo de design compreendem a identificação de uma demanda ou necessidade, conceituação da ideia, desenvolvimento e especificação da solução. Nas fases iniciais do processo de design os atributos do produto devem ser levantados para a geração de ideias e conceituação da solução em atendimento à demanda especificada. Já na etapa final, deve ser apresentado o detalhamento da solução (LOBACH, 2001).

No processo de design são levados em consideração conhecimentos de diversas áreas. Para Niemeyer (2007), concerne ao designer integrar à prática profissional e à investigação científica os aportes de outras áreas que tratam de questões aplicáveis ao design. Assim, o design apresenta-se como uma atividade interdisciplinar já que se relaciona com outras áreas do conhecimento. A interdisciplinaridade vem ao encontro das exigências da atividade do designer, pois ao projetar, além de levar em consideração as condicionantes técnicas, o designer considera também o universo das necessidades dos usuários e o contexto em que esse se encontra. O que implica em um acervo de conhecimentos provenientes de diversas áreas, como: antropologia, psicologia, sociologia, arte, ergonomia, tecnologia, ciência dos materiais, economia, administração, marketing, informática, e outros, aplicados simultaneamente na criação e no desenvolvimento de projetos, sejam eles na área gráfica, digital, moda, moveleira, automobilística, calçadista, interiores e outras (FONTOURA, 2011).

A área de ciência dos materiais é de extrema importância para o design, pois os materiais desempenham papel essencial no processo de concepção dos produtos, permitindo a concretização das ideias e dos conceitos concebidos pelos

designers. De acordo com Manzini (2008) o material de um produto é a interface imediata entre os artefatos e o homem. Os materiais podem definir o leque de funções, a durabilidade, o custo e a aparência final de um produto. Assim, para o projeto de produtos é necessário um conjunto de parâmetros a serem atendidos pelos materiais (ASHBY; JOHNSON, 2002).

Os usuários têm papel importante no processo de desenvolvimento de produtos, uma vez que, ao interagirem com o produto, estabelecem relações sensoriais (táteis, visuais, auditivas, olfativas e/ou gustativas) que podem ser determinantes para o design de um produto (DIAS; ALMEIDA, 2014). Assim, os materiais são importantes para a percepção e avaliação dos produtos pelos usuários. Além disso, os materiais podem provocar emoções, como desejo, repulsa, decepção, curiosidade, surpresa, que podem ser desencadeadas por experiências repetidas do mesmo material em diferentes aplicações (FISHER, 2004).

Dessa forma, torna-se extremamente relevante que a prática e a pesquisa em design esteja voltada para as interações de usuários com produtos, conhecimentos sobre materiais, e como eles influenciam as percepções, impressões e experiências de usuários, já que o uso estratégico de materiais é uma das formas mais influentes por meio das quais os designers podem produzir conexões emotivas entre produtos e usuários (GANT, 2005). Assim, os materiais podem estimular os designers a criar novas formas e novos conceitos para o design de produto.

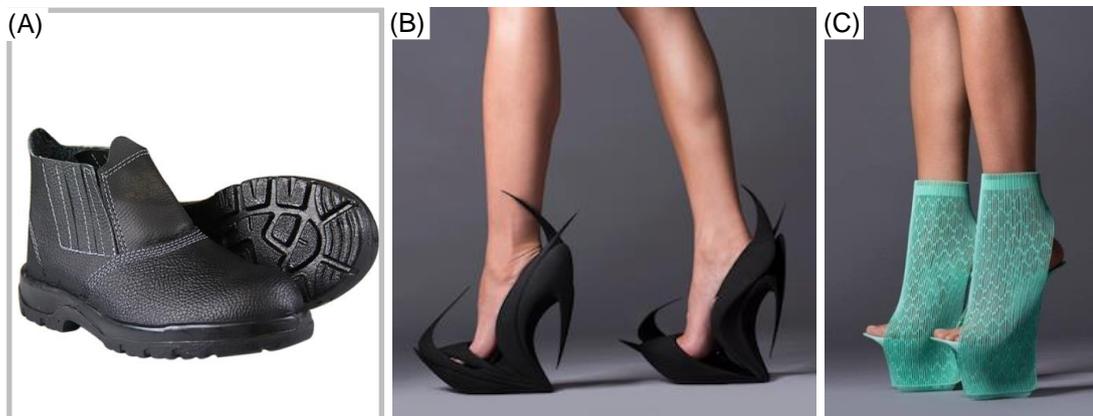
De acordo com diversos pesquisadores da área de design e materiais (KARANA *et al.*, 2014; ASHBY; JOHNSON, 2002; FISHER, 2004; DOORDAN, 2003), os materiais são percebidos como um fator significativo nas avaliações das pessoas em relação aos produtos, podem influenciar na experiência das pessoas com os produtos de várias maneiras:

- Facilitam ou dificultam o funcionamento de um produto (KARANA *et al.*, 2014);
- Fornecem as informações sensoriais de um produto: aspectos visuais, táteis, sonoros, olfativos e gustativos (ASHBY; JOHNSON, 2002; FISHER, 2004; FERRANTE *et al.*, 2000; MCDONAGH *et al.*, 2002);
- Impactam na percepção da estética de um produto (FISHER, 2004; KARANA *et al.*, 2014; DOORDAN, 2003).

- Contribuem para a identidade ou "personalidade" de um produto, bem como, podem ser um canal para transmitir os valores de marca (MCDONAGH *et al.*, 2002; DOORDAN, 2003).

A partir do exposto, pode-se constatar que além dos aspectos técnicos ou atributos tangíveis, que são inerentes aos materiais, há também os atributos subjetivos ou intangíveis. Os atributos tangíveis são definidos pelas propriedades dos materiais, que visam quantificar o comportamento dos materiais quanto às características físicas, mecânicas, térmicas e outras, podem ser medidos e possuem valores exatos. Já os atributos intangíveis, são as questões relacionadas com a percepção sensorial e dependem de características dos usuários, como: idade, gênero, experiência, estilo de vida, contexto cultural, e outras como: valores percebidos, questões de tendência, associações e emoções evocadas pelos materiais. Essas características são utilizadas pelos designers de produto para criar os significados pretendidos para os produtos (DIAS, 2009). Na Figura 1, podem ser observados exemplos de produtos criados com foco em aspectos técnicos e funcionais (Figura 1A) e aspectos, primordialmente, intangíveis (Figura 1B E 1C).

Figura 1: A) Calçado desenvolvido com considerações estritamente técnicas e funcionais, B) e C) Calçados projetados pelo designer Zaha Hadid, com linguagem escultural, produzidos com impressão 3D.



Fonte: Royal (2018), Zaha-Hadid (2015).

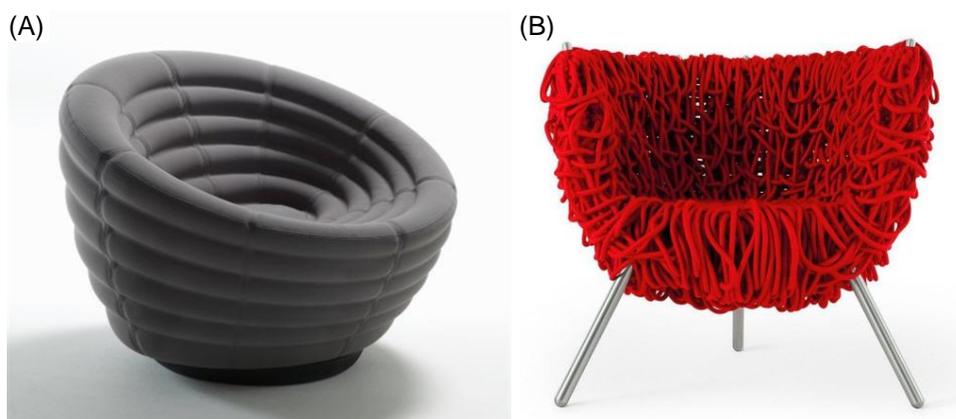
Para Krippendorff e Butter (2008), os usuários, ao interagirem com materiais através de produtos e por intermédio de seus sentidos, constroem significados para os objetos que os rodeiam e para os materiais de que são feitos, não apenas em aspectos físicos, mas também, de acordo com o que significam para eles. No

entanto, tais significados não podem ser analisados fora de seu contexto de uso e da interação com suas funções.

Assim, o significado é o reconhecimento que os usuários fazem dos materiais em suas experiências cotidianas de acordo com os atributos tangíveis e intangíveis dos materiais. Os significados também podem estar relacionados com as origens culturais e as experiências passadas das pessoas, os quais estão relacionados com suas preferências de produtos e materiais. Em outros termos, as pessoas podem perceber um material como mais valioso do que o outro, e podem fazer associações baseadas em suas origens culturais e experiências passadas (KARANA, 2009).

Como exemplos do uso de materiais visando o estímulo de experiências sensoriais podem ser citadas as poltronas da Figura 2, que foram projetadas com o objetivo de provocar o sentido tátil dos usuários. De acordo com Dias (2009), no processo de interação dos usuários com o material do produto, cada órgão dos sentidos é capaz de proporcionar diferentes sensações. A modalidade tátil é um importante sistema na interação usuário-produto em função de fatores como conforto, satisfação e preferências.

Figura 2: Poltronas com materiais que criam experiências táteis: A) Poltrona chamada *Blow Lounge Chair* em espuma de poliuretano, e B) Poltrona vermelha, projetada pelos Irmãos Campana, produzida com armação de aço e tramada com corda acrílica revestida de algodão.



Fonte: Scandinavia Design (2018), Irmãos Campana (2018).

Os materiais empregados em produtos podem transmitir a ideia de “identidade própria” para o usuário, mesmo que o material selecionado não seja o mais conveniente para a forma pretendida, uso e facilidade de fabricação. O reproduutor digital de música com o painel frontal em madeira é um exemplo para

esse caso (Figura 3 A). Aparentemente a madeira não forneceu nenhum valor funcional adicional em comparação ao material original especificado pelo fabricante, nem foi o material mais apropriado para reproduzir um reproduutor digital de música, uma vez que a forma original do produto foi justamente projetada pela facilidade de produção em polímero, no entanto, o reproduutor digital de música fabricado em madeira é único e transmite a ideia de “identidade própria” (KARANA, 2010). Dessa forma, os designers desempenham um papel muito importante na identificação dos materiais que “agradam os usuários” e “os tocam emocionalmente de alguma forma” (KESTEREN, 2007).

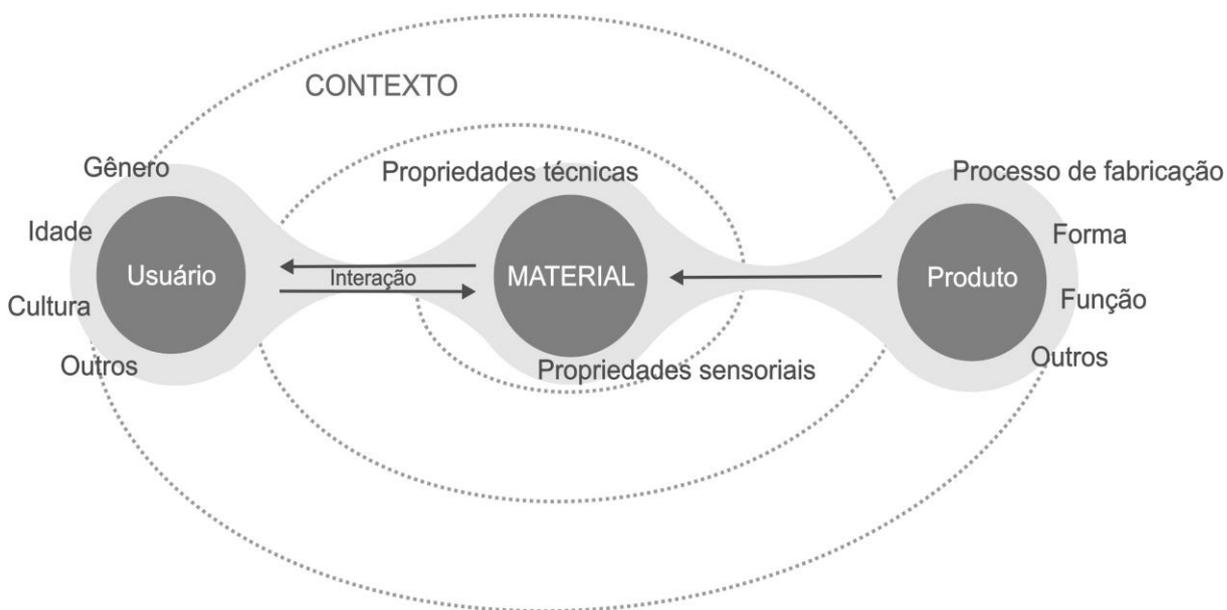
Figura 3: A) Reprodutor digital de música com o painel frontal em madeira projetado pelo designer Joshua Driggs, B) Detalhe e C) O mesmo produto com o painel frontal em polímero.



Fonte: Zapwizard (2005).

O trabalho de pesquisadores como Karana *et al.* (2010, 2014) podem auxiliar os designers a compreender a relação entre material, produto e contexto de uso para “manipular a criação de significados” de maneira mais eficaz, influenciando as experiências dos usuários com produtos. Para Karana e Hekkert (2010), os designers devem entender como são atribuídos os significados aos materiais, e que tipo de variáveis estão presentes nesse processo, para transmitir suas intenções adequadamente no desenvolvimento de produtos. Dessa forma, os autores propõem um modelo denominado de “Modelo de Significados dos Materiais”, que busca descrever a ação dinâmica entre um usuário e um material, em que são atribuídos os significados aos materiais (Figura 4).

Figura 4: Modelo de Significado de Materiais.



Fonte: Adaptado de Karana *et al.* (2010).

No modelo, um usuário com suas características particulares, como: gênero, idade, cultura, interage com o material de um produto, avalia e atribui um significado (ou significados) a ele. O significado atribuído será baseado nas propriedades técnicas (atributos tangíveis) e nas propriedades sensoriais (atributos intangíveis) percebidas pelo usuário, e, o significado é influenciado por aspectos do produto, como: forma, função, processo de fabricação. Por fim, o contexto em que o material do produto e o seu usuário estão inseridos pode ter um efeito considerável sobre os significados atribuídos aos materiais e, portanto, no modelo aparece abrangendo todo o processo de atribuição de significados aos materiais pelos usuários. Em conjunto, esses aspectos podem construir um "padrão evocador de significados". A partir disso, os designers podem entender essas relações entre os usuários, produto, material e aspecto contextual, para deliberar e manipular a criação de significados em seus processos de seleção de materiais e garantir que as experiências dos usuários com os produtos sejam eficazes (KARANA *et al.*, 2010).

Portanto, os materiais influenciam vários aspectos do design do produto, como forma, função, tecnologias de fabricação e outros, e são usados para criar experiências sensoriais, para transmitir significados e provocar emoções. Esses atributos variam de acordo com o material, por exemplo, os polímeros sintéticos geralmente não são caracterizados pelo cheiro da mesma forma que as madeiras;

em outro exemplo, um material pode transmitir luxo, outro pode estar associado a uma cultura particular. Assim, é importante que os designers explorem as possibilidades de novas funções e significados dos materiais para o desenvolvimento de produtos (SALES *et al.*, 2010).

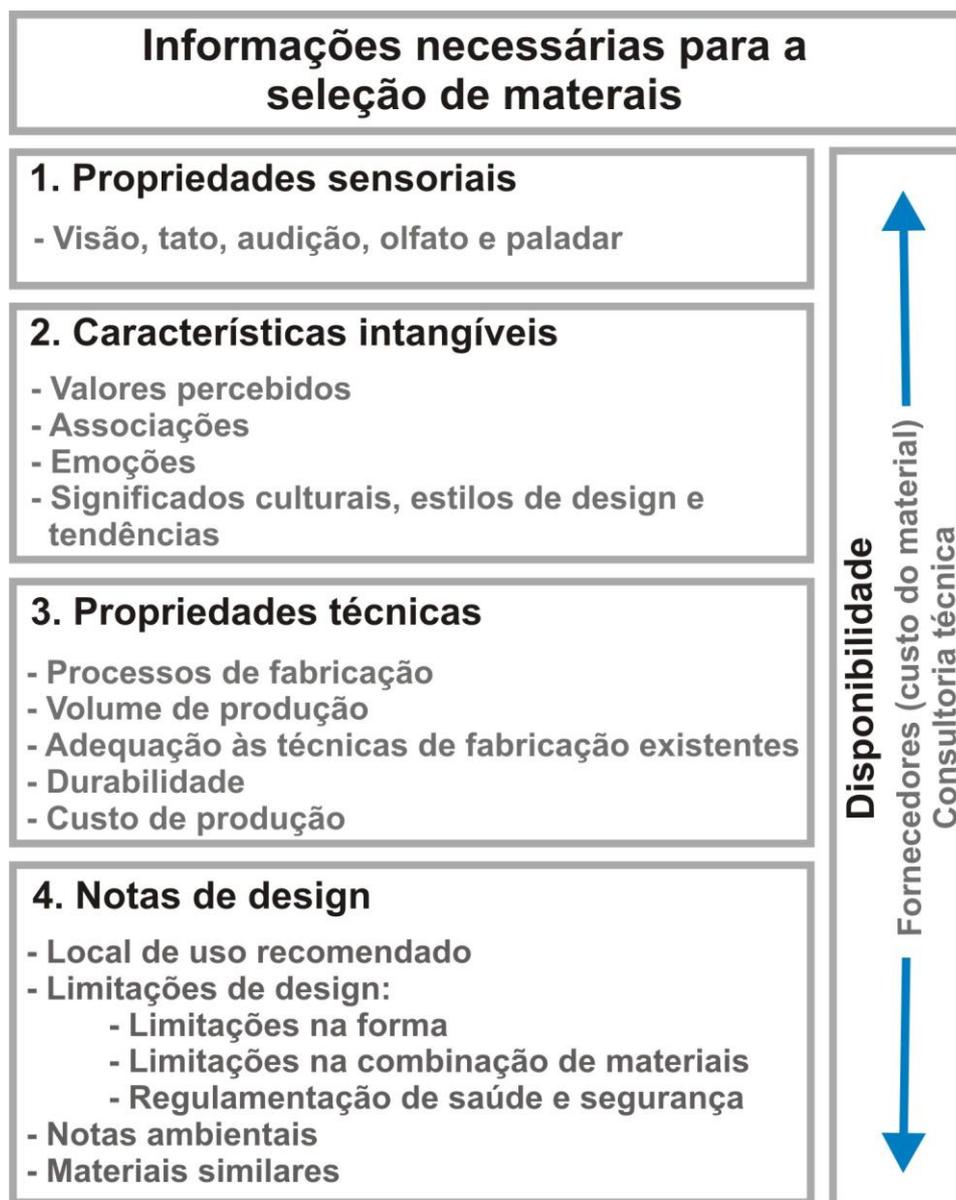
2.1.1 Seleção de materiais no design de produto

Com o avanço da ciência e da tecnologia foram desenvolvidos inúmeros materiais, e as pessoas interagem com esses materiais através de produtos. Essa interação envolve vários atributos tangíveis e intangíveis, por exemplo, o material de um produto com seus atributos tangíveis deve cumprir com os requisitos funcionais para um uso pretendido e, com seus atributos intangíveis, deve atrair os sentidos dos usuários (KARANA *et al.*, 2008).

Os pesquisadores Ramalhete *et al.* (2010) afirmam que a seleção de materiais é uma tarefa complexa, não só pela diversidade de materiais existentes, mas também pelas consequências implicadas pela própria seleção dos materiais em todo o ciclo de vida do produto. No design, o desenvolvimento de novos produtos está diretamente relacionado à seleção de materiais e sua adequação para a viabilização da produção, atendendo aos requisitos de projeto traçados (ALMEIDA JR, 2013). A seleção incorreta do material pode envolver custos e levar à falha prematura de componentes ou produtos. Assim, os designers precisam identificar e selecionar os materiais adequados, com funcionalidades específicas para obter o resultado desejado (CHATTERJEE *et al.*, 2009).

Karana *et al.* (2008) investigaram os aspectos dos materiais que são mais significativos para os designers de produto no processo de seleção de materiais. Para obter essas informações os pesquisadores entrevistaram 20 designers profissionais. Como resultado, os autores estabeleceram um esquema com os requisitos fundamentais apontados pelos designers em seus processos de seleção de materiais, de forma sequencial (Figura 5).

Figura 5: Ordem de informações para a seleção de materiais conforme designers de produto.



Fonte: Adaptado de (KARANA *et al.*, 2008).

Conforme pode ser observado no esquema, a partir da pesquisa de Karana *et al.* (2008), foram definidos 4 níveis de informações de materiais para o design de produto. Assim, os designers de produto, inicialmente, buscam os dados relativos às características sensoriais dos materiais no processo de seleção. Para eles, essas características são extremamente importantes, por exemplo, para atribuir o significado de “moderno” a um material eles buscam um material que possua uma superfície lisa, brilhante e cinza, que são características que representam a percepção sensorial dos usuários. Na etapa de criação do conceito (processo de pré-seleção de materiais), os designers levam em consideração as propriedades

técnicas e processos de fabricação, mas não de forma detalhada. Conforme a maioria dos participantes (16 de 20), quando terminam o período conceitual e seguem para o detalhamento do projeto, eles concentram-se nas propriedades técnicas e nos processos de fabricação mais intensivamente. Eles buscam informações sobre as propriedades técnicas, verificam a adequação do material para as técnicas de fabricação existentes, observam a durabilidade dos materiais e o custo da produção total.

Na Figura 5, “notas de design”, inclui outros aspectos, como as limitações de design relacionadas aos requisitos sobre a forma dos produtos, limitações na combinação de materiais, regulamentações de saúde e segurança, notas ambientais como o uso recomendado de materiais visando o meio ambiente. Por fim, na Figura 5 pode ser observado outro aspecto, que corresponde à disponibilidade dos materiais, pois esse fator é avaliado pelos designers durante todo o processo de seleção. Budinski (1996) também enfatiza a importância do fator "disponibilidade" na seleção de materiais. Para os pesquisadores, esse é um dos primeiros questionamentos que a maioria dos designers considera no projeto.

Dessa forma, as diretrizes relacionadas aos aspectos técnicos, como as propriedades e processos de fabricação, são necessárias em todas as etapas do processo de design, contudo, conforme demonstrou a pesquisa de Karana *et al.* (2008), predominam na etapa de projeto detalhado. As características intangíveis são mais requisitadas no início do projeto, ou seja, na fase de projeto conceitual.

Nesse sentido, fontes de informações apropriadas, tanto técnicas quanto intangíveis, são cruciais para apoiar as decisões de seleção de materiais. Contudo, atualmente existem poucas fontes de informações para a seleção de materiais que se concentram em abordar o lado intangível dos materiais (HODGSON; HARPER, 2004; LEFTERI, 2005; DENG; EDWARDS, 2007).

Os pesquisadores Ashby e Johnson (2002) ressaltam a importância das informações sobre características intangíveis para a adequada seleção de materiais. Até então, predominavam os requisitos técnicos e econômicos (PATTON, 1968; ESIN, 1980; LINDBECK, 1995; BUDINSKI, 1996; MANGONON, 1999). Ashby e Johnson (2002) listaram os seguintes requisitos necessários para a seleção de materiais: técnicos, econômicos, sustentabilidade (relacionadas a questões

ambientais) e intangíveis (relacionados com percepções sensoriais, associações e emoções).

Em 2002, a *International the Materials Information Society* reconheceu que os designers são um público a ser considerado para a comunidade que necessita de informações sobre materiais. Eles afirmaram que os designers possuem necessidades especiais de informações sobre valores abstratos ou subjetivos dos materiais, além dos técnicos e funcionais (ABBASCHIAN; MARSHALL, 2006).

As fontes de informações existentes para apoiar a seleção de materiais consistem em catálogos de materiais, geralmente elaborados por fornecedores, materiotecas (físicas e digitais), softwares e bases de dados que permitem o acesso online. As materiotecas são bibliotecas que possuem coleções de amostras de materiais, utilizadas para a prática e a pesquisa do design (BYKO, 2005). Os pesquisadores Charles *et al.* (2001) e Bezooyen (2002), consideram que as ferramentas digitais de seleção de materiais são aquelas que possuem maior potencialidade, não apenas em termos técnicos, mas também na maneira dinâmica com que acompanham a evolução do processo de design.

Entre as ferramentas digitais disponíveis atualmente pode ser citado o projeto “*Material Connexion*” que foi lançado em Nova York, em 1997. O projeto consiste em um banco de dados online com dados qualitativos, em que a seleção de materiais é executada por etapas. Iniciativa idêntica ocorreu na França, com a “*Innovathèque*”, que consiste em um banco de dados de materiais inovadores e tecnologias associadas que podem ser aplicadas na indústria moveleira. Em 2001, a primeira biblioteca privada de materiais, dentro do mesmo conceito, surgiu na Europa, chamada de “*Matéria*”. Essa biblioteca possui particularidades interessantes: os materiais podem ser selecionados por suas características visuais e sensoriais. O banco de dados online “*MatWeb*” também permite várias formas de pesquisa para diversos materiais e suas propriedades. Até o momento, este é o banco de dados que oferece mais informações e um maior número de materiais, um total de 74.000. Contudo, a informação é somente de natureza técnica, com um conjunto de propriedades físicas, mecânicas, térmicas, ópticas e elétricas (RAMALHETE *et al.*, 2010). O software CES Edupack (*Cambridge Engineering Selector*), desenvolvido pelo pesquisador Michael Ashby e outros membros da Granta Design e da

Universidade de Cambridge, permite a seleção de materiais com base em restrições de projeto e por meio de gráficos (SÖRENSEN *et al.*, 2016).

Ramalhete *et al.* (2010) realizaram um estudo em que foram descritas oitenta e sete ferramentas digitais para a seleção de materiais, incluindo bancos de dados e softwares. Nessa pesquisa os autores obtiveram os seguintes resultados:

- Há uma grande quantidade de bancos de dados para a seleção de materiais, que podem ser classificados nas seguintes categorias: geral, que inclui várias "famílias de materiais"; "específico", que envolve apenas uma classe ou até mesmo uma subclasse de materiais; "produtores", cujo conteúdo se limita aos materiais produzidos pela empresa.
- Na maioria das ferramentas, a seleção de materiais é realizada através de propriedades mecânicas e físicas.
- As famílias de materiais mais representadas em bancos de dados são polímeros e metais.
- A maioria dos bancos de dados é pobre em informações sobre características estéticas e de superfície, o que os limita como fontes de inspiração. Além disso, as informações sobre características ambientais ainda não foram generalizadas na maior parte das ferramentas digitais, o que tende a limitar seu uso sempre que esses aspectos se tornarem essenciais na seleção de materiais.
- É importante começar a seleção de materiais com bancos de dados mais universais, que permitem a pesquisa em todas as "famílias de materiais". Com o desenvolvimento do processo de seleção, pode-se passar para ferramentas com conteúdo mais específico.
- Há pouca uniformidade nas informações das bases de dados de seleção de materiais e isso implica na fraca compatibilidade entre os dados das diferentes ferramentas digitais.

Apesar das fontes de seleção de materiais digitais precisarem ser melhoradas em alguns aspectos, elas contêm informações extremamente importantes, como as técnicas e em menor quantidade as intangíveis, para apoiar projetistas no processo de seleção de materiais. Para Ramalhete *et al.* (2010), há uma tendência atual em criar fontes específicas para designers, com menos informações técnicas e mais

informações sobre aspectos intangíveis. Contudo, as informações técnicas nunca devem ser menosprezadas, mas conciliadas com outras informações, que são igualmente importantes para o design.

2.1.2 Design e materiais ecológicos: o potencial para inovação

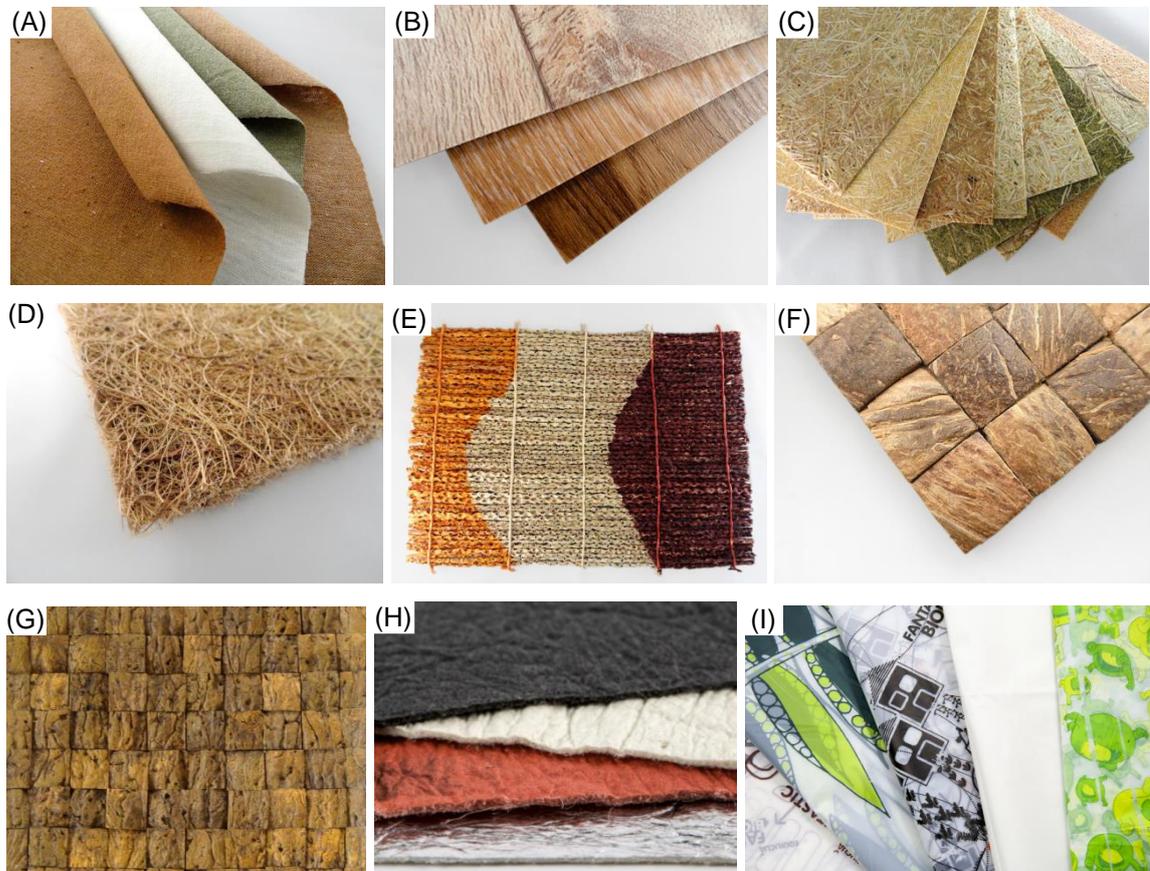
Nos dias de hoje, há uma crescente atenção científica e tecnológica voltada para os estudos sobre a utilização de novos materiais, em especial, os denominados ecológicos (MANZINI, 2008). Conforme Mello (2013), materiais ecológicos, também chamados de materiais alternativos, são caracterizados por serem aqueles que possuem um impacto reduzido no meio ambiente, comparado a outros convencionais. Já Hadala e Yamamoto (2001) conceituam os materiais ecológicos como aqueles que são desenvolvidos para a diminuição dos impactos ambientais durante o seu ciclo de vida.

Pesquisadores citam requisitos e diretrizes para materiais serem considerados ecológicos. Para FUAD-LUKE (2002), os materiais ecológicos são os provenientes de fontes renováveis ou com matéria-prima abundante, com baixa energia incorporada, alta porcentagem de reciclados, com baixa emissão de poluentes no processo de fabricação, com certificação ambiental ou que sejam provenientes de matéria-prima orgânica. Na visão de Nguyen *et al.* (2009) um material é considerado ecológico quando possui as seguintes características: origem renovável, impacto ambiental mínimo durante o processo de fabricação do material, alta produtividade em uso, geração mínima de substâncias perigosas e passível de reciclagem. Conforme os autores, Nguyen *et al.* (2009), para um material ser considerado ecológico não é necessário atender a todas as diretrizes citadas, mas o maior número possível.

Exemplos de materiais ecológicos podem ser encontrados em materiotecas digitais. A materioteca digital holandesa “Matéria” (<https://materia.nl/>) possui uma coleção de 2.600 materiais, entre eles, diversos possuem características de materiais ecológicos. No Brasil, foi criada a materioteca digital “Matéria Brasil” (materiabrasil.com.br) que também possui vários exemplos de materiais ecológicos

em seu acervo. Na Figura 6 podem ser observados exemplos de materiais ecológicos encontrados no acervo das materiotecas citadas.

Figura 6: Exemplos de materiais e produtos ecológicos: A) Tecido produzido com algodão orgânico, B) Piso vinílico com 75% de matéria-prima reciclada, C) Laminado de fibras vegetais com resina à base de óleo de mamona, D) Manta de fibra de coco, E) Manta de fibra de açaí, F) Pastilha de coco, G) Pastilha de castanha do Brasil, H) Piñatex (couro de fibra de folhas de abacaxi), I) Plástico produzido com amido de batata.



Fonte: Matéria (2018), Matéria Brasil (2018).

No design, iniciativas estão sendo tomadas no desenvolvimento de produtos com o uso de materiais ecológicos, explorando as suas potencialidades. Há exemplos de móveis, joias, roupas, calçados, utensílios domésticos, que são confeccionados com materiais reciclados, reutilizados e de fontes renováveis, como podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7: Exemplos de produtos com uso de materiais ecológicos: A) Móvel desenvolvido a partir da reutilização de tubos de papelão, B) Cadeira projetada a partir de cortinas persianas descartadas, C) Cadeiras feitas com resíduos têxteis, D) Colar criado a partir de sucata de computadores, E) Sapato feito à mão a partir de roupas usadas e tecido de garrafa Pet reciclada, F) Camiseta feita com 50% de poliéster proveniente de garrafa Pet reciclada tramado com 50% de algodão, G) Copos de bagaço de cana-de-açúcar e PLA, H) Embalagem para ovos produzida com amido de milho e I) Telha fabricada a partir de embalagens tetra park pós-consumo.



Fonte: Piccoli e Romano (2011), Lopes e Piccoli (2015), Müller e Hoelzel (2012), Matéria Brasil (2017), Matéria (2018), Insecta Shoes (2018).

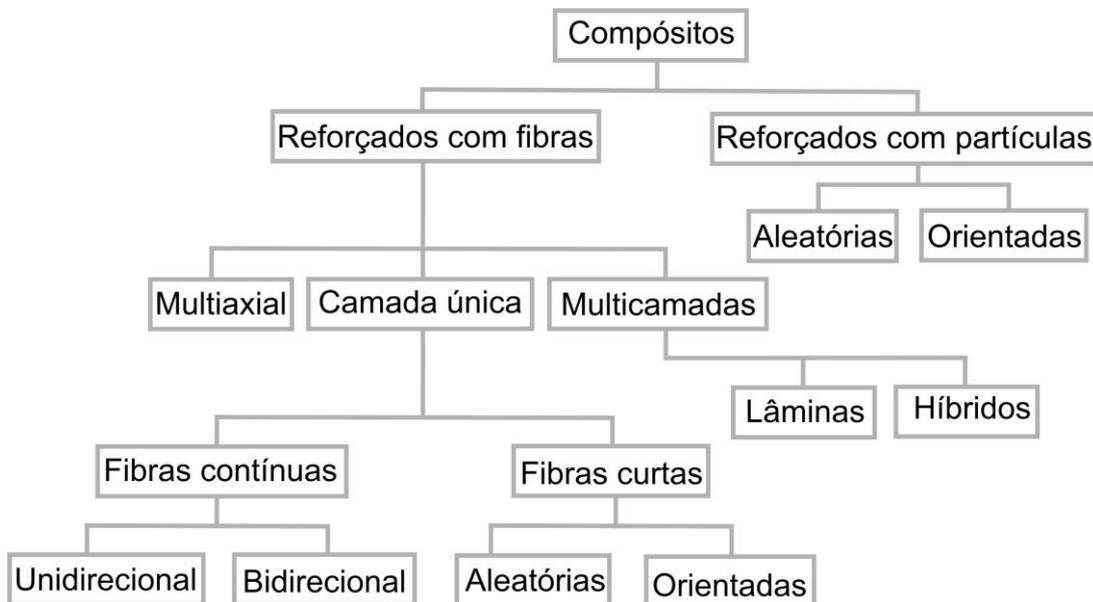
Logo, o designer tem um papel importante na escolha e aplicação dos materiais em produtos, cabendo a ele a responsabilidade de, quando possível, selecionar materiais que visem à redução de impactos ambientais. Assim, é importante que os designers estejam atentos para as inovações na área de engenharia de materiais e conheçam as propriedades e o comportamento dos materiais, para avaliar em termos técnicos, práticos, estéticos, a possibilidade de utilizar esses materiais no projeto de produtos.

2.2 Compósitos poliméricos

Conforme a norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM D3878), a definição de material compósito consiste em uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente. Para Neto e Pardini (2006) a característica básica dos compósitos é combinar, em nível macroscópico, no mínimo, duas fases distintas denominadas de matriz e reforço. A matriz é a fase contínua sendo responsável pela transferência de tensões e o reforço está distribuído na matriz, geralmente, é mais rígido e resistente do que a matriz.

Existem compósitos naturais e sintéticos, os primeiros são aqueles encontrados na natureza, como a madeira e o osso. Os compósitos sintéticos são aqueles constituídos por materiais criados pelo homem, como exemplo, o *Carbon Fiber Reinforced Plastic* (CFRP), o qual possui matriz polimérica e reforço de fibra de carbono (NETO; PARDINI, 2006). Os compósitos podem ser classificados segundo o tipo e a distribuição do material utilizado como reforço (Figura 8).

Figura 8: Proposta de classificação de compósitos.



Fonte: Adaptado de Neto e Pardini (2006).

Para Neto e Pardini (2006), as propriedades dos compósitos são determinadas, principalmente, pelas propriedades do reforço e da matriz, pelo processo de produção utilizado e também pelos parâmetros do processamento. A capacidade de transferência dos esforços da matriz para a carga, que depende diretamente da qualidade da adesão do reforço com a matriz, é também um fator decisivo no desempenho do compósito. Em geral, os compósitos são desenvolvidos visando à melhoria das propriedades mecânicas, como rigidez, resistência e tenacidade, no entanto, outras propriedades também são exploradas, como resistência às condições ambientais e às altas temperaturas (SILVA, 2010).

Oliveira (2011) destaca pontos importantes no uso de reforços que influenciam diretamente as propriedades dos compósitos, como: a fração volumétrica, ou seja, a proporção dos materiais constituintes, a distribuição e orientação das fibras e a adesão entre as fibras e a matriz. A interface entre a matriz e o reforço é fundamental em termos de desempenho do compósito, pois nela ocorre o contato entre os componentes, sendo responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. Assim, uma boa adesão entre a fibra e a matriz gera uma interface resistente a esforços mecânicos, e em consequência um compósito com boas propriedades (RAMÍREZ, 2011). Atualmente estão sendo desenvolvidos compósitos com matérias-primas renováveis devido à preocupação com os impactos ambientais e com o objetivo de diminuir a dependência de recursos não renováveis (MOHANTY *et al.*, 2005).

2.2.1 Matrizes termorrígidas

Os compósitos de matriz polimérica são produzidos a partir de resinas que são utilizadas para tal fim tendo em vista as suas propriedades, a facilidade de fabricação e o custo. As resinas termorrígidas são obtidas a partir de oligômeros de baixa massa molecular e, geralmente, apresentam-se na forma de um líquido de baixa a média viscosidade. A reação de reticulação ocorre por meio da adição de um agente de cura (iniciador) (MAZUMDAR, 2002). A polimerização das resinas termofixas forma uma estrutura tridimensional, na qual ocorrem várias ligações químicas covalentes entre diferentes cadeias, de modo que não é mais possível ocorrer um escorregamento entre as moléculas, por isso, quando curadas, não

podem mais ser fundidas ou dissolvidas (SMITH, 1998). Após a cura, é recomendado o processo de pós-cura, pois assim pode-se obter o melhor desempenho do material em relação às propriedades mecânicas. A cura das resinas termofixas geralmente ocorre à temperatura ambiente, porém, também pode ocorrer sob temperatura e tempo controlados (TINÔ, 2014).

Em comparação com as resinas termoplásticas, as termorrígidas são mais utilizadas em compósitos por vários fatores. Matrizes termorrígidas possuem maior facilidade de processamento, por serem líquidas à temperatura ambiente (25°C) podem facilitar a molhabilidade dos reforços. O custo das resinas termorrígidas é mais baixo em relação ao custo de resinas termoplásticas de desempenho similar. Os polímeros termorrígidos, geralmente, são mais duros e mais resistentes do que os polímeros termoplásticos, além de possuírem melhor estabilidade dimensional (STRONG, 2008).

Conforme Ratna (2009) as resinas termorrígidas mais utilizadas na produção de compósitos poliméricos com reforços lignocelulósicos são: poliésteres, poliuretanas, vinil-éster, fenólicas e acrilato. As resinas epóxi, também são bastante utilizadas com a vantagem de possuírem melhores propriedades mecânicas e boa resistência à umidade, em comparação com as resinas poliésteres, poliuretanas e resinas vinílicas.

2.2.1.1 Resina poliéster

A resina poliéster tem sido muito utilizada para a produção de compósitos devido as suas propriedades mecânicas satisfatórias para tal fim. Os poliésteres são largamente produzidos industrialmente e possuem diversas vantagens, como a capacidade de cura à temperatura ambiente, boas propriedades mecânicas (tração, flexão e impacto) e transparência (AZIZ *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2015). Conforme Penczek *et al.* (2005), o poliéster tem sido amplamente utilizado em compósitos reforçados com fibras devido às suas vantagens de baixo custo, boa processabilidade e boas propriedades mecânicas.

A resina poliéster apresenta-se na forma de um líquido viscoso, que por meio de uma reação química exotérmica de polimerização ou cura, transforma-se em um

sólido rígido infusível (termorrígido) (NETO; PARDINI, 2006). Os principais elementos das cadeias moleculares de resinas poliéster são os grupos ésteres. Essas resinas resultam da reação de condensação de um diol com um diácido, dependendo do tipo de ácido empregado, o poliéster pode ser saturado (termoplástico), cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono, ou insaturado (termorrígido), em que contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono (BLASS, 1998). O tipo de ácido também influencia nas propriedades e no tipo de resina resultante, que pode ser ortoftálica, isoftálica e tereftálica, conforme pode ser observado na Tabela 1 (NETO; PARDINI, 2006).

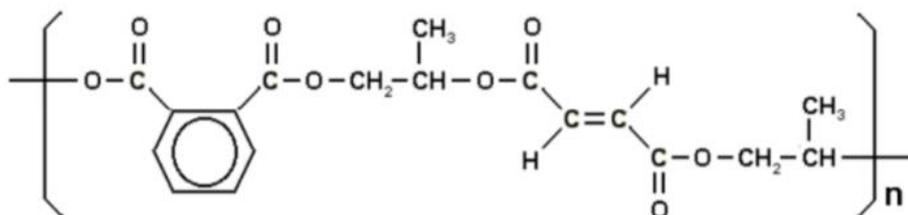
Tabela 1: Tipos de resina poliéster.

Tipo	Características
Ortoftálica	Resina mais comum, de menor custo, para uso básico.
Tereftálica	Possui resistência física um pouco superior à ortoftálica, porém, possui baixa resistência à radiação ultravioleta.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores.

Fonte: Silaex (2015).

A primeira resina poliéster comercial a ser utilizada foi a ortoftálica, que apesar de apresentar resistência térmica e química limitadas, é a que possui o menor custo, e, por isso, é muito utilizada para aplicações em caixas d'água, calhas, fossas sépticas, canoas, piscinas, caixas separadoras de água e óleo e caixas de gordura. Esse tipo de resina poliéster é composta por ácidos ftálico e maleico ou seus anidridos, e glicol, apresenta hidroxilas e carboxilas suscetíveis à hidrólise, o que torna suas propriedades químicas inferiores em comparação às demais resinas poliésteres. Na Figura 9 é possível observar a estrutura química da resina poliéster ortoftálica (ANDRADE, 2008).

Figura 9: Estrutura química da resina poliéster ortoftálica.



Fonte: Andrade (2008).

As resinas de poliéster insaturado são comercializadas com um iniciador, de tal maneira que o sistema reativo seja obtido pela mistura pré-acelerada com o iniciador. A quantidade de iniciador controla a velocidade da reação, e, portanto, o tempo de gel e a temperatura máxima atingida durante a reação. O tempo de gel da resina corresponde ao tempo transcorrido após a mistura do poliéster com o iniciador, sendo este o início do endurecimento da resina, atingindo então o estado gelatinoso. O tempo de gel deve ser considerado para que seja possível haver uma boa impregnação do material de reforço pela resina, bem como a moldagem completa do material compósito ao molde (MALLICK, 1988).

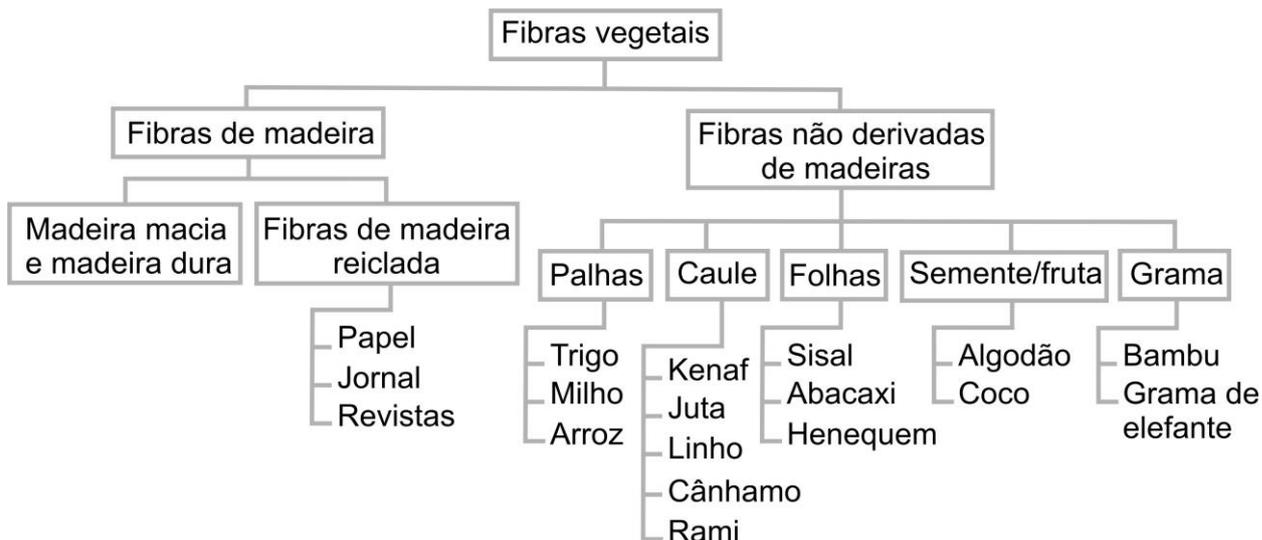
2.2.2 Reforços lignocelulósicos

A utilização de materiais lignocelulósicos, como as fibras vegetais, para reforço em compósitos poliméricos não é recente, já que as primeiras patentes com esses materiais datam da década de 1960, embora na década de 1970 e 1980, as fibras sintéticas tenham substituído as vegetais devido ao melhor desempenho. No entanto, a partir dos anos de 1990, com a crescente preocupação ambiental, ressurgiu o interesse no uso de fibras vegetais em setores da indústria, como o automobilístico (SILVA, 2003).

Tradicionalmente, fibras sintéticas tais como fibras de carbono ou de vidro têm sido utilizadas para reforçar compósitos e são capazes de produzir propriedades mecânicas e térmicas elevadas. No entanto, com a crescente preocupação ambiental, a lenta biodegradabilidade das fibras sintéticas levaram os pesquisadores a investigar alternativas para melhorar ou acelerar o seu processo de degradação (ARJMANDI *et al.*, 2015).

Para Gurunathan *et al.* (2015) as fibras naturais utilizadas em compósitos podem ser classificadas com base na sua origem, que pode ser vegetal, animal ou mineral. As fibras de origem vegetal são as mais utilizadas como reforços em compósitos, podendo ser provenientes da madeira ou não. As fibras de madeira podem ser extraídas de madeiras macias ou duras ou ainda podem ser recicladas. As fibras não derivadas da madeira podem ser extraídas de diversas partes das plantas, como ilustrado na Figura 10 (MOHANTY *et al.*, 2005).

Figura 10: Classificação das fibras vegetais.



Fonte: Adaptado de Mohanty *et al.* (2005).

As fibras vegetais estão cada vez mais sendo utilizadas em compósitos, por serem materiais naturais, de fontes renováveis e abundantes na natureza. Seus principais componentes são: a celulose, a hemicelulose, a lignina, as pectinas e as ceras, com composição que pode variar conforme o tipo de planta e região geográfica em que são cultivadas (SILVA *et al.*, 2009).

Conforme Rowel *et al.* (1997), as fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, juta, coco, e banana, além de fibras de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e bambu. Para Monteiro *et al.* (2006), muitas fibras para compósitos são regularmente cultivadas, como o linho, o cânhamo, o rami, o sisal, a juta, e outras são o subproduto de plantas com finalidade para alimentação, como o bagaço da cana-de-açúcar, a casca de coco, o caule da bananeira, a casca de arroz e a palha de milho.

Scandola (2011) expõe que uma abordagem interessante para a preservação da terra é a extração de reforço lignocelulósico a partir de resíduos agrícolas. A definição de resíduo proposta por Spadotto e Ribeiro (2006) é a seguinte: são substâncias, produtos ou materiais gerados em um processo industrial ou agrícola, que, no mesmo processo ou em outro pode ser aproveitado. Na literatura é possível encontrar trabalhos sobre compósitos com talos de girassol e bagaço de cana-de-açúcar (ASHORI; NOURBAKSH, 2010), casca de arroz (FAVARO *et al.*, 2010), palha de soja (AHANKARI *et al.*, 2011) e palha de milho (REDDY e YANG, 2005),

como fontes de materiais lignocelulósicos para reforço de compósitos, o que pode contribuir para amenizar o problema do descarte dos resíduos agrícolas. Conforme Machado *et al.* (2010) no Brasil, há uma grande variedade de materiais lignocelulósicos que possuem potencial para serem utilizados em compósitos, devido ao clima favorável para a agricultura, o solo fértil e largas extensões territoriais, como: bagaço de cana-de-açúcar, fibra de bananeira, coco, casca de arroz.

Outras vantagens na utilização de fibras vegetais e outros materiais lignocelulósicos em compósitos incluem o baixo custo, baixa densidade, menor abrasão comparada às fibras sintéticas, atoxidade, baixo consumo de energia no processamento, reciclabilidade, tempo de moldagem reduzido (em até 30%), baixo coeficiente de expansão térmica e isolamento acústico, além da promoção de trabalho e renda na área rural (SATYANARAYANA *et al.*, 2006).

No que diz respeito às desvantagens, Scandola (2011) afirma que a principal é a variabilidade nas propriedades mecânicas, como consequência da variação dos fatores envolvidos no cultivo das plantas, como a área geográfica, as condições climáticas e os métodos de colheita. Outra potencial desvantagem das fibras vegetais é o elevado teor de umidade. Isso ocorre devido à presença de grupos hidroxila da celulose nas fibras vegetais, o que pode ocasionar baixa adesão entre as fibras e a matriz. Dessa forma, durante o processamento dos compósitos, é importante realizar a secagem das fibras vegetais. Outro ponto negativo está na baixa temperatura de processamento das fibras vegetais devido à possibilidade de degradação ou emissão de voláteis em altas temperaturas, o que pode afetar a fabricação do compósito. A temperatura de processamento das fibras vegetais está limitada, normalmente, em torno de 200 °C. No entanto, no caso de compósitos em que são utilizadas resinas termofixas, esta característica pode não ser limitante, pois a cura dessas resinas pode ocorrer em temperaturas inferiores (SINHA; PANIGRAHI, 2009).

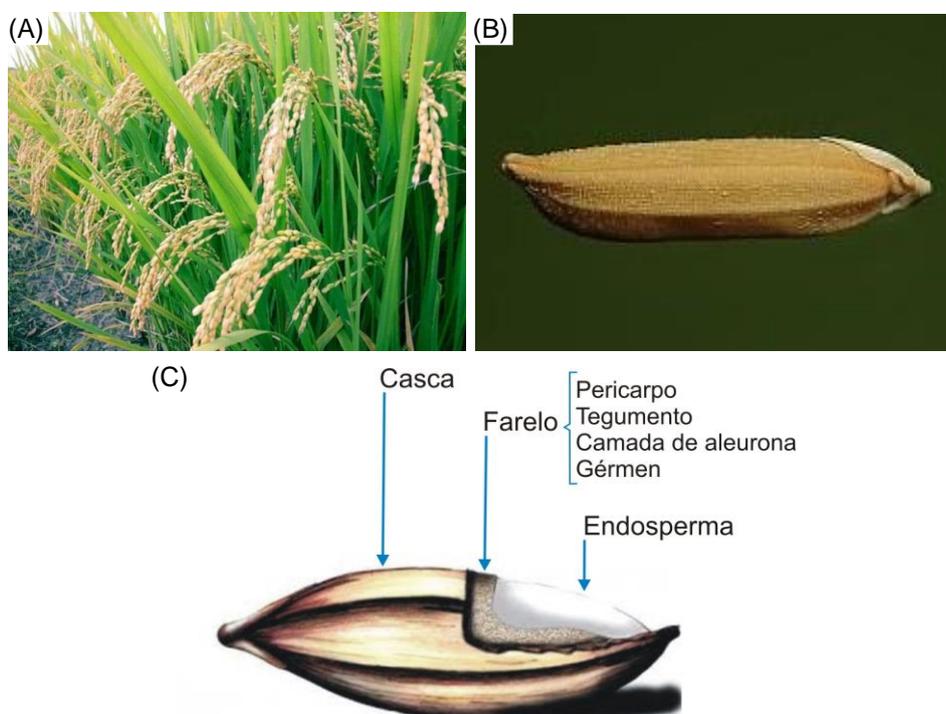
2.2.2.1 Casca de arroz

Em muitos países em desenvolvimento, o arroz é considerado o produto de maior importância econômica, e constitui-se em um alimento básico para cerca de

2,4 bilhões de pessoas. O arroz (Figura 11) é considerado uma cultura com grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de solos e climas. Como alimento, é consumido em todos os continentes, destacando-se pela produção e área de cultivo com forte papel econômico e social na Ásia, África e América Latina. Em área cultivada no mundo, o arroz encontra-se em segundo lugar, sendo superado apenas pelo trigo (EMBRAPA, 2012).

No Brasil, conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) o beneficiamento do arroz é uma das atividades mais tecnificadas do setor agrícola. A cultura do arroz no Rio Grande do Sul, por exemplo, tem importante papel na economia regional, sendo a principal atividade econômica em inúmeros municípios, principalmente na metade sul do estado (MAPA, 2017).

Figura 11: A) Planta de arroz, B) Grão de arroz e C) Camadas do grão de arroz.



Fonte: Adaptado de Terra de arroz (2015), Walter *et al.* (2008).

O beneficiamento após a colheita do arroz consiste em: secagem, limpeza, descasque, brunição (polimento), classificação, seleção, empacotamento e expedição. Do cultivo e beneficiamento do arroz resultam, além do arroz polido, os grãos quebrados, o farelo, a casca e a palha. A palha de arroz representa o resíduo deixado de fora após a colheita dos grãos e inclui o tronco e as folhas, tem sido

tradicionalmente utilizada como ração animal, na indústria de fertilizantes orgânicos ou queimada no campo (ABRAHAM *et al.*, 2016).

A casca de arroz, que corresponde ao principal subproduto da indústria arroseira, corresponde a 20% da massa total do arroz. É considerada uma capa protetora, formada durante o crescimento do grão. A composição da casca de arroz varia conforme o tipo de solo e das condições de cultivo, geralmente, possui em torno de 32% de celulose, 28% de lignina, 20% de hemicelulose e 20% de matéria inorgânica, sendo que 96% da matéria inorgânica é composta por sílica, óxido de potássio, sódio, magnésio e cálcio, e o restante são traços de ferro, manganês e alumínio (SOUZA; YAMAMOTO, 1999).

Conforme Hwang e Chandra (2002), a constituição química da casca de arroz varia de acordo com a espécie cultivada, tipo de solo, fatores climáticos e fertilizantes empregados. Na Tabela 2 são apresentados os resultados de análises de amostras de cascas de arroz estudadas pelos referidos pesquisadores que observaram pequenas variações no teor de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e cinza.

Tabela 2: Composição química de amostras de casca de arroz.

Amostra	Constituição química (% em massa)					
	C	H	O	N	S	Cinza
1	38.3	5.7	39.8	0.5	0.0	15.5
2	39.4	5.5	36.1	0.5	0.2	18.2
3	39.5	5.5	37.7	0.8	0.2	16.5

Fonte: Hwang e Chandra (2002).

A casca de arroz apresenta granulometria homogênea, com cerca de 89% dos grãos entre peneiras de 1,19 mm e 2 mm, com teor de umidade de 9,25% (FERREIRA *et al.*, 2008). A morfologia da casca de arroz foi estudada por vários autores (CHANDRASEKHAR *et al.*, 2003; FÁVARO, 2007; CARVALHO *et al.*, 2011; DELLA *et al.*, 2006; NDAZI *et al.*, 2007), e os resultados indicam que a casca apresenta uma estrutura fibrosa com uma combinação de sílica e material orgânico em uma composição não uniforme. A sílica é observada em todas as partes da casca de arroz, contudo, há uma maior concentração na epiderme externa.

A casca de arroz é um material abrasivo, de baixo valor nutritivo, de baixa densidade, e representa o subproduto mais volumoso da cultura do arroz, assim, o armazenamento e a eliminação constituem-se em um problema (DELLA *et al.*, 2005). Em relação à utilização da casca de arroz, Mayer *et al.* (2006) explica que o destino primário é a compostagem, o que reduz a sua carga orgânica, contudo, a casca de arroz demora aproximadamente 5 anos para ser decomposta gerando grande quantidade de metano. Govindarao (1980) realizou um levantamento a respeito da utilização da casca de arroz e apontou os seguintes destinos:

- Agropecuária: a casca de arroz é empregada no tratamento dos solos como fertilizante e corretivo. Na criação de animais confinados, a casca de arroz é utilizada como cama, principalmente na avicultura e na pecuária, posteriormente, o material da cama é misturado ao solo, que possui alto valor fertilizante devido à incorporação de nutrientes provenientes dos dejetos dos animais.
- Construção civil: associada à argila, pode ser empregada na fabricação de tijolos, painéis e telhas com bom isolamento de calor, e ainda, concretos de baixa densidade para serem utilizados em produtos pré-moldados.
- Obtenção de sílica: obtenção da sílica com alto grau de pureza a partir da combustão da casca de arroz tratada com banhos ácidos em atmosferas inertes ou não, visando sua aplicação na indústria cerâmica, fabricação de fotocélulas e fibras de carbeto de silício.
- Geração de energia: devido ao alto poder calorífico, a casca de arroz é utilizada como combustível alternativo nas próprias indústrias de beneficiamento do arroz, substituindo a lenha, o que gera um custo praticamente nulo, além de eliminar volumosas quantidades do material.

Apesar de haver diversos destinos para a casca de arroz, não são suficientes para utilizar todo o volume de produção (MAYER *et al.*, 2006). Assim, a proposta para um novo uso da casca de arroz é na produção de compósitos com diferentes tipos de matrizes (ARJMANDI *et al.*, 2015).

2.2.3 Processamento de compósitos poliméricos

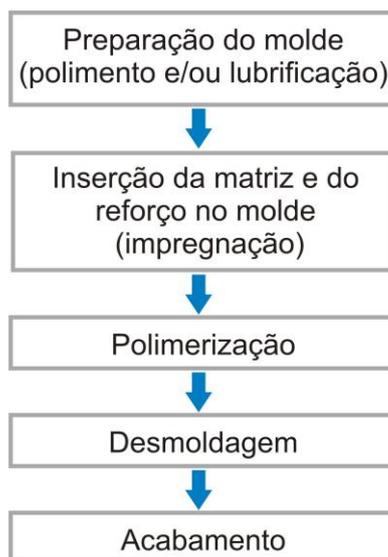
Existem diferentes técnicas de processamento para a obtenção de compósitos, que influenciam no desempenho destes materiais. A escolha da técnica mais adequada para a produção de um determinado componente em compósito polimérico depende de fatores econômicos, do tipo de fibra utilizada, das quantidades que serão produzidas e das exigências requeridas ao componente (CASTRO, 2013).

Para Mendonça (2005), devem ser observados aspectos importantes para a seleção do método de processamento do compósito, como:

- Custo: envolve o custo do equipamento, treinamento, matéria-prima e outros;
- Escala de produção: produção alta ou baixa, por exemplo, na indústria automobilística a produção é alta, e na indústria aeronáutica e naval a produção é baixa, e se serão fabricadas peças únicas como moldes e protótipos;
- Dimensão física do componente: a fabricação de peças grandes, como: cascos de barco, carroceiras, tanques de reservatórios, piscinas e outros, precisam de processos de fabricação distintos de peças menores;
- Volume relativo de fibra: determinados métodos de fabricação são mais adequados para uma quantidade menor de fibra como nos processos manuais com mantas, já outros, como o bobinamento, podem ser utilizadas maiores quantidades de fibras;
- Repetibilidade de características do componente: os processos manuais tendem a baixa repetibilidade, além da variação das dimensões do componente, já os processos automatizados facilitam a repetibilidade e repercutem em melhor qualidade dos itens fabricados.

De maneira geral, a moldagem de um compósito polimérico com reforço lignocelulósico consiste nas operações básicas esquematizadas na Figura 12. Essas etapas podem ser realizadas segundo diferentes procedimentos que são selecionados em função de parâmetros como: forma do componente, dimensão, propriedades mecânicas desejadas, escala de produção.

Figura 12: Etapas do processamento de compósitos poliméricos.



Fonte: Tinô (2014).

Os processos de fabricação utilizados na obtenção de compósitos poliméricos podem ser classificados em dois grupos: os processos de fabricação com molde aberto e com molde fechado. A principal característica de processos de fabricação com molde aberto é que uma das faces do molde apresenta-se exposta ao ambiente, enquanto que no processo de fabricação com molde fechado nenhuma das faces do molde fica exposta (ANTEQUERA *et al.*, 1991; CORREIA, 1988). Na categoria de processos de fabricação com molde aberto pode-se citar a moldagem manual, a moldagem à pistola, a moldagem por centrifugação e a moldagem por enrolamento. Já a moldagem por compressão, a injeção e a pultrusão são exemplos de processos de fabricação com molde fechado (CALLISTER, 2007).

2.2.3.1 Moldagem por compressão

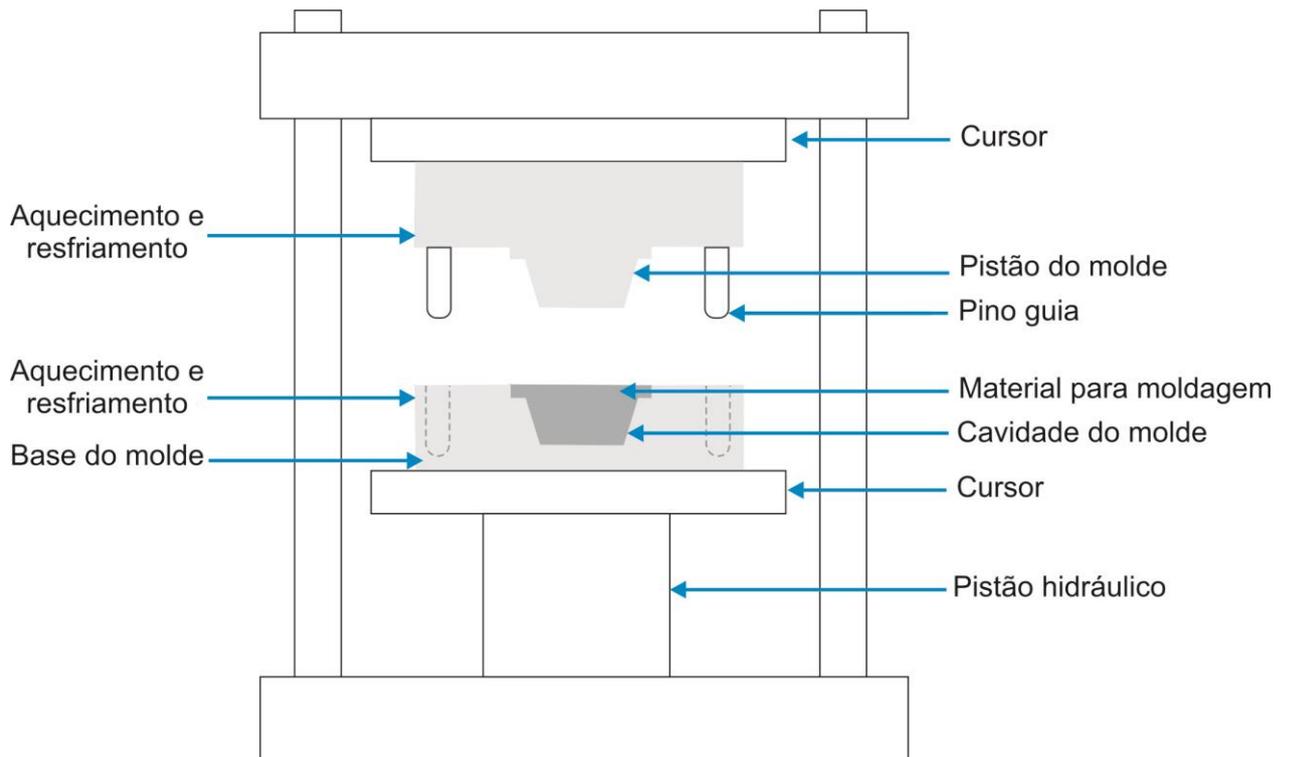
Entre os processos de conformação para compósitos, a moldagem por compressão é bastante utilizada por seu baixo custo e elevada produtividade (ROBROEK, 1994). Esse processo de fabricação pode ser empregado tanto para compósitos constituídos por polímeros termoplásticos ou termorrígidos. A moldagem por compressão pode ser realizada a frio ou a quente, a diferença é que a frio não há aquecimento externo do material (NETO; PARDINI, 2006). De acordo com

Callister (2007), a moldagem por compressão é um método antigo e é muito utilizada por apresentar as seguintes vantagens:

- Fabricação de peças com boa qualidade superficial;
- Alto volume de produção e baixo custo;
- Facilidade no uso de reforços com diferentes geometrias;
- Permite a fabricação de peças complexas.

Na moldagem por compressão a frio, o reforço e a matriz são misturados e depositados em um molde de encaixe, após, é encaixado e colocado em uma prensa hidráulica onde é aplicada pressão, assim, o material flui pela ação da pressão, preenchendo a cavidade do molde e expulsando o ar (Figura 13). A moldagem por compressão a quente é semelhante ao processo de compressão a frio, contudo, além da aplicação da pressão o material é aquecido para fluir e preencher a cavidade do molde, após a cura, o molde é aberto e a peça é retirada.

Figura 13: Equipamento para moldagem por compressão.



Fonte: Adaptado de Callister (2007).

No processo a frio, a polimerização é obtida à temperatura ambiente, enquanto que na moldagem a quente são utilizadas altas temperaturas e o ciclo de moldagem é mais rápido (MOTA, 2016). Nesse processo, o excesso de material poderá fluir através das aberturas do molde e a peça, provavelmente, terá que ser polida para remover o excesso de material (DEFONSEKA, 2014).

Conforme Medina *et al.* (2009), o processo de moldagem por compressão pode ser utilizado para a moldagem de resinas termorrígidas que curam a temperatura ambiente. No processamento por moldagem por compressão a quente de compósitos com resina poliéster são utilizados iniciadores, e assim, a mistura permanece estável por um tempo relativamente longo a baixas temperaturas.

2.2.4 Ensaios para a caracterização de compósitos

Após o compósito ser processado, são realizados ensaios para verificar o seu desempenho, principalmente, em relação às propriedades mecânicas e físicas. A partir da caracterização dos materiais é possível compreender o seu comportamento frente a forças mecânicas, umidade, degradação e outros fatores. Para isso, é necessário submeter os compósitos a uma bateria de ensaios que evidenciem sua eficácia e aplicabilidade no desenvolvimento de produtos (SANTOS, 2007). Além disso, por meio de ensaios para a caracterização dos compósitos é possível analisar as suas propriedades para que possam ser melhoradas a partir da manipulação do carregamento de fibras, tamanho e forma das fibras, agentes de acoplamento e outras variáveis (BASSYOUNI; HASAN, 2015).

Em geral, os ensaios mecânicos realizados em compósitos envolvem a resistência à tração, flexão, impacto e dureza. Ensaios de propriedades físicas envolvem a absorção de água, propriedades térmicas (Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA)), ensaios não destrutivos como a Análise Dínamo-mecânica (DMA) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). No próximo item serão abordados os ensaios realizados nesta pesquisa para a caracterização de compósitos poliméricos com casca de arroz.

2.2.4.1 Ensaaios mecânicos

O estudo sobre o comportamento mecânico de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais é de extrema importância e interesse científico e tecnológico, pois as características dos materiais dependem das especificidades do reforço, da adesão da fibra e da matriz, da fração volumétrica, e outros fatores. A determinação das propriedades mecânicas permite avaliar o potencial que o material oferece quando comparado aos demais existentes no mercado (OLIVEIRA, 2015).

De acordo com Canevarolo (2004), em termos práticos, a análise das propriedades mecânicas dos materiais é uma das considerações essenciais a serem feitas no processo de seleção dos materiais para o projeto de uma peça ou de um produto. Os valores de propriedades mecânicas são obtidos por meio de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais se destacam os ensaios de solicitação mecânica sob tração, flexão, impacto e dureza.

Entre os ensaios destrutivos o mais comum é o ensaio de tração, a sua realização é simples e rápida, e fornece informações importantes e primordiais para o projeto e a fabricação de peças e componentes. O ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a sua ruptura. Para a realização do ensaio de resistência à tração segue-se a norma padrão para compósitos de matriz polimérica (ASTM D 3039). Essa norma define o procedimento para o ensaio, em que o corpo de prova, com dimensões retangulares definidas, é fixado nas duas garras da máquina universal de ensaios na posição vertical. Após, o corpo de prova é tensionado até a ruptura com uma velocidade definida pela norma (MARINUCCI, 2011).

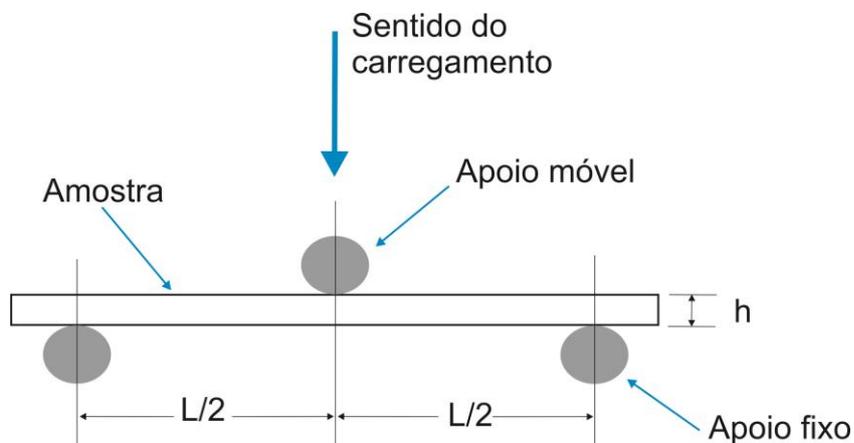
Conforme Oliveira (2015), os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados através dos ensaios de tração são a resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada por unidade de área no momento da ruptura, o alongamento representa o aumento percentual do comprimento do corpo de prova sob tração, no momento da ruptura. Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, assim, o módulo de elasticidade é medido

pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão.

Outro ensaio destrutivo realizado em compósitos com fibras vegetais é o ensaio de flexão. As propriedades a serem observadas a partir desse ensaio são a resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão, o qual é encontrado da mesma forma que no ensaio de tração, calculando-se a razão entre tensão e a deformação dentro do momento elástico do ensaio (MARINUCCI, 2011). A resistência à flexão está associada à eficiência do material em resistir à força de dobragem aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal (CASTRO *et al.*, 2013).

Para a realização do ensaio de flexão de três pontos há uma norma padrão (ASTM D 790) que define os procedimentos para a realização do mesmo. Conforme essa norma define-se uma proporção do tamanho do corpo de prova em relação à distância entre os apoios. O corpo de prova é posicionado sobre os apoios e no ponto central do corpo de prova é aplicada uma carga no sentido transversal com uma velocidade definida (Figura 14). Dessa forma, obtém-se a força máxima e o deslocamento do corpo de prova até a ruptura, e a partir desses resultados podem ser calculadas a tensão de flexão e o módulo de elasticidade em flexão (MARINUCCI, 2011).

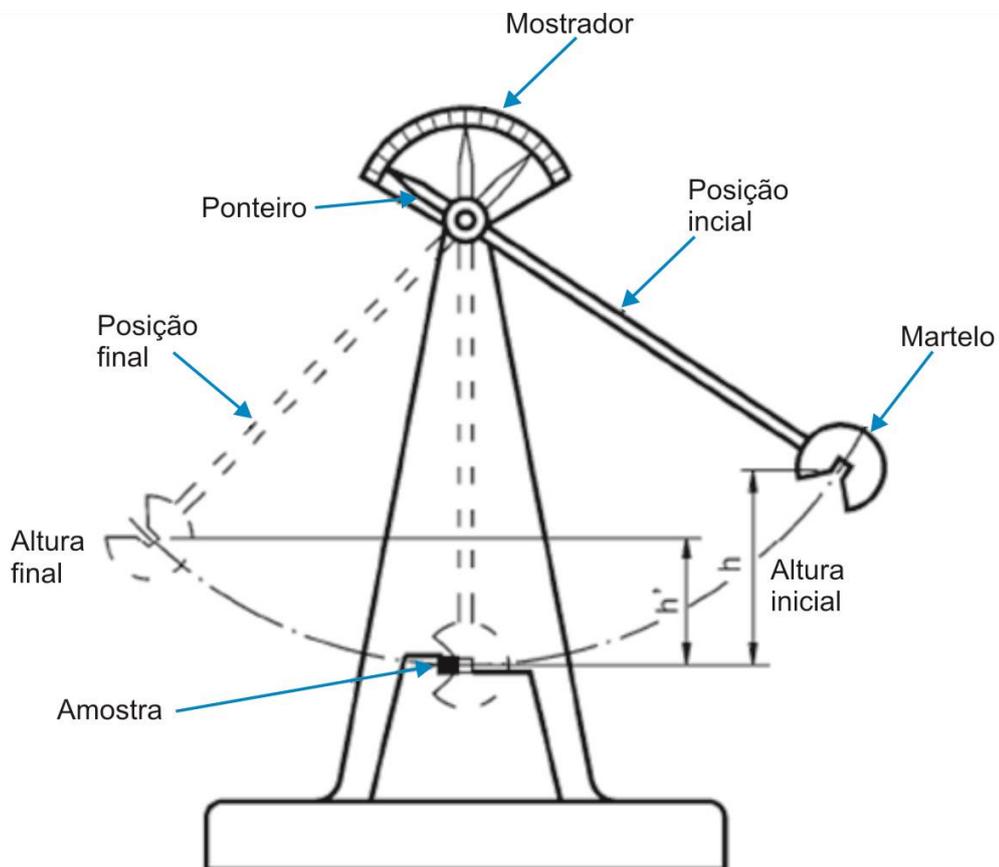
Figura 14: Representação esquemática do dispositivo de ensaio de flexão em três pontos.



Fonte: Canevarolo (2004).

A resistência ao impacto de um material representa a tenacidade do material, ou seja, mede a energia requerida para romper o material. Para a realização do ensaio de impacto existem duas técnicas, Charpy e Izod, que se diferem pelo tipo de equipamento (VLACK, 1984). A norma que possui os procedimentos necessários para o ensaio de impacto é a ASTM D256. Conforme a norma, em ambas as técnicas, os corpos de prova são preparados com o formato de uma barra retangular, em que pode ter ou não um entalhe em formato de “v”. A carga é aplicada com um impacto instantâneo de um martelo de pêndulo balanceado, que é liberado de uma posição elevada que se encontra a uma altura fixa h (Figura 15). O pêndulo continua o seu balanço, elevando-se a uma altura máxima h' , que é inferior a h . A absorção de energia de impacto, computada a partir da diferença entre h e h' , representa a medida da energia de impacto (CALLISTER, 2007).

Figura 15: Representação esquemática do equipamento para ensaio de impacto.



Fonte: Adaptado de Callister (2007).

Através do ensaio de dureza, é possível verificar a resistência à penetração ou ao risco em materiais. Existem dois tipos de medição da dureza, Shore A e Shore D, a primeira é usada para materiais não rígidos e alguns materiais semirrígidos, utilizando-se carga de 1 kg. A Shore D é utilizada para materiais rígidos e alguns materiais semirrígidos, utilizando-se carga de 5 kg (LUBIN, 1969).

O ensaio de dureza Shore D consiste em um indentador do tipo agulha que é carregado contra a superfície de um corpo de prova, onde a profundidade da penetração é lida em uma escala calibrada (MANO, 1991). Para o ensaio de dureza pode ser utilizada a norma ASTM D2240, que descreve os procedimentos necessários para a realização do ensaio.

2.2.4.2 Ensaio de absorção de água

Compósitos poliméricos, especialmente com materiais lignocelulósicos, como as fibras vegetais, absorvem umidade em atmosfera úmida e/ou quando imersos em água (YOUSIF; KU, 2012). Isso, por sua vez, afeta a interface do reforço e da matriz, levando a uma baixa eficiência na transferência de tensão. Dependendo da intensidade com que aconteça, a absorção de água pode levar à perda das propriedades físicas, da estabilidade dimensional e, ainda, interferir na interação da interface matriz/reforço do compósito e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas (POTHAN; THOMAS, 2004).

Silva *et al.* (2009) afirma que a absorção de água em compósitos é um parâmetro importante a ser avaliado, principalmente, quando são aplicadas fibras vegetais. Dessa forma, para avaliar a absorção de água em compósitos lignocelulósicos é realizado o ensaio de absorção de água, o qual pode ser feito seguindo as especificações da norma ASTM D570.

2.2.5 Compósitos poliméricos com casca de arroz

O desenvolvimento de compósitos poliméricos com casca de arroz é relativamente recente, os trabalhos concentram-se a partir do ano 2000. No Quadro

1 podem ser observadas pesquisas realizadas a partir desta década sobre o desenvolvimento e a caracterização de compósitos poliméricos com casca de arroz. Nesses estudos foram relatados o desenvolvimento e a caracterização de compósitos com diferentes tipos de matriz, tanto com resinas termoplásticas como termorrígidas, diferentes tamanhos das partículas e quantidades variadas de casca de arroz. Ainda, foi verificada a eficácia de tratamentos superficiais na casca de arroz, visando à comparação, principalmente, das propriedades mecânicas em relação aos compósitos com casca de arroz não tratada. Além da caracterização mecânica, nesses estudos, foram feitas caracterizações térmicas, físicas e morfológicas.

Pode-se observar, no Quadro 1, que o polímero mais empregado para a fabricação dos compósitos é o polipropileno, seguido do polietileno e da resina epóxi. Além disso, foram empregados polímeros chamados de ecológicos como a resina poliuretana à base de óleo de mamona, poli (ácido láctico) (PLA) e o poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT), além de polímeros reciclados, como o polipropileno e o polietileno.

Quadro 1: Materiais e processamento de compósitos poliméricos com casca de arroz.

Matriz	Casca de arroz	Quantidade de casca de arroz (% massa)	Tratamento superficial na casca de arroz	Processamento	Referência
Poliuretano	Particulada 150 -180, 180-250 e 250-500 µm	20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80	-	Moldagem por compressão a quente	Rozman <i>et al.</i> (2003)
Polipropileno	Particulada 80 -100 mesh	10, 20, 30 e 40	-	Extrusão Injeção	Yang <i>et al.</i> (2004)
Polipropileno	Particulada ≤ 75 µm	30 e 40		Extrusão Injeção	Mustapa <i>et al.</i> (2005)
Polipropileno	Particulada	10, 20, 30 e 40	-	Extrusão Injeção	Razavi-Nouri <i>et al.</i> (2006)
Polipropileno	Particulada	10, 20, 30 e 40	-	Extrusão e moldagem por compressão a quente	Rosa (2007)
Poli (ácido láctico)	Inteira	20 e 30	-	Extrusão e moldagem por compressão a quente	Dimzoski <i>et al.</i> (2009a)

Matriz	Casca de arroz	Quantidade de casca de arroz (% massa)	Tratamento superficial na casca de arroz	Processamento	Referência
Polipropileno	-	20 e 30	-	Extrusão e moldagem por compressão	Dimzoski <i>et al.</i> (2009b)
Polipropileno	Particulada 16 - 150 mesh	10, 20, 30 e 40	-	Extrusão e moldagem por compressão a quente	Rosa <i>et al.</i> (2009)
Polipropileno e polietileno reciclados	Particulada > 710 µm, 710~350 µm e < 177 µm	10, 20, 30, 40 e 50	-	Extrusão Injeção	Sato <i>et al.</i> (2010)
Polietileno	Particulada 209 µm	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 45	Sal de benzenodiazônio em meio alcalino, ácido e neutro	Extrusão Injeção	Rahman <i>et al.</i> (2010a)
Polietileno de alta densidade	Particulada	5 e 10	NaOH a 10% e ácido acético	Extrusão Injeção	Fávaro <i>et al.</i> (2010)
Poliéster insaturado	Particulada	10, 15, 20 e 25	-	Moldagem por compressão a frio	Hardinnawir da e Sitirabiatull (2012)
Policroto de vinila reciclado	Particulada 60, 80 e 100 µm	20	-	Moldagem por compressão	Rahman <i>et al.</i> (2013)
Poli (ácido láctico)	Particulada 10 -15 µm	20, 30 e 40	-	Extrusão e moldagem por compressão a quente	Ndazi (2012)
Poliéster insaturado	Inteira	20, 30, 40 e 50%	Solução de NaOH a 5%	Técnica manual (hand lay-up)	Surata <i>et al.</i> (2014)
Polietileno de média densidade	Particulada	15, 30, 40 e 50	-	Extrusão e moldagem por injeção	Bilal <i>et al.</i> (2014)
Epóxi	Particulada	10, 20, 30 e 40	Água	Moldagem por compressão a quente	Bisht e Gope (2015)
Poli (butileno adipato co-tereftalato) – PBAT/ Amido	Particulada 275 - 512,5 µm	10, 20 e 30	-	Extrusão e misturador interno Injeção	Azevedo <i>et al.</i> (2016)
Polietileno e polipropileno	Particulada 500 – 850, 350 – 500, 180 – 350 e <180 µm	30, 40, 50 e 60	-	Extrusão Injeção	Doan <i>et al.</i> (2016)

Matriz	Casca de arroz	Quantidade de casca de arroz (% massa)	Tratamento superficial na casca de arroz	Processamento	Referência
Poliétileno de alta densidade reciclado e tereftalato de polietileno reciclado	Particulada 100 mesh	50, 60, 70 e 80	-	Extrusão e moldagem por compressão a quente	Chen <i>et al.</i> (2016)
Poliuretano de óleo de mamona	Inteira	80	-	Moldagem por compressão a frio	Gryczak (2016)
Polipropileno	Particulada 500 - 1000 µm	10, 20 e 30	Água quente (100°C por 1h) e NaOH a 2% (em massa)	Moldagem por compressão	Rassiah <i>et al.</i> (2016)
Poliéster e epóxi	Particulada 25 - 50 µm	2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50	-	Técnica manual (hand lay-up)	Prabu <i>et al.</i> (2017)
Epóxi	Particulada 20 e 60 mesh	50, 60 e 70	NaOH a 6% (em massa) e 3-glicidoxi propil-trimetoxi-silano (GPS) a 10% em massa	Moldagem por compressão a quente	Lai <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autora.

Em diversos trabalhos citados no Quadro 1, o objetivo foi comparar as propriedades da matriz, com as propriedades dos compósitos com casca de arroz. Além disso, a comparação também foi avaliada entre compósitos com diferentes quantidades de casca de arroz. No trabalho de Yang *et al.* (2004) foram desenvolvidos compósitos com matriz de polipropileno contendo 10, 20, 30 e 40% em massa de casca de arroz particulada e determinadas as propriedades físicas, mecânicas e morfológicas. Os resultados dos ensaios mostraram que a resistência à tração dos compósitos aumentou na medida em que a porcentagem de casca de arroz aumentou. O módulo em tração também aumentou com o aumento da quantidade de casca de arroz. Em relação ao ensaio de impacto, a resistência diminuiu com a adição da casca de arroz.

Na pesquisa de Surata *et al.* (2014), os resultados também apontaram que a resistência à tração e à flexão dos compósitos aumentaram quando a fração em massa de casca de arroz aumentou. Dimzoski *et al.* (2009b) observaram que a resistência à tração dos compósitos com 10, 20, 30 e 40% em massa de casca de arroz e polipropileno diminuiu devido à fragilidade do compósito. Considerando a dureza, os melhores resultados foram exibidos pelo compósito com 20% em massa de casca de arroz. Conforme os pesquisadores, a estabilidade térmica dos compósitos foi maior quando comparada ao polipropileno puro.

Chen *et al.* (2016) fabricaram compósitos de polietileno de alta densidade reciclado e de tereftalato de polietileno reciclado com 50, 60, 70 e 80% em massa de casca de arroz particulada. Eles analisaram as propriedades mecânicas (tração, flexão e impacto), térmicas (DSC e TGA), absorção de água e a morfologia dos materiais. Os resultados indicam que a inserção de casca de arroz nas matrizes influenciou significativamente as propriedades. Dessa forma, as resistências à tração e à flexão aumentaram com o aumento das cargas de enchimento com casca de arroz. A absorção de água e o inchamento em espessura de corpos de prova também aumentaram com o aumento do reforço. Os resultados da análise térmica, TGA e DSC, indicaram que ocorreu uma notável melhora na estabilidade térmica à medida que o teor de casca de arroz aumentou. À medida que o conteúdo de casca de arroz aumentou de 40 para 80% em massa, as propriedades de tração e flexão aumentaram notavelmente, no entanto, a resistência ao impacto diminuiu.

Comportamento semelhante ocorreu nos materiais desenvolvidos na pesquisa de Bilal *et al.* (2014), em que os resultados mostraram que, com um aumento no carregamento de compósitos com 15, 30, 40 e 50% em massa de casca de arroz particulada e polietileno de média densidade, as propriedades de tração e flexão dos compósitos aumentaram, enquanto que a resistência ao impacto diminuiu.

Na maioria dos estudos (Quadro 1) os compósitos foram desenvolvidos com casca de arroz particulada. Conforme Rozman *et al.* (2003) o tamanho da casca de arroz desempenhou um papel significativo nas propriedades, pois os compósitos processados com partículas menores resultaram em maior resistência à tração. Além disso, os pesquisadores verificaram que as propriedades mecânicas aumentaram à medida que a porcentagem de casca de arroz aumentou, contudo, depois de exceder um limiar, as propriedades começaram a diminuir.

Visando melhorar a adesão entre a casca de arroz e a matriz, em diversos estudos (Quadro 1), foram analisados os compósitos com casca de arroz que receberam tratamento superficial, sendo que o mais utilizado é o químico a base de NaOH. Rassiah *et al.* (2016) desenvolveram compósitos de polipropileno com casca de arroz particulada e os resultados indicaram que o compósito com casca de arroz tratada com NaOH apresentou melhores propriedades mecânicas em relação aos compósitos com a casca de arroz não tratada.

Lai *et al.* (2017) produziram compósitos a base de epóxi com 50, 60 e 70% em massa de casca de arroz particulada e compararam as propriedades de compósitos com tratamentos superficiais na casca de arroz: com soluções de NaOH e 3-Glicidoxipropil-Trimetoxi-Silano (GPS). Conforme os pesquisadores, uma concentração ótima de NaOH a 6% em massa ou GPS a 10% em massa foi encontrada com base no maior desempenho de propriedades mecânicas com 70% em massa de teor de casca de arroz. Isto foi atribuído ao aumento da rugosidade na superfície da casca de arroz após a modificação de NaOH e a interação de silano para aumentar a adesão interfacial no compósito. Os compósitos com melhor estabilidade térmica foram observados para os casos modificados com GPS. Em relação à absorção de água, os compósitos modificados por GPS conferiram o nível mais baixo de absorção em comparação com os compósitos não modificados e modificados com NaOH. A maioria dos compósitos foi processada por extrusão e os corpos de prova para os ensaios foram confeccionados por meio da moldagem por compressão ou por injeção (Quadro 1).

Em relação à caracterização dos compósitos, conforme pode ser observado no Quadro 2, foram realizadas caracterizações mecânica, térmica, física e morfológica. Entre essas, a caracterização mecânica é a mais abordada nas pesquisas, com os ensaios de tração, flexão, impacto e dureza seguindo, em geral, as normas especificadas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM).

Quadro 2: Ensaio e métodos utilizados para a caracterização de compósitos poliméricos com casca de arroz.

Caracterização dos compósitos				
Mecânica	Térmica	Física	Morfológica	Referência
Tração (ASTM D618), flexão (ASTM D790), impacto (Charpy) (ASTM D256)	-	Absorção de água (ASTM 570)	Microscopia eletrônica de varredura	Rozman <i>et al.</i> (2003)
Tração (ASTM D638), impacto (Izod) (ASTM D 256)	-		Microscopia eletrônica de varredura	Yang <i>et al.</i> (2004)
Flexão (ASTM D790), impacto (Izod) (ASTM D256)	-	-	-	Mustapa <i>et al.</i> (2005)
Tração, flexão, impacto (ASTM D256)	-	Absorção de água	Microscopia eletrônica de varredura	Razavi-Nouri <i>et al.</i> (2006)
Tração (ASTM D638), flexão (ASTM D790)	TGA	-	Microscopia eletrônica de varredura	Dimzoski <i>et al.</i> (2009a)
Tração, flexão e impacto (ASTM D638)	TGA	-	Microscopia eletrônica de varredura	Dimzoski <i>et al.</i> (2009b)
Tração (ASTM D638)	-	Absorção de água (ASTM D 1037)	Microscopia eletrônica de varredura	Rosa <i>et al.</i> (2009)
Tração, dureza	DSC		-	Sato <i>et al.</i> (2010)
Tração (ASTM D 638), flexão (ASTM D 790), impacto (charpy) (ASTM D 6110), dureza (dureza (Rockwell) (ASTM D78)	-	Absorção de água (ASTM D570)	Microscopia eletrônica de varredura	Rahman <i>et al.</i> (2010a)
Tração (ASTM D-638), flexão (ASTM D790) e impacto (Izod) (ASTM D256)	-	Ângulo de contato	Microscopia eletrônica de varredura	Fávaro <i>et al.</i> (2010)
Tração (ASTM D3039)	-	Absorção de água (ASTM D570)	Microscopia eletrônica de varredura	Hardinnawirda e Sitirabiatull (2012)
Tração (ISO 527), flexão (ISO178)	-	-	Microscopia eletrônica de varredura	Ndazi (2012)
Tração (ASTM D638)	-	Densidade	Microscopia eletrônica de varredura	Rahman <i>et al.</i> (2013)

Caracterização dos compósitos				
Mecânica	Térmica	Física	Morfológica	Referência
Tração (ASTM D3039) e flexão (ASTM D790)	-	-	-	Surata <i>et al.</i> (2014)
Tração (ASTM D3039), flexão (ASTM D790), impacto (Izod) (ASTM D256), dureza (Rockwell)	-	-	Microscopia eletrônica de varredura	Bisht e Gope (2015)
Tração (D638), impacto (ASTM D6110) e dureza (ASTM E384)	-	-	-	Rassiah <i>et al.</i> (2016)
Tração (ISO 527), flexão (ISO 178), impacto (ISSO 180)	DSC e TGA	-	Microscopia eletrônica de varredura	Azevedo <i>et al.</i> (2016)
Tração (ISO 527), flexão (ISO 178) e dureza (ISO 2039-1)	DSC e TGA	-	Microscopia eletrônica de varredura	Doan <i>et al.</i> (2016)
Tração (ASTM D 638), flexão (ASTM D 790), impacto (ASTM D 256)	DSC e TGA	Absorção de água (ASTM D570)	Microscopia eletrônica de varredura	Chen <i>et al.</i> (2016)
Tração e flexão	-	Densidade Teor de umidade Inchamento Absorção de água	-	Gryczak (2016)
Tração (ASTM D638), impacto (ASTM D 256), dureza (Shore-D)	-	-	Microscopia eletrônica de varredura	Prabu <i>et al.</i> (2017)
Tração (ASTM D 638), flexão (ASTM D790), impacto (Izod) (ASTM D256)	TGA	Absorção de água	Microscopia eletrônica de varredura	Lai <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autora.

Em alguns trabalhos (Quadro 2) além das propriedades mecânicas foram verificadas as propriedades térmicas dos compósitos com casca de arroz. Os métodos utilizados foram: DSC e TGA. Em relação às propriedades físicas, em vários trabalhos foi realizado o ensaio de absorção de água e verificada a densidade dos materiais. Conforme Alvarez *et al.* (2004), o grau de absorção de água de compósitos poliméricos depende da polaridade do polímero, da habilidade em desenvolver ligação de hidrogênio, da cristalinidade (termoplásticos), do grau de entrecruzamentos (termorrígidos) e a outros fatores ligados ao processamento do material.

Conforme Sreekala *et al.* (2002), a umidade é absorvida nos compósitos por dissolução da água na estrutura polimérica, no volume livre de estruturas termorrígidas e por ligação de hidrogênio entre a água e os grupos hidrofílicos dos constituintes do compósito. Aumentos na temperatura também podem resultar no aumento do volume livre entre as moléculas, permitindo que o polímero absorva mais água. Assim, à medida que a temperatura sobe em um ambiente de umidade, microfissuras na superfície e na maior parte do material se desenvolvem, levando ao descascamento e à dissolução da superfície do compósito (JOSEPH *et al.*, 2002). Além disso, as microtrincas existentes na superfície dos compósitos podem ser responsáveis pelo transporte da água, bem como servir de alojamento para a mesma. A morfologia da superfície dos compósitos submetidos à absorção de umidade é diferente da dos compósitos secos em termos de vazios, porosidade, inchaço (ATHIJAYAMANI *et al.*, 2009). A maior absorção de umidade aumenta a facilidade de ataque microbiano, assim, às atividades biológicas como o crescimento dos fungos podem degradar as fibras vegetais (JOSEPH *et al.*, 2002).

O MEV foi utilizado na maioria das pesquisas (Quadro 2), essa técnica foi empregada para observar a superfície da casca de arroz, principalmente em trabalhos em que feito o tratamento superficial na casca de arroz (Quadro 1), assim, foi possível avaliar a eficácia dos tratamentos empregados. Além disso, o MEV foi amplamente utilizado para analisar a superfície de fratura dos corpos de prova que passaram pelo ensaio de tração. Com isso, é possível observar a adesão entre o reforço e a matriz, vazios, concentração de fibras, que influenciam o desempenho mecânico dos compósitos (AQUINO; ANDRADE, 1999).

No Quadro 3 são apresentados os resultados de algumas pesquisas sobre a caracterização mecânica de compósitos com casca de arroz.

Quadro 3: Propriedades mecânicas de compósitos poliméricos com casca de arroz.

Material (% em massa de reforço)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Deformação na ruptura (%)	Referência
Policloreto de vinila	48.80	1534.01	5.68	Rahman <i>et al.</i> (2013)
Policloreto de vinila reciclado e casca de arroz particulada (60 µm)	17.93	1280.34	1.92	
Policloreto de vinila reciclado e casca de arroz particulada (80 µm)	18.39	1313.36	1.85	
Policloreto de vinila reciclado e casca de arroz particulada (100 µm)	21.48	1344.88	2.29	
Poliéster	18.22	1130	1.60	Surata <i>et al.</i> (2014)
Poliéster e casca de arroz (20 %)	32.53	2660	1.22	
Poliéster e casca de arroz (30 %)	36.26	3230	1.12	
Poliéster e casca de arroz (40 %)	41.06	4100	1.00	
Poliéster e casca de arroz (50 %)	46.40	5090	0.91	
Polipropileno	32	952	12	Rosa (2007)
Polipropileno e casca de arroz (10 %)	22	1019	4	
Polipropileno e casca de arroz (20 %)	19	1069	4	
Polipropileno e casca de arroz (30 %)	17	1511	3	
Polipropileno e casca de arroz (40 %)	16	1686	2	
PLA e casca de arroz (40 %)	25.3	1467	1.9	Rosa (2007)
Polipropileno	33.3	1013	621.1	Dimzoski <i>et al.</i> (2009b)
Polipropileno e casca de arroz (20 %)	21.5	1548	4	
Polipropileno e casca de arroz (30 %)	18.6	1690	3.5	

Fonte: Autora.

No quadro 3 podem ser visualizados os valores das propriedades mecânicas de polímeros (matriz) e compósitos com diferentes quantidades de casca de arroz, e diversos tamanhos de casca de arroz particulada. Pode-se observar que nos compósitos com matriz de poli (cloreto de vinila) a resistência à tração diminuiu com a inserção do reforço, já o módulo de elasticidade não teve uma queda acentuada. Nos compósitos com poliéster houve o aumento tanto da resistência à tração quanto do módulo de elasticidade com o aumento do teor de casca de arroz. Com a matriz de polipropileno ocorreu uma queda na resistência a tração, mas o módulo de elasticidade aumentou.

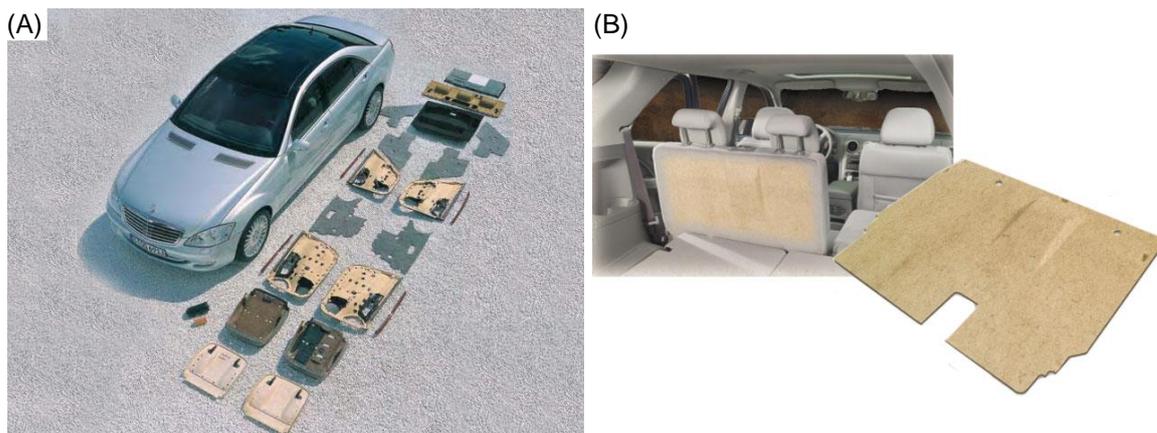
Portanto, constatou-se que a comunidade científica está investigando o desenvolvimento e a caracterização de compósitos com casca de arroz. Por fim, verificou-se que as propriedades dos compósitos dependem do tipo de matriz empregada, do tamanho da partícula de casca de arroz, do tratamento superficial empregado na casca de arroz, e no tipo de processamento dos compósitos.

2.2.6 Emprego de compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos no design de produto

De acordo com Castro (2013) a indústria automobilística tem sido o principal setor que faz uso de compósitos com fibras vegetais por motivos de custo e redução de peso. Bedin (2014) comenta que esses materiais estão sendo empregados em diversas partes de veículos, como: em peças de acabamento, painéis de portas, assentos, encostos e revestimentos da cabine, visando melhorias relacionadas à vibração e resistência ao impacto. Esses componentes são produzidos com compósitos à base de poliéster ou polipropileno e fibras vegetais como linho, cânhamo ou sisal.

Os fabricantes de automóveis alemães, como Mercedes, BMW, Audi e Volkswagen utilizam os compósitos com fibras vegetais para aplicações no interior dos veículos. O primeiro exemplo comercial é o painel de porta interior da Mercedes-Benz S-Class (1999), fabricado na Alemanha, com 65% de uma mistura de linho, cânhamo e sisal e 35% de elastômero semirrígido (poliuretano) fabricado pela empresa Bayer (Figura 16) (BAVAN; KUMAR, 2010).

Figura 16: A) Partes internas de veículos fabricadas em compósitos com fibras vegetais, B) Painel para assentos.



Fonte: Global Hemp (2011).

Observam-se, na Figura 16, que as partes do veículo produzidas com compósitos de fibra vegetal possuem formas com diversos relevos, reentrâncias e recortes, necessários para a aplicação em portas, assentos, encosto e outros. Em relação à cor, os compósitos possuem tonalidade marrom claro devido à presença das fibras vegetais, que possuem coloração nessa tonalidade, e as resinas empregadas serem transparentes tornando as fibras visíveis.

Outra empresa que fabrica partes internas de veículos é a UFP Technologies, situada nos Estados Unidos. A empresa projeta e fabrica painéis de portas, apoios de assento, e outros componentes, usando compósitos de fibra vegetal (Figura 17). O painel da Figura 17 foi produzido utilizando compósitos com 50% de polipropileno e 50% em fibra de cânhamo (UFP TECHNOLOGIES, 2017). Esse painel possui características estéticas semelhantes as das peças produzidas em compósito de fibra vegetal pela Mercedes, como a estrutura, forma, acabamento e cor.

Figura 17: Painel de porta em compósito com fibra de cânhamo.

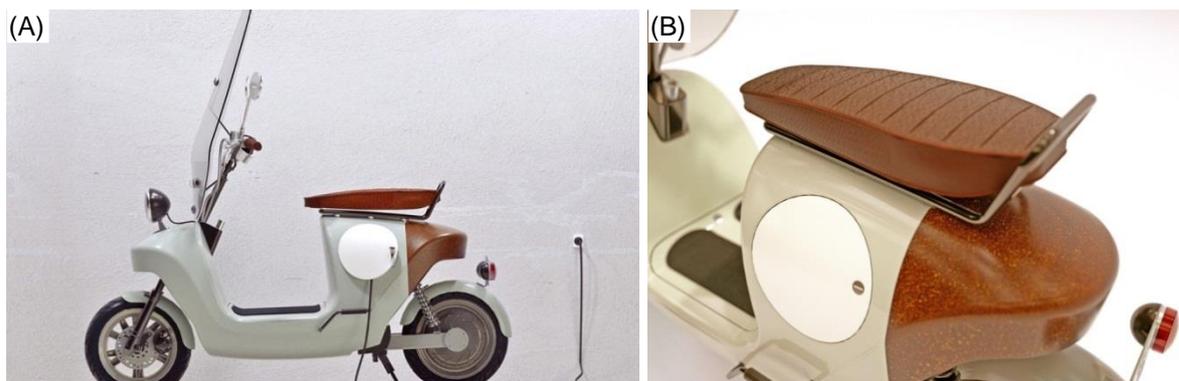


Fonte: UFP Technologies (2017).

No Brasil, compósitos com fibras de curauá, juta e malva têm sido utilizados na indústria automotiva desde o início da década de 2000 em automóveis da Volkswagen, como nos modelos Polo, Fox e Gol. Os compósitos têm sido empregados principalmente no teto (Polo), na parte interna das portas e na tampa do compartimento de bagagens (Polo, Fox e Gol) (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2012). Dessa forma é possível perceber que compósitos com fibras vegetais têm sido empregados em larga escala em veículos que estão entre os mais vendidos no Brasil (FENABRAVE, 2012).

Ainda no setor de transporte, a motocicleta elétrica do tipo “scooter” chamada de “Van.Eko Be.e”, que pode ser visualizada na Figura 18, foi desenvolvida na Universidade de Ciências Aplicadas Inholland, da Holanda, em parceria com o estúdio de design Waarmaker. A carenagem da motocicleta é fabricada com compósito de cânhamo e linho (VANEKO, 2017).

Figura 18: A) Motocicleta produzida em compósito com fibra de cânhamo e linho, B) Detalhe da motocicleta.



Fonte: Vaneko (2017).

As aplicações dos compósitos com fibras vegetais no setor automotivo indicam que esse tipo de material pode ser utilizado em diferentes componentes, como no interior de veículos e até mesmo na estrutura de motocicletas. Em relação aos atributos estéticos, as fibras aparentes, denotam um aspecto que remete ao natural e ao rústico. Na motocicleta, parte da peça fabricada em compósito com fibra vegetal está aparente no produto, valorizando ainda mais a aplicação do compósito com fibras vegetais.

No setor de móveis também estão sendo fabricados produtos com compósitos de fibras vegetais. Como é o caso da cadeira criada pelo designer alemão Werner Aisslinger, “Hemp Chair”, em parceria com a BASF (Figura 19). A cadeira foi projetada em monobloco e fabricada a partir de moldagem por compressão com 70% de fibra de cânhamo e uma resina à base de água da BASF (AISSLINGER, 2012).

Figura 19: A) Cadeira produzida em compósito com fibra de cânhamo na cor natural, B) Cadeiras coloridas.



Fonte: Aisslinger (2012).

A moldagem por compressão permitiu a cadeira formas curvas na lateral e reentrâncias em seu corpo. As cadeiras são fabricadas em várias cores, além da versão natural, em que prevalece a tonalidade das fibras (marrom), são produzidas nas cores azul, verde e amarelo. Assim, o compósito de fibra de cânhamo, utilizado para a fabricação desta cadeira, pode receber cor, o que muda a aparência estética do produto, fazendo com que na versão colorida da cadeira as fibras não estejam tão visíveis.

A cadeira chamada de “Odger Chair”, também fabricada com compósito de fibra vegetal, foi projetada na Suécia e produzida a partir de uma mistura de 70% de polipropileno e 30% de aparas de madeira, pelo processo de moldagem por injeção (IKEA, 2017). Conforme pode ser observada na Figura 20, a moldagem por injeção permitiu a confecção do corpo da cadeira, assento e encosto, em um único componente com forma curvilínea na lateral e os cantos arredondados. A estrutura das pernas também foi fabricada em compósito de fibra vegetal. O produto possui aparência amadeirada, na cor marrom, pois, a resina empregada no compósito é transparente e torna as aparas da madeira visíveis.

Figura 20: A) Cadeira em compósito com aparas de madeira, B) Partes da cadeira.



Fonte: Ikea (2017).

Compósito com fibra vegetal também foi empregado no projeto de uma cadeira empilhável chamada de “Zartan Basic”, desenvolvido por Philippe Starck e Eugeni Quille (Figura 21). O assento e o encosto fazem parte de um único componente produzido com compósito e fixado na estrutura das pernas da cadeira. O mobiliário foi fabricado em duas versões, com polipropileno reciclado e juta, e com a mesma matriz e cânhamo, por moldagem por compressão (STARCK, 2012).

Figura 21: A) Cadeira em compósito com juta, B) Cadeira em compósito com cânhamo.



Fonte: Starck (2012).

Essas cadeiras possuem estrutura parecida com a anterior (“Ikea Chair”), ou seja, com o assento e encosto fabricados em um único componente, com forma curvilínea na lateral, no entanto, a estrutura das pernas da “Zartan Basic” não é

produzida em compósito. A cadeira é fabricada em duas versões, a versão de compósito com fibra de juta e a outra com fibra de cânhamo, o que resultou em aparências diferentes. Aquela, com cor mais clara, próximo do bege, e com a textura das fibras visíveis, esta com coloração mais escura, em marrom, com manchas na superfície resultando em um aspecto mais rústico do que a outra.

Outra cadeira, chamada de “Flax Chair”, desenvolvida na Suécia, foi fabricada em compósito a base de PLA e fibras de linho (Figura 22) (MEINDERTSMA, 2017). O PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, sintetizado a partir do ácido láctico que é proveniente de fontes renováveis que contenham amido ou açúcar, como: milho, trigo, cana-de-açúcar, beterraba e batata (RUDNIK, 2008).

Figura 22: A) Cadeira produzida em compósito com linho, B) Detalhe frontal da cadeira, C) Detalhe posterior da cadeira e D) Fibras utilizadas na fabricação da cadeira e placa de compósito com recorte do corpo da cadeira.

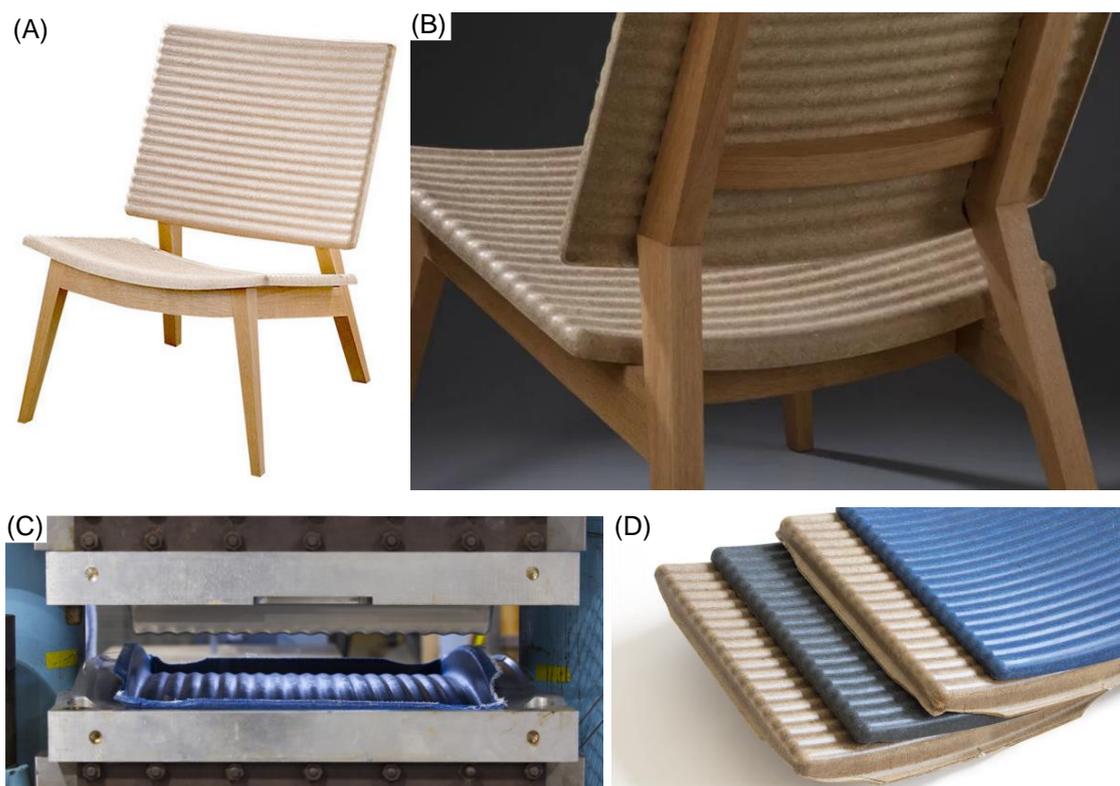


Fonte: Meindersma (2017).

A cadeira “Flax Chair” também possui estrutura semelhante a da “Ikea Chair” e da “Zartan Basic”, com assento e encosto produzidos em uma única peça com forma curvilínea na lateral. A cor marrom claro é o resultado da combinação das fibras de linho com o PLA. Pode-se observar que a textura do tecido de fibra da parte frontal do corpo da cadeira apresenta-se mais refinada, diferente da parte posterior, com textura rústica.

Nos Estados Unidos, a cadeira chamada “BASF Hemp Chair” foi fabricada com compósito à base de cânhamo e resina acrílica da BASF à base de água, por meio da moldagem por compressão em um molde de alumínio, conforme pode ser observado na Figura 23 (FULCRUM, 2017). O compósito foi aplicado no assento e no encosto da cadeira, pode-se observar que a forma dos componentes possuem ondulações na superfície, e o acabamento aparentemente é igual na parte frontal e posterior dos componentes. O assento e o encosto são produzidos com compósito em diferentes cores: marrom claro (cor natural das fibras), e em duas tonalidades de azul.

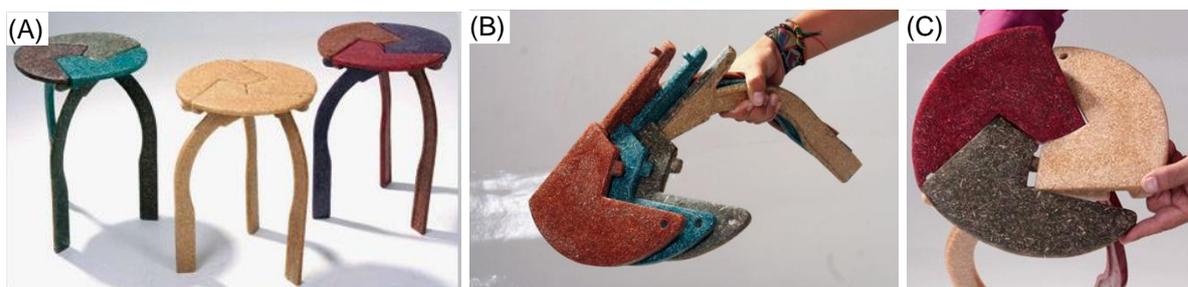
Figura 23: A) Cadeira em compósito com cânhamo, B) Detalhe posterior da cadeira, C) Moldagem dos componentes da cadeira e D) Componentes em várias cores.



Fonte: Fulcrum (2017).

O banco “Puzzle” foi desenvolvido na Universidade de Nariño, situada na Colômbia, com compósito a base da fibra vegetal *Stromanthera Ihutea* e poliéster. O banco é formado por três peças encaixáveis, podendo ser montado e desmontando, para facilitar o armazenamento, como pode ser visualizado na Figura 24 (MARVELBUILDING, 2015).

Figura 24: A) Bancos em compósito com fibra de *Stromanthera Ihutea*, B) Banco desmontado e C) Montagem do banco.



Fonte: Marvelbuilding (2015).

A forma do banco remete ao jogo “quebra-cabeça”, em que as peças são encaixadas para formar o objeto. Todas as peças que compõe o banco possuem a mesma forma, com superfície retilínea e as pernas em formato curvo. As peças que compõem o banco são fabricadas em diferentes cores, bege (a cor natural das fibras vegetais), vermelho, verde, roxo e marrom. Mesmo com a pigmentação ainda é possível observar a textura das fibras.

Logo, os móveis fabricados em compósito com fibras vegetais, como cadeiras e bancos, são fabricados com diferentes tipos de materiais (fibras vegetais e resinas) e processos de fabricação, o que resultam em características estéticas semelhantes. A configuração estética natural e rústica, proporcionada pela textura das fibras aparentes e pela coloração na tonalidade marrom também das fibras vegetais, está presente na maioria dos produtos, mesmo nas versões com pigmentação colorida observa-se a textura das fibras. Os compósitos com fibras vegetais possuem estética semelhante a da madeira, que é um material bastante utilizado na produção de móveis, por possuírem cor marrom e a textura das fibras aparentes.

A empresa brasileira Coza criou uma linha de produtos fabricada a partir de compósito de polipropileno e fibras de madeira, por meio da moldagem por injeção.

Fazem parte da linha de produtos, bandejas, potes, organizadores e outros utensílios domésticos, como pode ser observado na Figura 25 (COZA, 2006). A forma dos produtos são bastante variadas: curvas, retas e vazadas. A cor dos produtos prevalece a da madeira, em tom marrom, e na superfície é possível visualizar as partículas da madeira.

Figura 25: A) e B) Utensílios domésticos fabricados em compósito com fibras de madeira, C) Detalhe do produto.



Fonte: Coza (2006).

A empresa finlandesa Kupilka criou utensílios domésticos (copos, tigelas e talheres) em compósito constituído por 50% de polipropileno e 50% de fibra de madeira, conforme podem ser observados na Figura 26. A combinação do polipropileno com as fibras de madeira produziu uma estética que remete ao rústico, com superfície em diferentes tons de marrom na forma de manchas. Os produtos são fabricados na cor natural do compósito e com pigmentação nas cores verde, vermelha, amarela e cinza.

Figura 26: A) e B) Utensílios domésticos em compósito com fibra de madeira, C) Utensílios coloridos.



Fonte: Kupilka (2017).

Assim, como nos móveis e nas aplicações do setor de transporte, nos utensílios domésticos também é visível a estética que remete ao natural e ao rústico, atribuída aos produtos desse setor. Essa estética é inovadora para esse tipo de produto, pois em geral, utensílios domésticos são fabricados com materiais como cerâmica, vidro, metal e polímero.

Na área da moda também estão sendo utilizados os compósitos com fibras vegetais. Os óculos produzidos artesanalmente pela empresa Hemp Eyewear, no Reino Unido, são constituídos por um compósito com fibras de cânhamo e linho (Figura 27). A estrutura dos óculos é confeccionada pelo processo de moldagem por compressão, em compósito à base de fibra vegetal (HEMPEYERWEAR, 2017).

Figura 27: Óculos em compósito com fibra de cânhamo e linho, B) Detalhe dos óculos e C) Processo de fabricação.



Fonte: Hempeyewear (2017).

A cor dos óculos é o resultado da combinação das fibras de cânhamo e linho com a resina, resultando na coloração marrom escuro. Na superfície dos óculos pode-se perceber a textura das fibras vegetais, que estão aparentes. O emprego de compósitos com fibras vegetais em óculos de sol é uma inovação, pois os materiais utilizados nesses produtos, em geral, são polímeros e metais.

No setor esportivo estão sendo desenvolvidos protótipos com compósitos à base de fibras vegetais. Como é o caso do selim projetado pela empresa suíça Bcomp em compósito de tecido de linho e epóxi (BCOMP, 2015), como pode ser observado na Figura 28.

Figura 28: Protótipo de selim produzido em compósito com fibra de linho.



Fonte: Bcomp (2015).

Conforme pode ser visualizado na Figura 28, o selim possui aparência de madeira com coloração marrom e textura do tecido de linho. A estética proporcionada pelo compósito, com acabamento amadeirado é inovadora para produtos esportivos, pois, em geral, esse tipo de produto é fabricado em metal e polímero.

Outro protótipo desenvolvido na área esportiva são as pás para remo, conforme podem ser observadas na Figura 29. O protótipo foi produzido pela empresa britânica VE Paddles, em compósito híbrido à base de fibra de linho e fibra de vidro (VEPADDLES, 2013).

Figura 29: A) e B) Protótipo de pás de remo em compósito híbrido com fibra de linho e fibra de vidro, C) Detalhe da pá.



Fonte: Vepaddles (2013).

O compósito foi empregado nas pás sem acabamento que encubra o material, como pintura, por exemplo. Nas pás há somente a inscrição da marca na superfície em cor clara, que contrasta com o marrom escuro resultante da combinação das fibras de linho, de vidro e com a matriz.

A empresa de instrumentos musicais da Califórnia, Blackbird, desenvolveu um violão com a estrutura fabricada em compósito à base de tecido de linho e bio-resina, como pode ser visualizado na Figura 30. O compósito é desenvolvido pela empresa Lingrove, que produz pré-impregnados com tecido de fibra vegetal que podem ser processados através de moldagem por compressão, moldagem por transferência de resina, e disposição manual (BLACKBIRD, 2017). A forma do violão é composta por uma superfície reta com recortes com formas curvas. A cor predominante do violão é a da fibra, na tonalidade marrom, na superfície do material a textura do tecido da fibra de linho está visível.

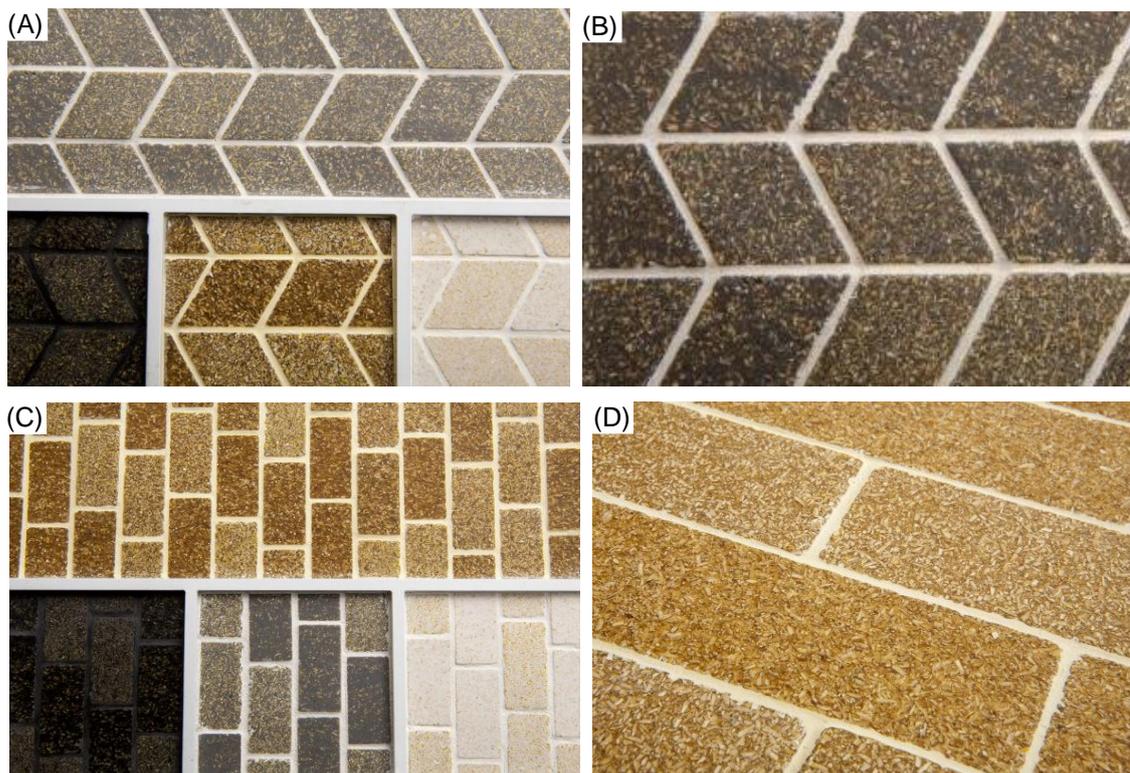
Figura 30: A) e B) Violão em compósito com fibra de linho e C) Detalhe do violão.



Fonte: Blackbird (2017).

A empresa Sonite, localizada na Tailândia, trabalha com design de superfície e de interiores, fabricando seus produtos a partir de materiais alternativos. O revestimento desenvolvido pela empresa, como pode ser visualizado na Figura 31 é fabricado com compósito de casca de arroz. O revestimento é produzido com mosaicos em quatro tonalidades de marrom, adequado para residências verdes, restaurantes, cafeterias, spas e cafés (SONITE, 2016). Observa-se que a casca de arroz encontra-se visível em todas as versões do produto.

Figura 31: A) e C) Revestimento em compósito com casca de arroz, B) e D) Detalhes dos revestimentos.



Fonte: Sonite (2016).

Portanto, constatou-se que os compósitos com materiais lignocelulósicos estão sendo aplicados nos setores da indústria de transporte, mobiliário, utensílios domésticos, moda, esporte, instrumento musical, design de superfície e de interiores. A produção de produtos com esses materiais é recente, exceto, na indústria automobilística, que foi a pioneira a empregar esse tipo de material.

Na maioria dos produtos, devido à transparência da resina utilizada como matriz, os materiais lignocelulósicos estão visíveis, e não são utilizados acabamentos que os encubram, como tintas e laminados empregados em outros materiais, valorizando, assim, o material lignocelulósico. Em geral, os produtos são comercializados na cor natural do compósito, com tonalidade marrom. Dessa forma, a aparência dos produtos possui apelo estético que remete ao rústico e ao natural.

2.3 Degradação de polímeros e compósitos poliméricos

A degradação de materiais poliméricos é definida como qualquer reação química que pode ser causada por agentes físicos e/ou químicos. Essa reação pode causar uma modificação que pode ser irreversível nas propriedades do material, como: na resistência mecânica, na dureza, na flexibilidade, no aspecto visual e outras (DE PAOLI, 2008). Geralmente, as reações de degradação em polímeros são indesejáveis, no entanto, em alguns casos, podem representar uma alternativa para o gerenciamento de resíduos, como por exemplo, em embalagens de curta duração, fraldas, sacolas, sacos de lixo (GRASSIE, 1985).

Alterações geradas em polímeros pela degradação podem ser permanentes ou temporárias. Ocorrem por meio de reações químicas que são iniciadas por diferentes tipos de agentes e podem gerar alterações intra ou intermoleculares. Esse rompimento gera espécies reativas, em geral, radicais livres, que serão responsáveis pela propagação do processo de degradação (CLOUGH, 1988).

De Paoli (2008) classificou a degradação de polímeros pelo tipo de reação química e pelo processo de iniciação. Assim, a classificação pelo tipo de reação química é abordada da seguinte forma:

- **Cisão:** ocorre quando a energia localizada em uma determinada ligação química é superior, implicando no rompimento aleatório das ligações da cadeia principal ou lateral, o que resulta na diminuição da massa molar do polímero, o que pode ocasionar na variação das propriedades mecânicas. O processo de cisão de cadeias resulta em sólidos mais dúcteis e em líquidos menos viscosos (MELO, 2004; DE PAOLI, 2008).
- **Reticulação:** consiste na formação de ligações cruzadas (processo em que duas cadeias poliméricas unem-se através de uma ligação covalente) devido às reações dos radicais livres na matriz polimérica, o que também resulta em uma variação nas propriedades, como: o aumento da massa molecular do polímero, da temperatura de fusão, modificação da resistência à tração, e a diminuição da solubilidade e do alongamento do polímero (FERREIRA, 2007).
- **Despolimerização:** pode ser considerado como o reverso do processo de polimerização, gerando como produto principal o monômero que originou o polímero específico que está degradando. Assim, ocorre com polímeros que

possuem substituintes em um dos carbonos das unidades monoméricas repetitivas (KELEN, 1983; CANEVAROLO, 2006).

- Oxidação: consiste no processo de degradação que corresponde à reação do polímero com o oxigênio, ocorre, principalmente, na superfície do polímero e em menor escala em seu interior. É uma reação lenta a temperatura ambiente, contudo, é acelerada em altas temperaturas pela maior difusão do oxigênio. Essa reação gera produtos carbonilados, que possuem coloração amarelada e são responsáveis pela alteração da cor do polímero (CANEVAROLO, 2006; DE PAOLI, 2008).

A classificação das degradações com base no processo de iniciação das reações químicas é abordada da seguinte forma por De Paoli (2008):

- Térmica: depende basicamente da ação do calor, ocorrendo em temperaturas superiores as suportadas pelas estruturas poliméricas, o que pode induzir mudanças químicas no polímero. A temperatura de degradação térmica do polímero dependerá da magnitude da energia das ligações químicas que o constitui, assim, essa energia dependerá, por exemplo, do número de ramificações, do tipo de substituintes ao longo da cadeia polimérica, e outros. A degradação térmica, de maneira geral, pode acarretar em reações de despolimerização e cisão aleatória das cadeias (CANEVAROLO, 2006; SINGH; SHARMA, 2008).
- Mecânica: pode ocorrer devido a uma tensão, compressão ou força de cisalhamento. Essas forças podem ser causadas por diversos fatores, como: o envelhecimento provocado por cargas, turbulência de ar e água, neve, pressão e outros. Frequentemente, os fatores mecânicos não são predominantes no processo de degradação, no entanto, as tensões mecânicas podem ativá-lo ou acelerá-lo, assim, em condições externas, essas tensões podem agir em sinergia com outros fatores (temperatura, radiação ultravioleta e outros) (VASILE; SEYMOUR, 1993; SINGH; SHARMA, 2008; BRIASSOULIS, 2007; ALBERTSSON; KARLSSON, 2003).
- Fotodegradação: causada pela exposição do polímero a radiações de baixa energia como a radiação ultravioleta, micro-ondas, e outras. Esse tipo de degradação depende da existência de um grupo cromóforo (molécula

responsável pela cor) no polímero. É possível determinar a fotodegradação por meio da propriedade de absorção de luz do polímero (fração da luz incidente que o polímero é capaz de absorver) e pela interação da luz absorvida com a cadeia polimérica quanto à energia de suas ligações químicas (GONZÁLEZ; VELEVA, 2004).

- **Radiação de alta energia:** ocorre quando átomos da matéria são excitados e ionizados pela exposição do polímero a uma radiação que possui um nível de energia quântica ou cinética mais elevada que a energia de ligação atômica. As modificações químicas que são mais evidentes em polímeros pela ação da radiação de alta energia são a formação de produtos voláteis de baixa massa molar, formação de ligações duplas C=C conjugadas ou não, quebra da cadeia principal ou reticulação (DE PAOLI, 2008).
- **Química:** ocorre quando o polímero é exposto a um agente químico agressivo específico, como a exposição a bases, ácidos, gases, ar, que podem atacar as funções estruturais básicas dos polímeros, ocasionando quebra de cadeia e oxidação. O ataque químico pode ocorrer por agentes externos, como óleos lubrificantes ou por agentes químicos internos ao polímero, como resíduos de catalizador ou aditivos (DE PAOLI, 2008).
- **Stress-cracking:** consiste no fissuramento do polímero em decorrência do contato deste com um meio fluído simultaneamente com a tensão mecânica. O fluído pode ser tinta, adesivo, agente de limpeza, aerosol, lubrificante, óleo vegetal e até mesmo alimentos. O mecanismo de falha por *stress-cracking* baseia-se na suposição de que o fluído ativo, na presença de tensões mecânicas internas ou externas, penetra em algum defeito microscópico, plastificando localmente o polímero, resultando na formação de *crazing* (microfibrilamento), com imediato desenvolvimento de trincas que propagam até a fratura catastrófica. Esse fenômeno tem sido uma das causas mais comuns de falha prematura em produtos plásticos, sendo responsável por aproximadamente 25% dos casos (TEÓFILO *et al.*, 2009; WRIGHT, 1996).
- **Biológica:** também chamada de biodegradação, consiste no ataque enzimático ao polímero por microorganismos, como bactérias e fungos, e ocorre inicialmente na superfície dos materiais. A existência de água pode acelerar o processo de biodegradação, já que os microorganismos dependem da água para sua sobrevivência (VASILE; SEYMOUR, 1993).

- Hidrolítica: nesse processo a quebra das cadeias pode ocorrer em polímeros que contêm grupos funcionais sensíveis a presença de água. Diante disso, pode-se citar o processo de desesterificação (DE PAOLI, 2008).

2.3.1 Degradação de compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos

O intemperismo pode provocar degradação nos materiais influenciada por fatores como umidade, temperatura e radiação ultravioleta. A avaliação dos efeitos do intemperismo de compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos é importante para verificar a degradação causada nesses materiais, principalmente, se serão utilizados em aplicações de uso externo (AZWA *et al.*, 2013).

A degradação do polímero (matriz) e de materiais lignocelulósicos (reforço) pode repercutir em diversas mudanças nos compósitos. Em relação aos compósitos poliméricos com fibras vegetais Shokrieh e Bayat (2007) citam as principais características resultantes dos processos de degradação: o amarelamento da superfície, a perda de brilho com mudança de cor, a perda de translucidez, o fissuramento, o afloramento de fibras devido ao desgaste da matriz polimérica e a perda das propriedades mecânicas dos compósitos. Essas características são resultantes de processos de degradação que podem ocorrer na matriz polimérica, no reforço ou no sistema como um todo (GRASSIE, 1985).

Em matrizes poliméricas a degradação pela ação do intemperismo, como a exposição à radiação ultravioleta e à água, pode ocorrer por meio de alguns mecanismos de foto-oxidação como: a formação de radicais livres, cisão de cadeia, ocorrência de fragilização e alteração de cor. Já nas fibras vegetais os mecanismos de degradação podem ocorrer devido à absorção de radiação ultravioleta pela lignina, formação de estruturas quinoidais que ocorrem na lignina e reações de foto-amarelecimento (CAMARGO, 2006).

Os componentes lignocelulósicos das fibras vegetais possuem diferentes formas de responder aos meios de degradação. A celulose é responsável pela resistência mecânica das fibras, a hemicelulose pela degradação térmica, biológica e hídrica, e à lignina pela degradação por meio da radiação ultravioleta (RODRIGUES, 2007). Assim, em comparação a lignina, a celulose é muito menos

suscetível à degradação por radiação ultravioleta, em contrapartida, a hemicelulose e a celulose são mais suscetíveis a degradação por altas temperaturas (MOHANTY *et al.*, 2000).

As fibras vegetais são de natureza hidrofílica, assim o contato com a água pode causar danos nos compósitos. As moléculas de água absorvidas pelas fibras podem atuar como plastificantes agindo nas fibras, na matriz e na interface, simultaneamente. Com isso, pode ocorrer descolamento na interface fibra/matriz pela criação de bolsas de pressão osmótica na superfície da fibra devido ao lixiviamento de substâncias solúveis em água. Desse modo, a degradação do compósito ocorre não apenas pela degradação dos constituintes individuais, ou seja, matriz e reforço, mas também pela perda de interação entre eles. Assim, a umidade pode causar a diminuição das propriedades mecânicas e ainda expor o compósito ao ataque de fungos e bactérias (TWE; LIAO, 2003). Com isso, os compósitos constituídos por fibras vegetais possuem maior risco de degradação quando submetidos a aplicações externas em comparação com compósitos com fibras sintéticas (AZWA *et al.*, 2013).

Na literatura existem diversos trabalhos que abordam os efeitos do intemperismo em compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos. Esses estudos concentram-se, principalmente, em compósitos com fibras de madeira, os chamados *Wood plastic composites* (WPC), pois esse tipo de investigação é de extrema importância para esse tipo de material já que as principais aplicações são de uso externo, como decks, tapumes, grades, cercas, janelas, telhas, caixilhos de portas e outras estruturas expostas externamente (MANTIA; MORREALE, 2008; PENG *et al.*, 2014; SOCCALINGAME *et al.*, 2015; FILSON *et al.*, 2009; YANG *et al.*, 2015).

Entre os pesquisadores que estudaram os efeitos do intemperismo em WPC, é consenso que as reações de oxidação devido a altas temperaturas ou radiação ultravioleta, o inchaço das partículas devido à alta umidade no ambiente e a fraca adesão entre o polímero e as fibras, são as principais causas de alteração das propriedades mecânicas e do aspecto visual dos materiais. A radiação ultravioleta induz a foto-oxidação principalmente da lignina, que é mais sensível ao componente de luz ultravioleta presente nas farinhas de madeira devido à presença de grupos

cromóforos em sua estrutura, que está ligada ao branqueamento da superfície da fibra (STARK; MUELLER, 2008).

No trabalho de Badji *et al.* (2018), o objetivo foi compreender os efeitos de dois tipos de intemperismo, o artificial e o natural, nas propriedades mecânicas, no aspecto visual, na topografia de superfície e na microestrutura de compósitos de polipropileno reforçados com farinha de madeira a 10 e 30% em massa. Como resultado, o desempenho mecânico diminuiu sob a exposição à radiação ultravioleta. Essa degradação de desempenho acompanha importantes mudanças no aspecto visual, na medida em que o envelhecimento induziu a um branqueamento superficial e a numerosas microfissuras. A lixiviação na superfície induziu a rugosidade e a perda de brilho. Os autores concluíram que as propriedades mecânicas foram mais afetadas pelo intemperismo natural do que pelo artificial.

Além dos compósitos com fibra de madeira, estudos sobre o efeito do intemperismo natural também foram realizados em compósitos com outros tipos de fibras lignocelulósicas, como na pesquisa realizada por Affzan *et al.* (2013). Os autores investigaram os efeitos da exposição ao intemperismo natural de compósito com matriz de poliéster insaturado reforçado com 70% em massa de fibras de kenaf. Após algumas semanas do ensaio, os corpos de prova evidenciaram a degradação e a descoloração. Posteriormente, ensaios de compressão e flexão foram realizados com o objetivo de determinar as propriedades mecânicas após a exposição. Os pesquisadores observaram que ocorreu a redução significativa do valor dessas propriedades, o que pode ter sido ocasionada pelo repetido processo de aquecimento solar e a umidade da chuva e do orvalho, que podem ter levado ao descolamento da fibra e enfraquecimento da interface da fibra e da matriz do compósito.

O estudo realizado por Silva *et al.* (2017) teve como objetivo a investigação do impacto do envelhecimento natural nas propriedades mecânicas, físicas, térmicas e morfológicas de compósitos de polipropileno e etileno acetato de vinila com 30% em massa de partículas de madeira. Os corpos de prova foram expostos ao intemperismo natural por 12 meses em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Os resultados indicaram que as condições climáticas afetaram as características colorimétricas e morfológicas dos compósitos, indicando que não houve apenas fotodegradação, mas também degradação termo-oxidativa e hidrolítica. Desta forma, os

autores sugerem utilizar aditivos antioxidantes e foto-absorventes de radiação ultravioleta para evitar o *stress-cracking*, descoloração e perda das propriedades mecânicas.

Na pesquisa realizada por Silva (2014) foi estudado o intemperismo natural de compósitos de polipropileno com 2% em massa de anidrido maleico e com 20% em massa de fibras de curauá. O intemperismo natural por 12 meses foi conduzido em Santo André, São Paulo (maior índice de poluição atmosférica) e Campinas, São Paulo (maior índice de radiação ultravioleta) com o objetivo de verificar a influência das duas regiões. A degradação dos compósitos foi avaliada através do índice de carbonila, propriedades mecânicas (tração e flexão) e MEV. O pesquisador observou que a degradação ambiental foi evidenciada pelo aumento do índice de carbonila, formação de fissuras superficiais e branqueamento do material. Ainda, os resultados evidenciaram que a intensidade de irradiação ultravioleta apresentou maior influência nas propriedades do compósito quando comparada aos poluentes atmosféricos, no processo de degradação.

Portanto, conforme demonstram os trabalhos citados, a exposição ao intemperismo pode alterar as propriedades dos compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos como as fibras vegetais, em geral, de maneira negativa. Nos estudos citados, os pesquisadores avaliaram a degradação dos compósitos com diferentes tipos de matrizes e fibras vegetais, e utilizaram métodos de ensaio de intemperismo natural e/ou artificial. As principais propriedades verificadas são as mecânicas e o aspecto visual dos materiais. Por fim, os pesquisadores relataram que são necessários maiores esforços para investigar formas para mitigar os efeitos do intemperismo nos compósitos poliméricos com materiais lignocelulósicos.

2.3.1.1 Ensaio de intemperismo natural

A degradação provocada pelos agentes climáticos pode ser investigada através de ensaios de intemperismo. Os ensaios podem ser realizados em estações de exposição ambiental (intemperismo natural), ou em laboratório (envelhecimento acelerado ou intemperismo artificial) (DEL CARPIO, 2009).

A grande vantagem do ensaio de intemperismo natural é a proximidade com a real condição de uso do material. Contudo, esse ensaio é lento e exige longo tempo de exposição para que os fatores da degradação possam agir no material (SINGH; SHARMA, 2008). Já em relação ao ensaio de envelhecimento acelerado, possui a vantagem da rapidez, fornecendo dados sobre o provável desempenho do material ao longo da sua vida útil. Nesse ensaio, são simuladas as condições de exposição do material, contudo com intensidades elevadas, de modo a acelerar o processo de degradação. Apesar da vantagem da rapidez, pode fornecer resultados imprecisos, em função de mecanismos paralelos que podem ocorrer nos materiais (FELIPE, 2012).

A exposição do material ao intemperismo natural pode ser realizada em corpos de prova fixados em um suporte, alocado em um ambiente externo, as quais estarão expostas sobre condições variadas de radiação ultravioleta, temperatura e umidade (SINGH; SHARMA, 2008). De acordo com Arandes *et al.* (2003), para observar a degradação do material, são caracterizadas as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e características visíveis como determinadas modificações superficiais, por exemplo, fissuras, escamação e mudanças de cor.

Devem ser consideradas duas variáveis para a realização do ensaio de intemperismo natural: a medição de variáveis físico-químicas, como massa, espessura, aspecto geral, para se estabelecer um critério adequado para a verificação da degradação do material, e a segunda consiste na determinação dos agentes externos, como as condições climáticas (temperatura, chuva, radiação ultravioleta). Além disso, a escolha do local de exposição e a disposição são importantes e devem seguir a norma específica para esse ensaio. Assim, o conjunto desses fatores e o tempo de exposição irão determinar a degradação do material no período estipulado (CATTO, 2015).

2.4 Processos de fabricação da indústria moveleira

No design, o desenvolvimento de produto está relacionado diretamente com os processos de fabricação, já que é através deles que um projeto de design pode ser concretizado. Dessa forma, é extremamente importante que os designers

conheçam os processos de fabricação, pois a forma dos produtos, a quantidade de componentes, o funcionamento, a seleção de materiais, os custos, e outros, estão relacionados com os processos de fabricação (ASHBY; JOHNSON, 2002).

Fabricar consiste na transformação de materiais em produtos utilizando ferramentas ou trabalho manual. A fabricação de um produto envolve atividades diversificadas, simultâneas ou não, com diferentes níveis de complexidade (LIMA, 2008). No design, o termo fabricação refere-se a uma vasta gama de atividades que vão desde o artesanato até a alta tecnologia, que é comumente aplicada à produção industrial, na qual as matérias-primas são transformadas em produtos acabados. A fabricação de um produto envolve processos intermediários necessários para a produção e integração dos componentes do produto, como processos de corte, junção e acabamento (tratamento de superfície) (KARANA *et al.*, 2008). Na indústria moveleira são utilizados processos de fabricação, que vão desde a preparação da matéria-prima até a produção dos móveis (FERREIRA *et al.*, 2008). A seguir serão descritos alguns processos e equipamentos utilizados nesse setor da indústria.

Conforme o dossiê técnico “Processos de fabricação de móveis sob encomenda”, elaborado por Piva (2006), para o corte de materiais são utilizadas máquinas para seccioná-los, através da combinação de movimentos entre o material e a ferramenta, para esse processo são utilizadas ferramentas manuais e automatizadas. O serrote é um exemplo de ferramenta manual utilizado para cortar a madeira e derivados, é constituído por uma lâmina estreita de material metálico e dentes posicionados na parte superior da lâmina. O corte com serrote deve ser iniciado a partir da região próxima ao cabo, o movimento do serrote deve ser de 45° para trás e para frente, em sequência (GUIA DO MARCENEIRO, 2012).

Conforme Piva (2006) a serra de fita é uma máquina motorizada para corte em linha reta ou curva. É composta basicamente por dois volantes que movimentam uma serra sem-fim, uma mesa fixa ou inclinável, a qual possibilita executar cortes em ângulo, e uma estrutura feita com ferro fundido. Corte com serras de fita são indicados para cortes menores e mais complexos (com constantes mudanças de direção) propiciados pela forma da fita e pela posição relativa ao material durante o corte (LIMA, 2008).

A serra esquadrejadeira é uma máquina de corte muito utilizada na indústria moveleira. Nesse equipamento os cortes são executados por um tipo de serra

circular que garante a perpendicularidade entre eles, para serrar em ângulo ou em linha reta. Esse equipamento é composto por uma mesa fixa com encosto paralelo em relação a serra circular e uma mesa móvel para facilitar o deslizamento dos materiais que serão cortados. Para cortar uma peça na medida desejada, a máquina precisa ter um batente esquadrejador (à esquerda da serra) e um batente paralelo (à direita da serra), sendo que nesses dois batentes são reguladas as dimensões da peça a ser cortada (PIVA, 2006).

Processos de corte na indústria moveleira também podem ser realizados através da usinagem. Conforme Ferraresi (1995), a usinagem consiste em um processo de fabricação utilizado para modelar um objeto através da remoção de material. Para Silva (2011) um dos processos de usinagem mais utilizados é o fresamento, o qual consiste em uma ferramenta cortante que faz um movimento de rotação e movimentos de translação sobre o material a ser usinado. Em relação aos parâmetros de corte, são grandezas numéricas que representam valores de deslocamento da ferramenta ou do material, adequados ao tipo de trabalho a ser executado, ao material a ser usinado e ao material da ferramenta. Normalmente, as operações de usinagem são realizadas em etapas de desbaste e etapas de acabamento. No desbaste busca-se obter as dimensões próximas às finais da peça, realizando um trabalho mais grosseiro e facilitando a etapa seguinte. No acabamento, são obtidas as dimensões finais e o acabamento especificado para a peça (FERRARESI, 1995).

Furadeiras são equipamentos utilizados para a realização de furos em diversos tipos de materiais, utilizando brocas de tamanhos e larguras variadas (GUIA DO MARCENEIRO, 2012). Os materiais planos podem ser perfurados por furadeiras verticais de bancada dependendo do regime de trabalho e o tipo de produto fabricado (LIMA, 2008).

Após os processos de corte e furação, há a necessidade de lixamento para retirada de pequenas farpas geradas pelas operações anteriores. Neste sentido, podem-se empregar lixadeiras horizontais, de disco ou até mesmo manuais dependendo da geometria da peça. As operações de lixamento são decisivas para que a peça possa ser submetida à aplicação de acabamento superficial como seladoras e vernizes para melhoria da aparência e a preservação do material (LIMA, 2008).

O processo de lixamento é uma operação que se destina a retirada de material de uma peça a fim de obter-se uma forma ou uma condição de superfície. Nesse processo, é utilizada a lixa, que consiste em um papel com material de superfície abrasiva utilizada para polir diversos materiais (CEPRA, 2005). O lixamento é utilizado principalmente nos seguintes casos:

- Pode ser realizado sobre a superfície envernizada, pintada, com o objetivo de retirar seu brilho para permitir a aderência da próxima demão.
- O lixamento de desbaste é uma operação que se destina a retirar uma quantidade de material, visando eliminar defeitos de usinagem, como rebarbas, ondulações e marcas ocasionadas pelas ferramentas de corte.
- O lixamento leve é realizado para aparar a superfície do material.

As lixas possuem graduações denominadas de granulação, a qual depende do tipo de material que será lixado e do fabricante. A granulação da lixa d'água, por exemplo, varia de 80 a 2.000, quanto menor o número, mais "grossa" será a lixa (CEPRA, 2015).

Para Piva (2006), a lixadeira de disco é utilizada para realizar acabamentos em bordas, cantos e topos de peças planas ou curvas. O equipamento possui um motor e um disco metálico fixado na sua extremidade. A lixa é fixada em um disco giratório perpendicularmente a uma mesa de trabalho, o que torna o trabalho da retirada de excessos e imperfeições do material mais fácil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

A casca de arroz foi utilizada como carga e obtida junto à Cooperativa de Produção Agropecuária dos Assentados de Tapes no Rio Grande do Sul, Brasil. A matriz empregada foi a resina poliéster insaturada ortoftálica da marca Reichhold e iniciador peróxido de metil – etil cetona da marca Butanox M-50 (1,3% v/v em relação à quantidade de resina), adquiridos na empresa Comfibras na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Como desmoldante utilizou-se a cera de carnaúba da marca Tec Glaze-N adquirida na empresa Comfibras.

3.2 Métodos

3.2.1 Preparação da casca de arroz

Para a produção dos compósitos foi utilizada a casca de arroz inteira e moída (Figura 32). A casca de arroz inteira possui dimensão aproximada de 7 mm de comprimento, 1,5 mm largura e 0,2 mm de espessura. Nesta pesquisa a casca de arroz, tanto inteira como a moída, foi tratada como partícula, pois a razão de aspecto da casca de arroz inteira é baixa quando comparada às fibras vegetais como sisal, juta e cânhamo. Em face disso, levando em conta que ao se utilizar partículas em compósitos, a fase dispersa pode ser chamada de carga (REDDY, 2004), bem como a compreensão de Yilmaz (2015) de que a casca de arroz atua mais como carga de enchimento e menos como reforço em compósitos, no presente trabalho a casca de arroz será entendida como carga.

Inicialmente, a casca de arroz foi peneirada manualmente para remoção de outros materiais, como terra e partes de outras plantas, após, a casca de arroz inteira foi seca em estufa de circulação de ar da marca Deleo – A5 AFD na temperatura de 100 °C durante 24 h, para retirada de umidade, em seguida, uma parte foi moída em moinho de 5 facas da marca Retsh modelo SM300, por 30 min.

Figura 32: Casca de arroz: A) Inteira e B) Moída.



Fonte: Autora.

A casca moída foi classificada pelo sistema de peneiras dispostas umas sobre as outras, na faixa de 250 μ a 710 μ , em um agitador da marca Bertel. A casca de arroz moída permaneceu durante 15 min no agitador de peneiras com máxima intensidade de vibração. O pó resultante da última peneira foi retirado, pois, observou-se que as partículas eram muito pequenas. As partículas das outras peneiras foram misturadas e utilizadas na preparação dos compósitos.

3.2.2 Preparação dos compósitos

Foram preparadas 3 composições de compósitos de poliéster (PO) com casca de arroz, como podem ser visualizadas na Tabela 3. Utilizou-se 80% de fração volumétrica de casca de arroz¹, que possibilitou a produção de uma placa de qualidade visual adequada, no sentido de uma distribuição uniforme da carga na matriz. Dessa forma, foi possível aproveitar o máximo de resíduo e utilizar o mínimo de material polimérico na produção dos compósitos. Em relação ao compósito com casca de arroz inteira e moída (PO/CAIM), dos 80% de fração volumétrica, 50% são constituídos por casca de arroz inteira e 50% por casca de arroz moída.

¹ A fração volumétrica da casca de arroz foi calculada da seguinte forma: 1) Calculou-se o volume do molde; 2) Calculou-se o valor correspondente a 80% do volume do molde; 3) Utilizou-se a equação: $D=M/V$, em que D = Densidade da casca de arroz, V = 80% do volume do molde e M =Massa de casca de arroz (carga).

Tabela 3: Composição e nomenclatura dos materiais estudados.

Material	Nomenclatura	Fração volumétrica da matriz (%)	Fração volumétrica da carga (%)
Poliéster/casca de arroz inteira	PO/CAI	20	80
Poliéster/casca de arroz moída	PO/CAM	20	80
Poliéster/casca de arroz inteira e moída	PO/CAIM	20	80

Fonte: Autora.

Após a secagem da casca de arroz, foi realizada a pesagem do poliéster, a adição do iniciador, e em seguida, da casca de arroz. Os materiais foram misturados manualmente e condicionados em um molde metálico (dimensões internas: 17 cm x 27 cm). Conforme já exposto, foi utilizado o desmoldante à base de cera de carnaúba para facilitar a retirada das placas do molde.

Os compósitos foram obtidos por moldagem por compressão, em prensa hidráulica da marca Marconi modelo MA 098/A sob pressão de 3 bar, onde permaneceram por 75 min na temperatura de 80 °C, o que resultou na cura do compósito. Foi realizada a pós-cura nas placas, em estufa de circulação de ar na temperatura de 60 °C durante 4 h. Na Figura 33, podem ser visualizadas as etapas do processamento dos compósitos.

Figura 33: Fluxograma do processamento dos compósitos.

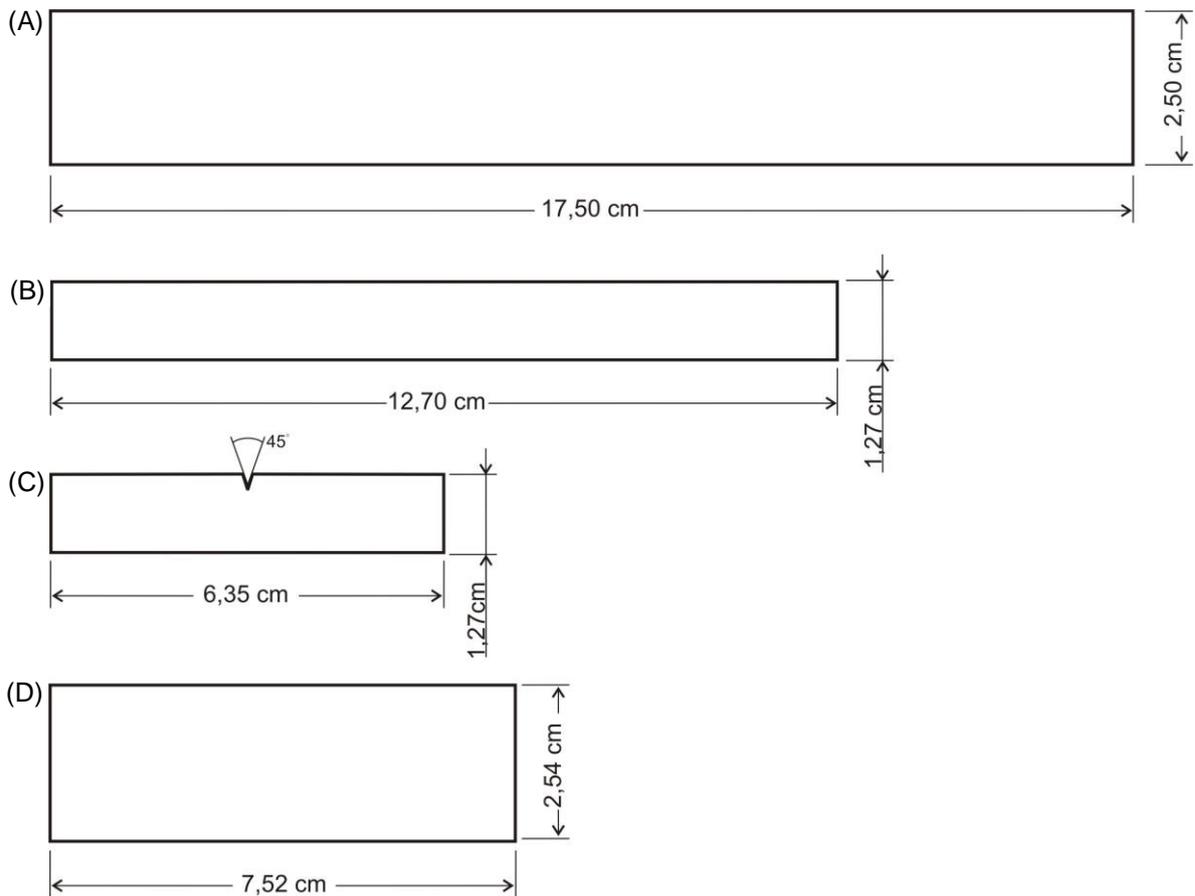


Fonte: Autora.

3.2.3 Preparação dos corpos de prova

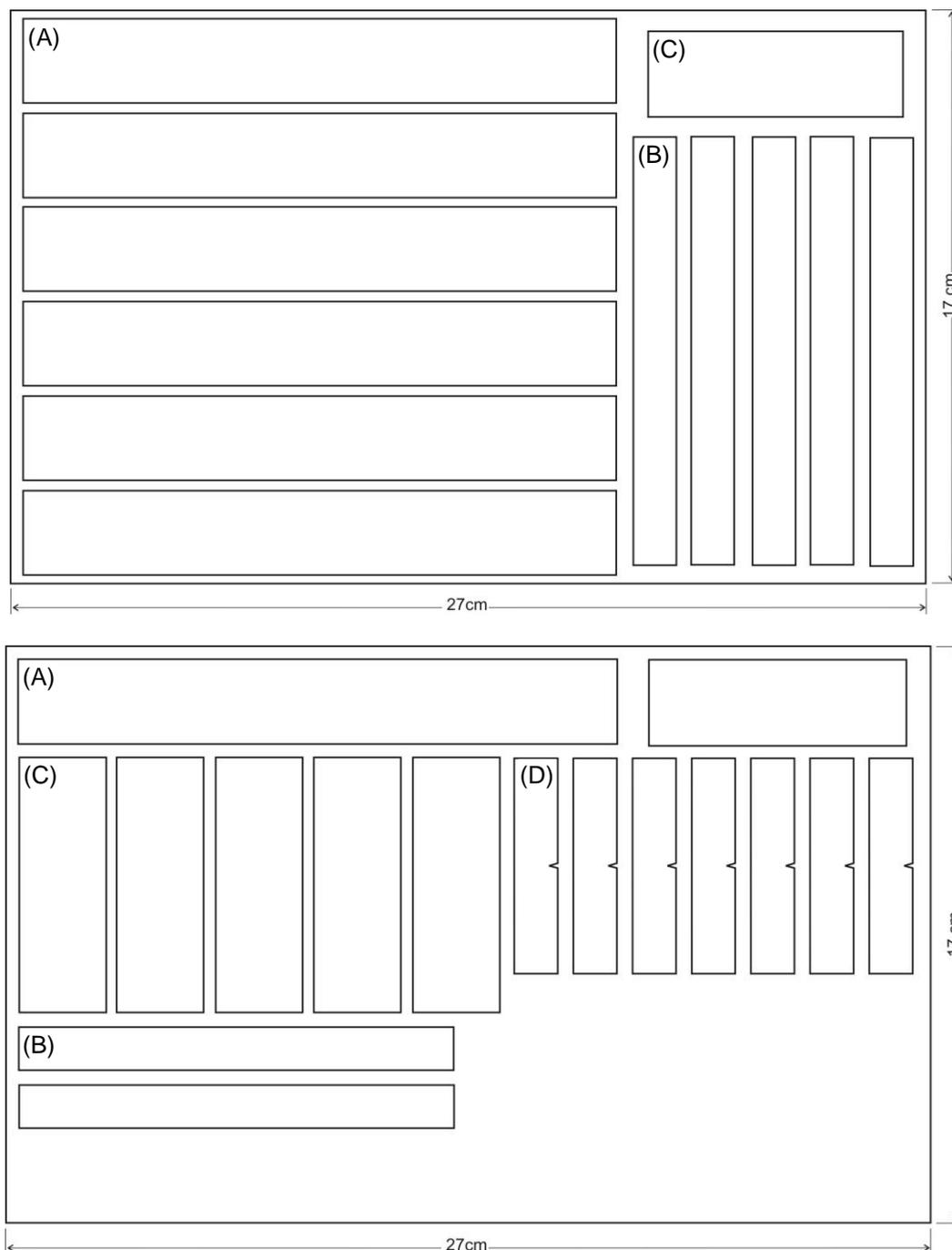
Após a confecção das placas, os corpos de prova foram cortados em equipamento de corte a laser da marca Automatisa modelo Mira 3007. Os desenhos dos corpos de prova para o corte a laser foram produzidos conforme as dimensões e formatos estabelecidos nas normas para os ensaios de tração, flexão, impacto e absorção de água (Figura 34), e foram elaborados no software AutoCAD® versão 2015, e exportados como arquivos de extensão .dxf (*Drawing Exchange Format*) (Figura 35).

Figura 34: Dimensões dos corpos de prova: A) Tração, B) Flexão, C) Impacto, D) Absorção de água.



Fonte: Autora.

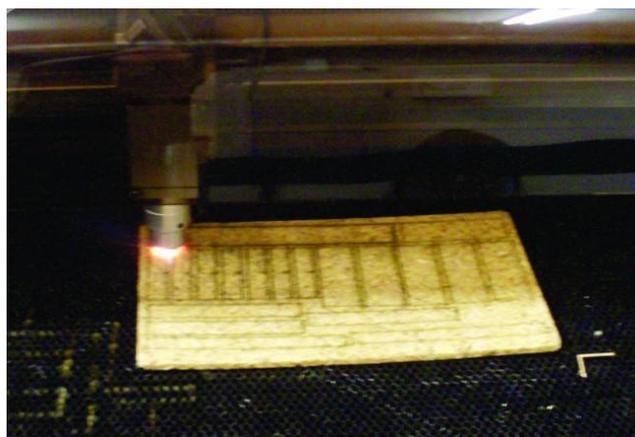
Figura 35: Plano de corte dos corpos de prova: A) Tração, B) Flexão, C) Absorção de água, D) Impacto.



Fonte: Autora.

Na Figura 36, pode ser observada a realização do corte a laser na placa de PO/CAI. Do corte a laser resultaram os corpos de prova para a caracterização dos compósitos, conforme pode ser visualizado no Quadro 4.

Figura 36: Corte a laser dos corpos de prova.



Fonte: Autora.

Quadro 4: Corpos de prova resultantes do corte a laser.

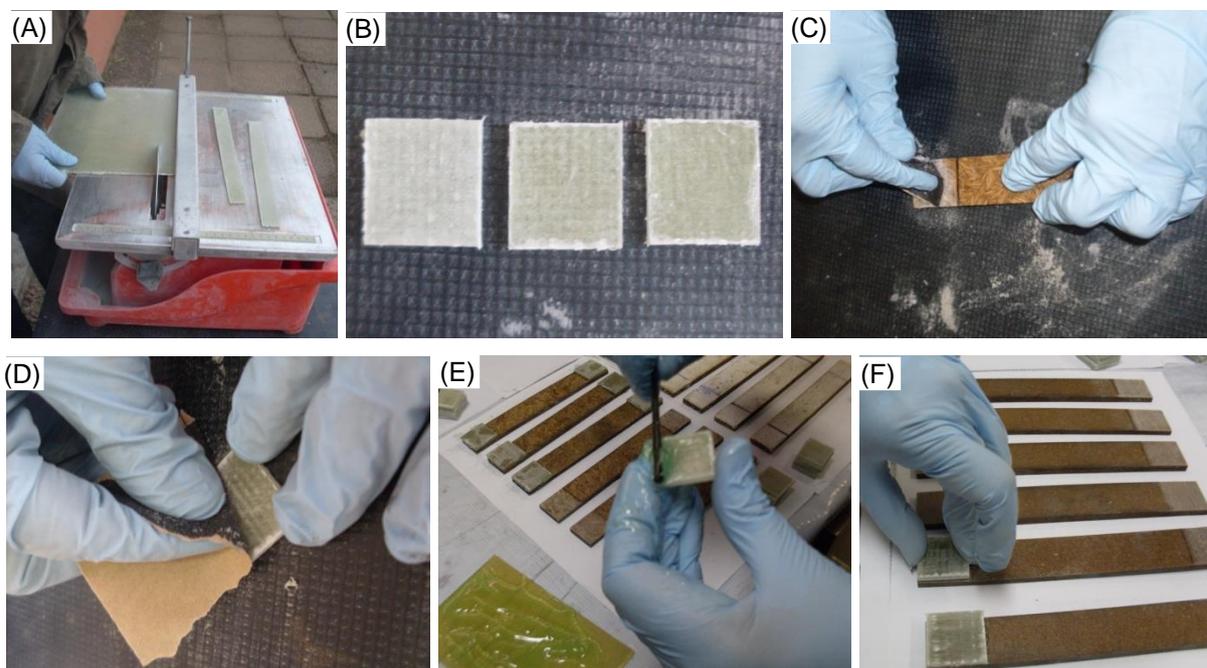
Corpos de prova	Tração	Flexão	Impacto	Absorção de água
PO ²				
PO/CAI				
PO/CAM				
PO/CAIM				

Fonte: Autora.

² A cor escura dos corpos de prova de poliéster é devido ao corte a laser.

Nas extremidades dos corpos de prova para o ensaio de tração foram colados tabs no formato quadrado, de compósito com fibra de vidro e poliéster, para evitar que a garra do equipamento de ensaio rompesse o corpo de prova na região de contato com este. O procedimento iniciou com corte das placas de compósito de fibra de vidro, lixamento dos tabs e nas extremidades dos corpos de prova para melhor fixação da cola, e posterior colagem, conforme pode ser observado na Figura 37. Por fim, realizou-se a pintura com tinta escura na parte central dos corpos de prova para a marcação dos pontos em tinta branca, necessários para a realização do ensaio de tração com vídeo extensômetro.

Figura 37: Preparação dos corpos de prova para o ensaio de tração: A) Corte dos tabs, B) Tabs com formato quadrado, C) Lixamento das extremidades dos corpos de prova, D) Lixamento dos tabs, E) e F) Colagem dos tabs nas extremidades dos corpos de prova.

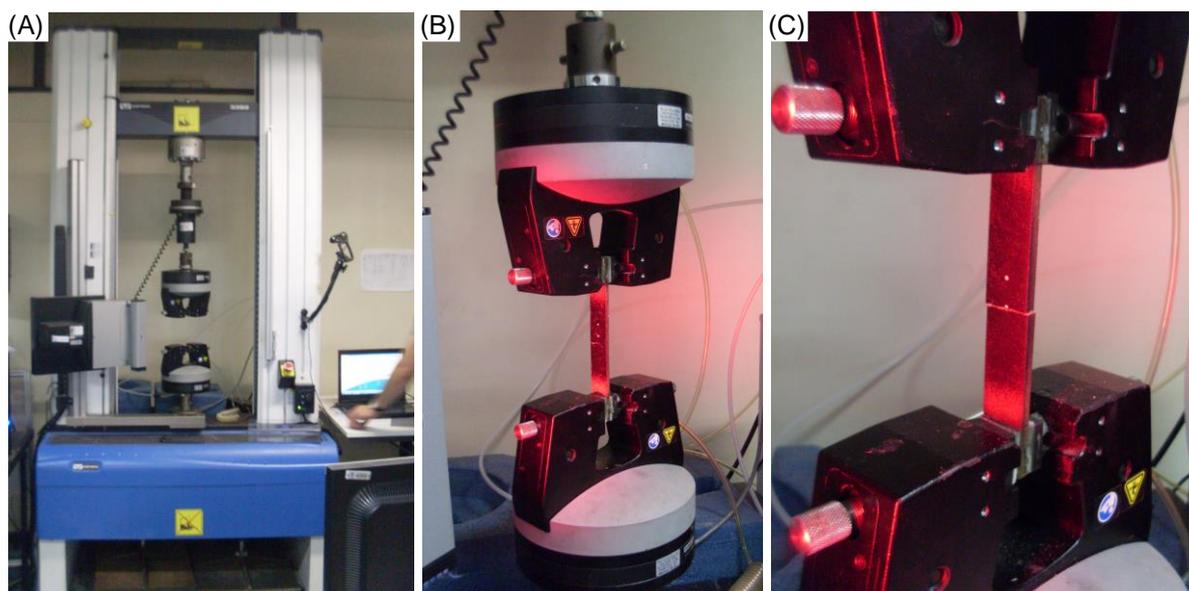


Fonte: Autora.

3.2.4 Caracterização dos compósitos com casca de arroz

O ensaio de tração foi realizado de acordo com a norma ASTM D3039 (2000) em um equipamento universal de ensaio Instron 3382 (célula de carga de 100 kN, com precisão de 0,32%) na velocidade de 2 mm/min (Figura 38). O módulo de elasticidade foi obtido por meio de vídeo extensômetro.

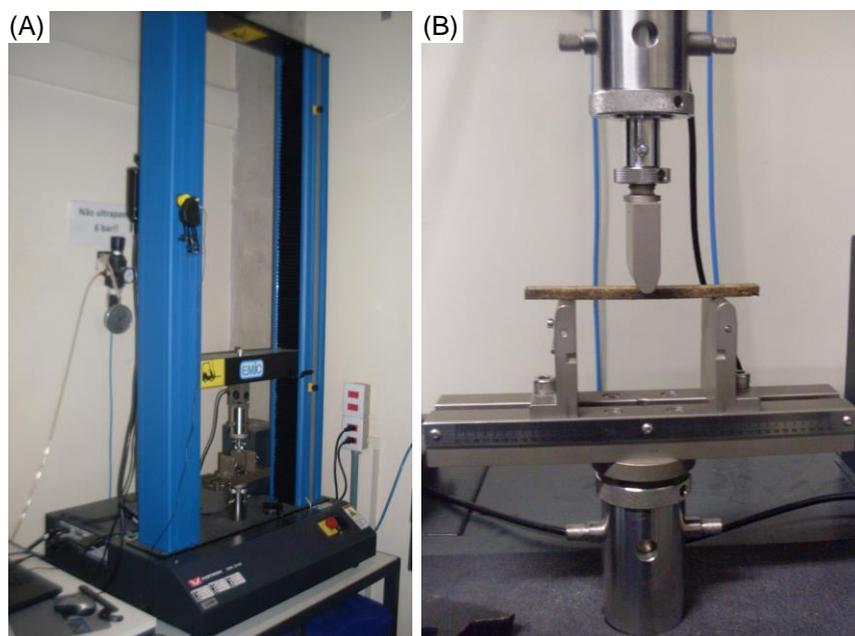
Figura 38: Ensaio mecânico de tração: A) Visão geral do equipamento universal de ensaio, B) Corpo de prova posicionado no equipamento e C) Corpo de prova fraturado.



Fonte: Autora.

O ensaio de flexão foi realizado de acordo com a norma ASTM D790 (2003). Foi utilizado o equipamento universal de ensaios EMIC 23-5D (célula de carga de 5 kN) (Figura 39).

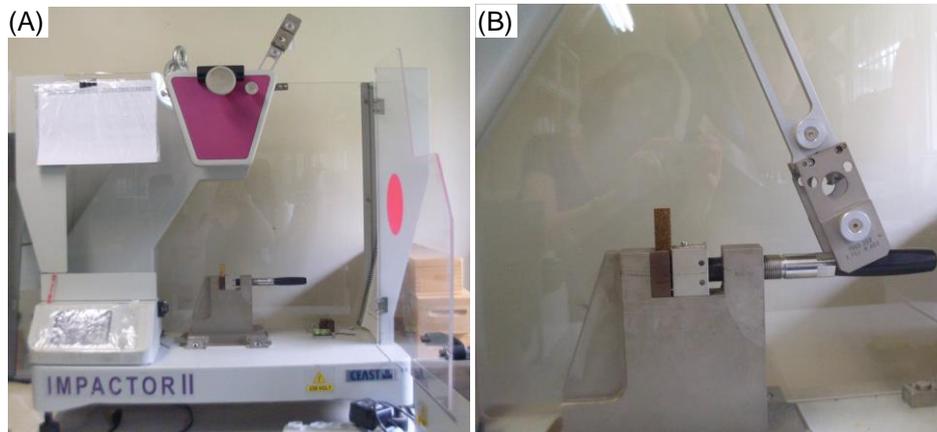
Figura 39: Ensaio mecânico de flexão: A) Visão geral do equipamento, B) Corpo de prova posicionada no equipamento.



Fonte: Autora.

O ensaio de impacto IZOD foi realizado em corpos de prova entalhados de acordo com ASTM D256 (2008) usando um equipamento da marca CEAST modelo Impactor II, com o martelo de 2,75 J (Figura 40). O entalhe nos corpos de prova foi feito no corte a laser.

Figura 40: Ensaio mecânico de impacto: A) Visão geral do equipamento, B) Corpo de prova posicionado no equipamento.



Fonte: Autora.

Para as medições da dureza Shore D, foi seguida a norma ASTM D2240 (2010), e realizada no equipamento da marca Bareiss (Figura 41). Foram realizadas 20 leituras em cada corpo de prova, feitas com espaçamento entre si e das bordas do corpo de prova de, no mínimo, 3 mm, e obtido o valor médio.

Figura 41: Corpo de prova posicionado no equipamento para ensaio mecânico de dureza.

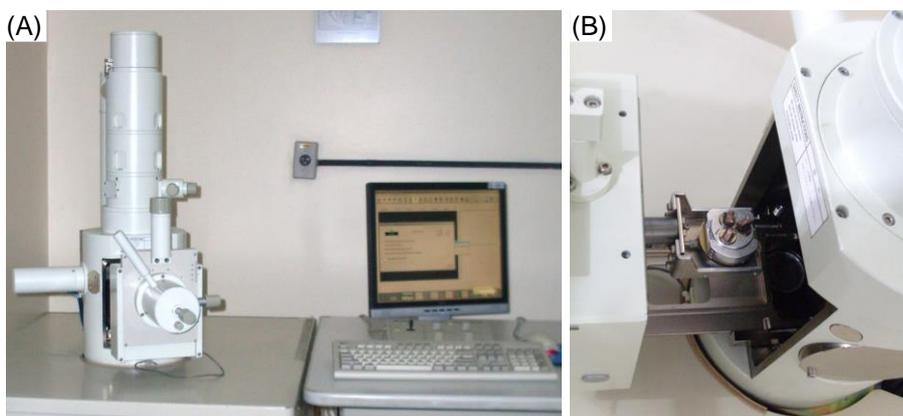


Fonte: Autora.

Após a realização dos ensaios mecânicos destrutivos, os resultados foram analisados estatisticamente com a Anova fator único no software Excell, com nível de confiança de 95%. Essa ferramenta consiste em um teste estatístico para comparação de diferentes grupos para verificar a semelhança entre pares (ANGRIZANI, 2011). A Anova está representada por letras nos gráficos (Figuras 55, 56, 57, 58, 62, 63) e nas tabelas (Tabelas 4 e 6). Para este tipo de apresentação de resultados, letras iguais denotam que não há diferença significativa entre as famílias de corpos de prova.

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada para a observação da casca de arroz inteira e moída, da região de fratura dos corpos de prova após ensaio de tração, e da superfície dos corpos de prova do ensaio de intemperismo. Utilizou-se o equipamento da marca Phenon World, Modelo PRO X, operando em 15 KeV (Figura 42) para a obtenção das micrografias da região de fratura dos corpos de prova após ensaio de tração. Para observação da casca de arroz inteira e moída e da superfície dos corpos de prova do ensaio de intemperismo utilizou-se o equipamento Hitachi®, modelo TM 3000, operando em 15 KeV.

Figura 42: Microscopia eletrônica de varredura: A) Visão geral do equipamento da marca Phenon World, Modelo PRO X e B) Corpos de prova posicionados no interior do equipamento.



Fonte: Autora.

Para o ensaio de absorção de água, seguiu-se a norma ASTM D570 (1998). Os corpos de prova foram secos em estufa, e após, pesados em uma balança digital da marca Quimis modelo Q-500L201c, e condicionados em recipientes contendo água destilada à temperatura ambiente ($\approx 23^{\circ}\text{C}$). Em períodos pré-determinados, os corpos de prova foram removidos da água e o excesso de água foi retirado com

toalhas de papel, e em seguida pesados. Esse processo de pesagem foi repetido até a saturação dos corpos de prova.

A porcentagem de absorção de água foi calculada com a seguinte fórmula: $A\% = 100 \times (M_2 - M_1) / M_1$, em que M_1 é a massa inicial do corpo de prova e M_2 é a massa final. Após o ensaio de absorção de água os corpos de prova foram registrados com equipamento fotográfico digital da marca Nikon modelo D3300, e foi realizada a inspeção visual e tátil.

3.2.5 Intemperismo natural

Para a realização do ensaio de intemperismo natural, foi utilizada a norma ASTM D1435 (2013). Essa norma recomenda que os corpos de prova sejam posicionados em uma estrutura, de preferência metálica com um ângulo de inclinação de 45°, em material vazado, para que o ar possa circular pelos corpos de prova. A estrutura construída para este trabalho possui dimensões de 1 m de largura, 1,20 m de altura e 0,40 m de profundidade, e 0,61 m de altura do solo (altura mínima do solo conforme a norma). A estrutura do suporte foi confeccionada em ferro e a grade de material metálico, conforme pode ser visualizado na Figura 43 A.

Figura 43: Ensaio de intemperismo natural: A) Suporte para ensaio de intemperismo natural, B) Fixação dos corpos de prova na tela e C) Suporte com os corpos de prova.



Fonte: Autora.

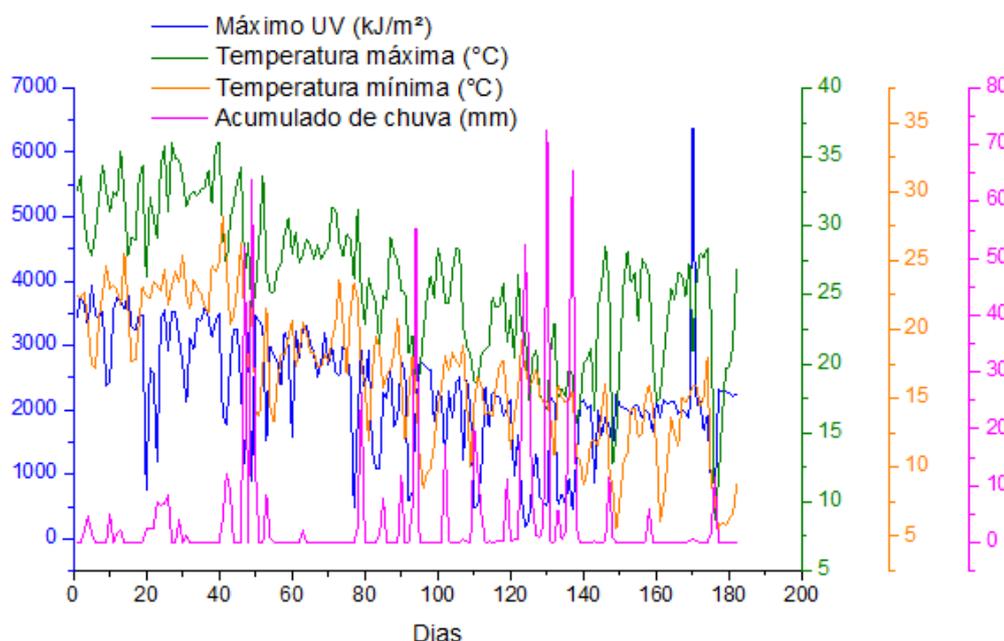
De acordo com a norma seguida para este ensaio, os corpos de prova podem ter diversas dimensões que dependem da característica do material que se pretende avaliar. Desse modo, foram avaliadas as propriedades mecânicas, assim, foram

produzidos 6 corpos de prova para cada ensaio: tração, flexão e impacto. Os corpos de prova foram fixados em uma tela polimérica com o auxílio de lacres também de material polimérico, como pode ser observado na Figura 43 B.

A estrutura metálica foi colocada em um lugar estratégico para que se tivesse maior fidelidade dos dados obtidos. Dessa forma, posicionou-se em frente ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH), em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, com posição geográfica de latitude 30° 05' Sul, longitude 51° 11' Oeste e altitude 41 m (INMET, 2017).

O ensaio de intemperismo natural foi iniciado no dia 23 de janeiro de 2017 e os corpos de prova permaneceram no IPH por um período de seis meses. Os dados das condições climáticas, como o índice de radiação ultravioleta, a temperatura e a precipitação, foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br/>), da estação meteorológica localizada na cidade Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A Figura 44 mostra um resumo das condições climáticas durante o período de exposição dos corpos de prova, com os valores de índice de radiação ultravioleta (UV), precipitação e a temperatura máxima e mínima registradas durante os 6 meses de exposição dos corpos de prova.

Figura 44: Condições climáticas no período de 23 de janeiro de 2017 a 23 de julho de 2017. No eixo y ao lado esquerdo encontra-se a escala da radiação ultravioleta máxima (azul), e no eixo y ao lado direito encontram-se as escalas da temperatura máxima (verde) e mínima (laranja), e o acumulado de chuva (rosa).



Fonte: Autora.

Em relação à radiação ultravioleta, os maiores valores concentram-se no início do ensaio, nos meses de janeiro e fevereiro, que correspondem ao período do verão. Contudo, o maior pico registrado foi entre 160 e 180 dias, que corresponde ao mês de junho, atingindo por volta de 6400 kJ/m². Os maiores valores correspondentes à temperatura máxima também foram registrados no início do ensaio, em janeiro e fevereiro, meses de verão. Evidentemente, as temperaturas mínimas foram registradas nos meses de inverno, fim de junho e julho, ao final do ensaio. Verificou-se que ocorreram diversos períodos com precipitação, com maior intensidade entre os dias 40 – 50 e 80 – 140 do ensaio, atingindo valores altos de precipitação (70 mm). Portanto, durante o período do ensaio, houve variação em todos os agentes climáticos, radiação ultravioleta, temperatura e precipitação, pois, esse período englobou 3 estações do ano, o verão, o outono e parte do inverno.

O acompanhamento da degradação dos corpos de prova foi realizado através de ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto e dureza), verificação da massa, análise morfológica da superfície dos compósitos com casca de arroz por meio de MEV e inspeção visual, com a comparação dos resultados antes e após o ensaio de intemperismo natural. Para os ensaios mecânicos de tração, flexão, impacto e dureza, foram utilizados os mesmos métodos e equipamentos já descritos neste trabalho (seção 3.2.4). A massa dos compósitos foi obtida a partir da pesagem dos corpos de prova antes e após o ensaio de intemperismo em balança digital da marca Quimis modelo Q-500L201c. Foi observada a superfície dos compósitos por meio de MEV, em que foi possível verificar com mais precisão e detalhe a superfície dos corpos de prova antes e após a exposição ao intemperismo, para isso, utilizou-se o equipamento da marca Phenon World, Modelo PRO X, operando em 15 KeV. Foi utilizado equipamento fotográfico digital da marca Nikon modelo D3300 para registrar as imagens dos corpos de prova antes e após o ensaio.

3.2.6 Procedimentos para análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz

Para a análise de materiais com atributos tangíveis próximos aos dos compósitos desenvolvidos neste trabalho foi utilizado o software de seleção de materiais CES Edupack versão 2012. Dessa forma, por meio do software foram

selecionados os materiais que possuem a resistência à tração e o módulo de elasticidade na mesma faixa de valores dos compósitos. A partir disso, examinaram-se os tipos de produtos que são fabricados com os materiais selecionados.

Para comparar as propriedades (resistência à tração e módulo de elasticidade) dos compósitos PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM com as dos materiais contidos na biblioteca do software CES Edupack foi utilizado o critério limite, em que foram inseridos os valores da resistência à tração e o módulo de elasticidade, pois são as únicas propriedades verificadas nesta pesquisa que fazem parte do critério limite, utilizado para a seleção dos materiais no software. No critério limite devem ser inseridos os valores mínimos e máximos para a seleção de materiais, assim, como valor mínimo foi inserido o zero e como valor máximo foi inserido o valor da propriedade.

Após a seleção de materiais, foram excluídos os materiais com atributos tangíveis que não correspondem aos dos compósitos com casca de arroz. Assim, após a seleção e análise de materiais, foram verificadas as aplicações que o software indica para os materiais que foram selecionados.

3.2.7 Procedimentos para análise sincrônica de produtos

A análise sincrônica faz parte de métodos projetuais de design, como os elaborados por Munari (1981), Bonsiepe (1984), Bomfim (1995), Baxter (1998) e Lobach (2001). O método projetual de design proposto por Bonsiepe (1984) é dividido em 4 etapas: problematização, análise, definição do problema, anteprojetos/geração de alternativas e projeto. Na fase de análise, que compreende o início do projeto, o autor sugere que seja feita uma lista de verificação, a partir de análises de ordem sincrônica, diacrônica, funcional, estrutural, morfológica e características de uso do produto. Dessa forma, esta fase permite uma análise que engloba desde o resgate histórico do produto até a análise atual de uso, com a finalidade de detectar todos os possíveis problemas que poderão ser solucionados no projeto final.

Em relação à análise sincrônica, refere-se à análise de produtos semelhantes ao que se pretende projetar existentes no mercado. Assim, realiza-se a coleta e

análise dos produtos disponíveis no mercado que desempenham se não a mesma função, funções similares a do produto em desenvolvimento, o que permite conhecer as soluções já empregadas, tanto nos aspectos estético-formais e/ou funcionais. Este tipo de análise serve para reconhecer o universo do produto em questão.

Nesta pesquisa foi utilizada a análise sincrônica com o objetivo de realizar o levantamento de produtos fabricados com os materiais que possuem atributos tangíveis próximos aos dos compósitos com casca de arroz. Dessa forma, foi realizado o levantamento de produtos comercializados em lojas online. A pesquisa foi realizada no período de março de 2018, utilizando a ferramenta de buscas *google*. Foram selecionados somente produtos que possuem a descrição do tipo de material empregado. Os produtos foram classificados de acordo com o tipo de materiais empregados e analisados aspectos estético-formais, como: forma, cor, textura e estilos de design.

Os estilos de design possuem elementos característicos que são determinados pelo contexto cultural do período em que ocorreram. Para Schneider (2010, p. 3) “a qualidade estética, o caráter formal e o estilo de design não podem nem de longe ser interpretados sem se considerar o pano de fundo econômico e ideológico diante do qual o design surgiu”. Dessa forma, o estilo expressa-se em uma gama de ideias, algumas concretas e outras abstratas associadas com certos materiais, por exemplo, o estilo *Art Nouveau* está associado com a madeira esculpida, bronze fundido, e ferro forjado. Estilos de design podem ser considerados como um atalho de informações referentes a um grupo de associações estéticas e percepções de uma época, assim, os atributos estéticos de um produto podem ser definidos a partir de elementos de estilos de épocas passadas e/ou atuais (ASHBY; JOHNSON, 2002).

De acordo com Culture Design (2018) os principais estilos de design no setor de móveis são: clássico, moderno, retrô e rústico. Em relação ao estilo clássico, o mesmo é considerado atemporal, suas origens estéticas remontam às influências da arquitetura grega e romana. Os móveis em estilo clássico são ricos em detalhes e ornamentos, pés esculpidos, elementos bem torneados e curvos. Já o estilo moderno é descrito como elegante, funcional, simples e prático. As principais características do estilo moderno em móveis são as linhas retas e formas geométricas. O estilo retrô é caracterizado por ser moderno com elementos que

referenciam os anos de 1950 a 1970, assim, é uma releitura de elementos de design de décadas passadas que são redesenhadas em móveis atuais. As características de móveis nesse estilo são as linhas simples e retas, formas geométricas, móveis baixos e alongados com pernas longilíneas e pontiagudas (pés palito), sofás compridos, poltronas arredondadas e pés cromados. Em relação ao estilo rústico, o mesmo é inspirado na natureza, com elementos que aparentam estado bruto e muitas vezes inacabados, como madeiras e pedra. É um estilo que propicia a reutilização de móveis, de modo a economizar recursos naturais para a elaboração de novos móveis.

3.2.8 Procedimentos para análise morfológica com foco nos atributos estéticos

No campo do design, além das propriedades técnicas dos materiais (atributos tangíveis) também são consideradas as características subjetivas (atributos intangíveis). Os atributos intangíveis compreendem os aspectos relacionados à estética dos materiais, também chamados de atributos estéticos, que correspondem às seguintes características: cor, transparência, brilho, textura, padrões de superfície (DIAS, 2009).

De acordo com Yan (1998) o termo morfologia significa o estudo da estrutura da forma. Assim, a análise morfológica é uma abordagem sistemática para analisar a estrutura de uma forma, ideia, produto, sistema ou processo. No design, a análise morfológica é aplicada para compreender a estrutura estético-formal de um produto e suas partes, buscando analisá-lo quanto às leis de simetria, harmonia, equilíbrio e posição dos elementos, a fim de compreender: os princípios geométricos da concepção estético-formal, as transições e junções, concordâncias, acabamentos cromáticos e tratamentos de superfície dos materiais.

Para Bonsiepe (1984), no design de produtos a análise morfológica é uma técnica útil para a análise de produtos similares, com o objetivo de compreender a concepção estético-formal de produtos existentes, para verificar partes e componentes necessários, bem como instigar a identificação de problemas estético-formais e o desenvolvimento de uma estratégia de diferenciação para os produtos existentes.

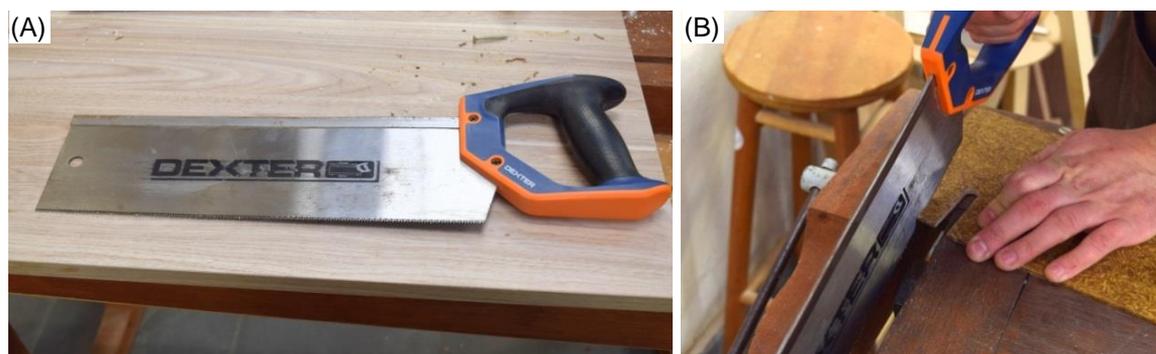
Desse modo, foram examinados por meio de análise morfológica os atributos estéticos (cor, transparência, brilho, textura, padrões de superfície) dos materiais com atributos tangíveis próximos aos dos compósitos desenvolvidos e comparados com os atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz. Além disso, com base na análise morfológica, foram abordados os significados que os compósitos com casca de arroz podem estar associados por meio de seus atributos estéticos.

3.2.9 Procedimentos para experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira

Os procedimentos descritos a seguir foram definidos de acordo com os resultados dos ensaios realizados e da seleção de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz. Assim, foi realizada a experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira, com o uso de máquinas básicas de marcenaria, com o objetivo de verificar o comportamento dos compósitos com casca de arroz em relação a esses processos. Foram realizados cortes com diferentes equipamentos, furação, lixamento e fixação de parafuso, com os equipamentos descritos na sequência.

Para o corte manual foi utilizado o serrote da marca Dexter, com lâmina de aço de comprimento de 35 cm, com 12 dentes por polegada, conforme pode ser visualizado na Figura 45.

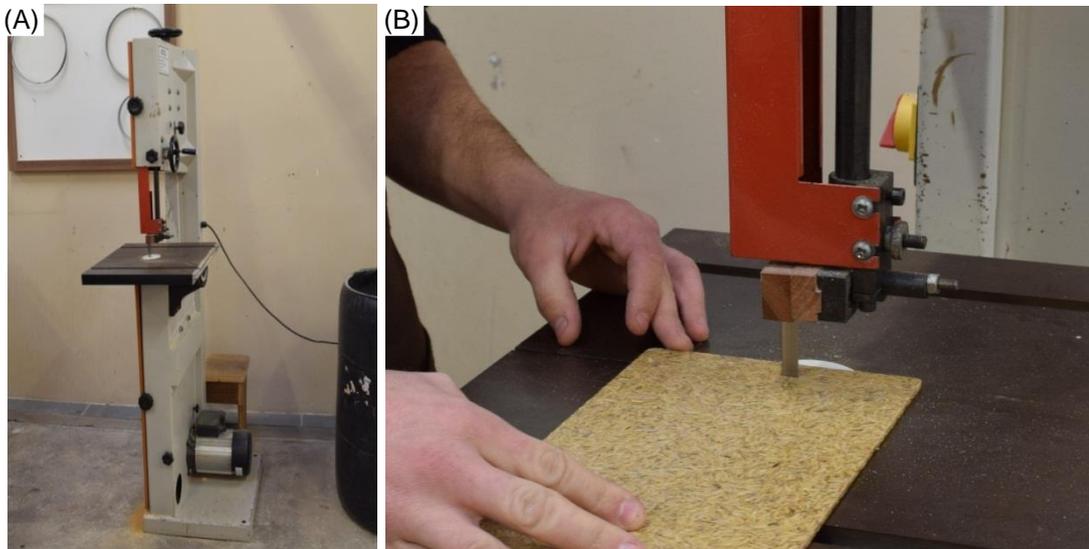
Figura 45: Serrote: A) Serrote e B) Realização do corte na placa de compósito.



Fonte: Autora.

Para o corte com serra de fita foi utilizado o equipamento da marca Tekna modelo SF 400 T, com comprimento da lâmina de 295 cm, velocidade de 10 m/s, como pode ser visualizado na Figura 46.

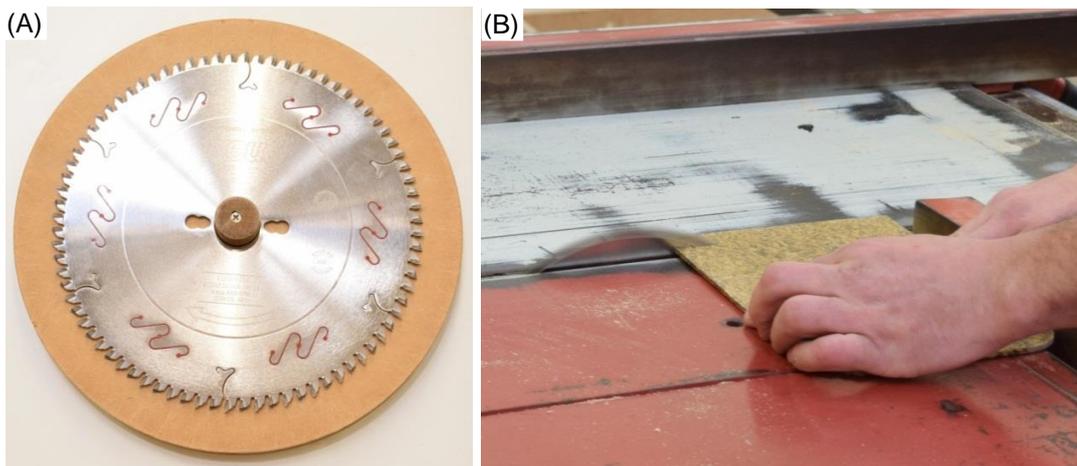
Figura 46: Serra de fita: A) Visão geral do equipamento e B) Realização do corte na placa de compósito.



Fonte: Autora.

Para o corte na esquadrejadeira foi utilizado o equipamento da marca Maksiwa modelo ESQ – 3000 I. Foi utilizada a serra da marca Freud modelo LU3A-0200 com diâmetro externo de 250 mm, furo de 30 mm e 80 dentes alternados E/D 38°, como pode ser observado na Figura 47.

Figura 47: Esquadrejadeira: A) Serra de disco e B) Realização do corte na placa de compósito.

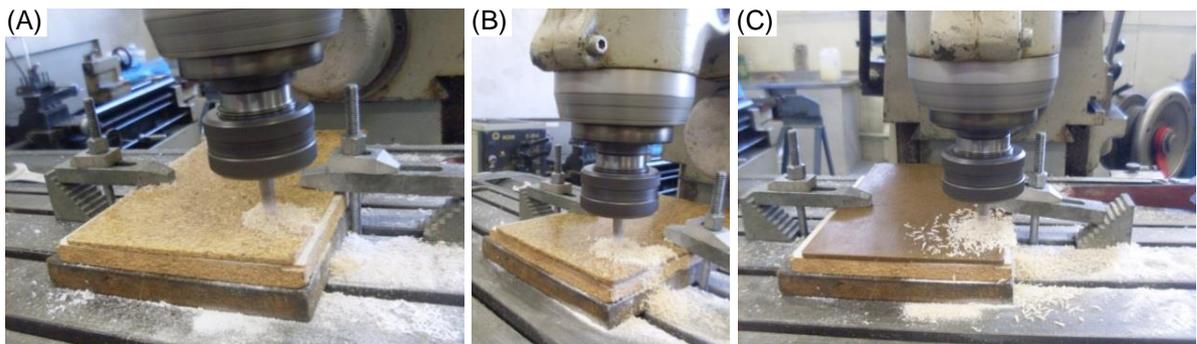


Fonte: Autora.

A usinagem convencional foi realizada em uma fresadora universal da marca WMW modelo FUW, conforme pode ser visualizado na Figura 48. Os parâmetros da usinagem foram os seguintes:

- Velocidade de avanço de corte: 220 mm/min
- Rotação: 355 rpm
- Fresa de aço rápido: 10 mm

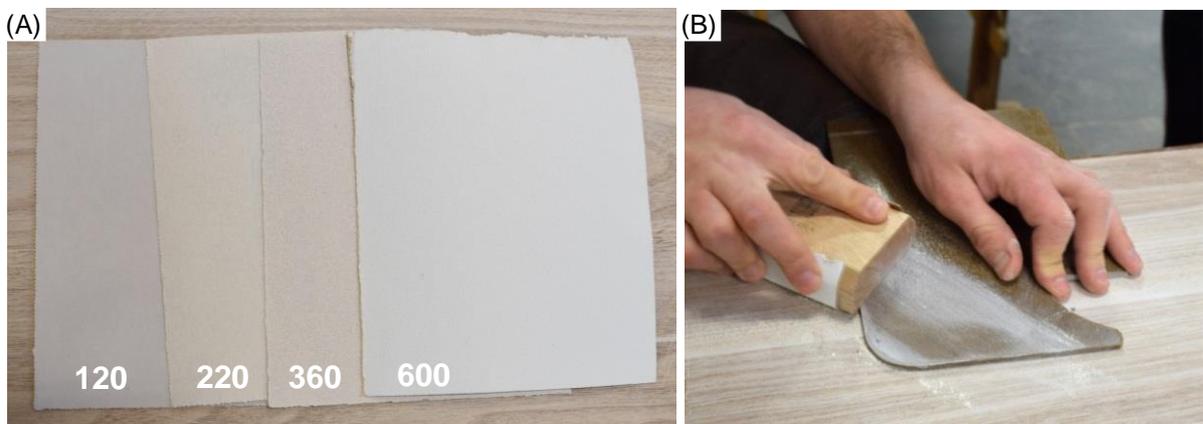
Figura 48: Usinagem dos compósitos de casca de arroz: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.



Fonte: Autora.

Neste trabalho foi utilizado o lixamento manual e com lixadeira. Para o lixamento manual foram utilizadas lixas da marca Indasa, com grãos de 120, 220, 360 e 600, conforme pode ser observado na Figura 49.

Figura 49: A) Lixas com diferentes grãos e B) lixamento manual.

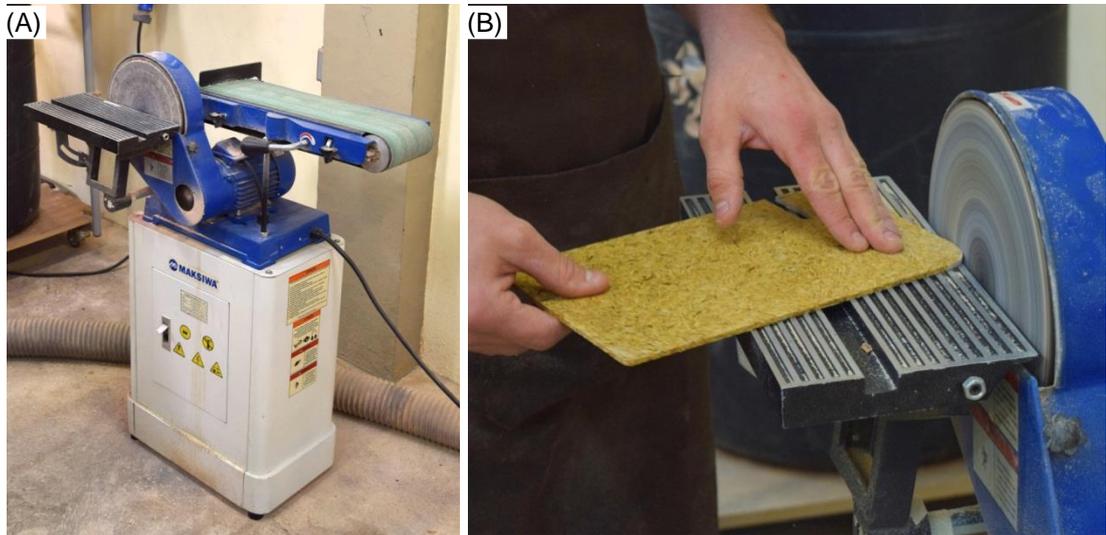


Fonte: Autora.

Para o lixamento com lixadeira foi utilizado equipamento de disco e lixa de fita da marca Maksiwa, com velocidade de 1700 rpm para arredondamento dos cantos

dos compósitos desenvolvidos, e após, foi aplicado a lixamento manual para o acabamento das bordas arredondadas. A lixa de fita utilizada foi da marca Indasa modelo PH de grão 60, conforme pode ser observado na Figura 50.

Figura 50: Lixamento das placas de compósito: A) Lixadeira de disco e B) Lixamento.



Fonte: Autora.

A furação foi realizada com uma furadeira e aparafusadeira da marca DeWalt modelo DCD700, com bateria voltagem 12 v, como pode ser observado na Figura 51, e foi utilizada uma broca de 4 mm.

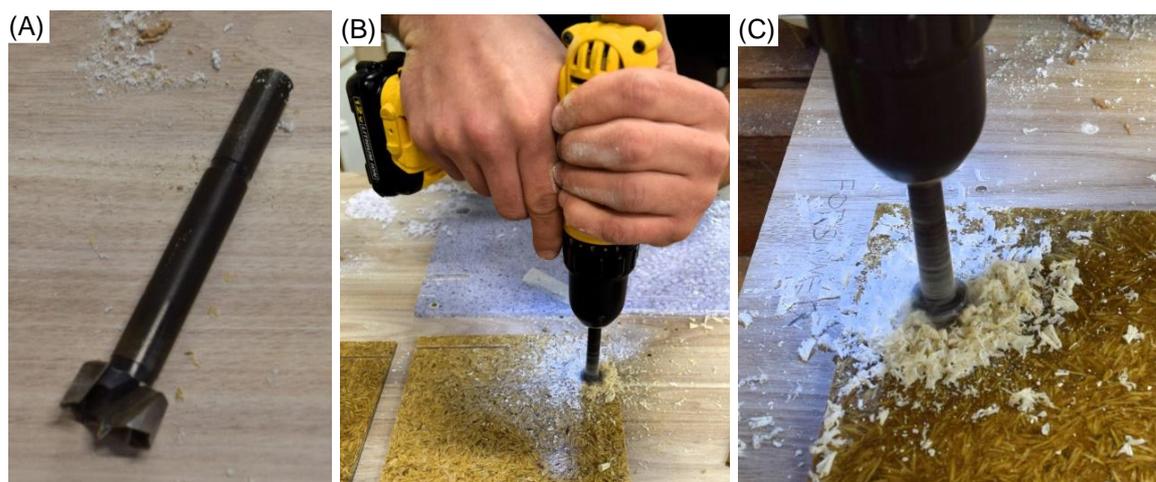
Figura 51: Furação das placas de compósito: A) Furadeira manual, B) Furação e C) Geração de cavaco.



Fonte: Autora.

Além disso, foi realizada a furação com fresa do tipo forstner de 10 mm, conforme pode ser observada na Figura 52.

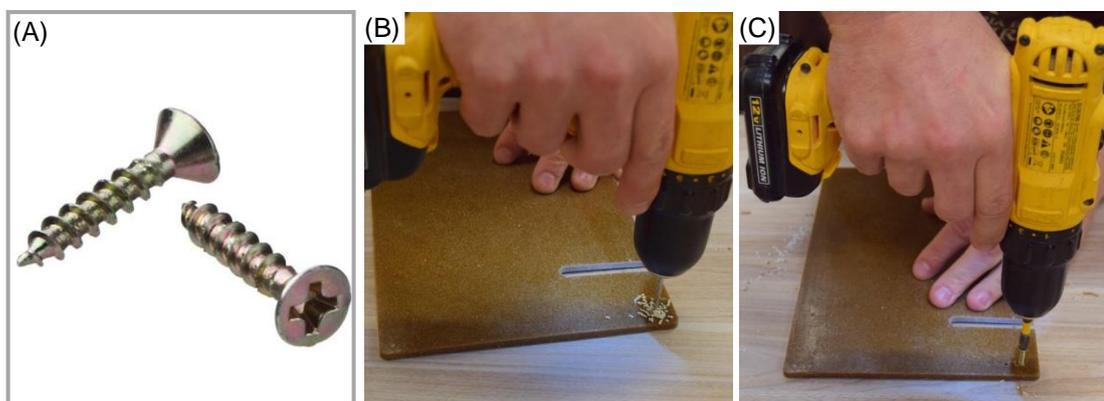
Figura 52: Furação com broca forstner nas placas de compósito: A) Broca forstner, B) Furação e C) Geração de cavaco.



Fonte: Autora.

Para a inserção do parafuso nas placas de compósito, utilizou-se a furadeira e aparafusadeira da marca DeWalt modelo DCD700, com bateria voltagem 12 v. Utilizaram-se parafusos para madeira de cabeça chata de 3.5 mm, com fenda phillips, conforme pode ser visualizado na Figura 53. A furação para inserção do parafuso foi realizada com broca de 4 mm.

Figura 53: Inserção de parafuso nas placas de compósito: A) Parafuso utilizado, B) Furação e C) Inserção do parafuso.



Fonte: Autora.

Os resultados foram analisados a partir do aspecto visual e percepção tátil, conforme as características apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Características observadas durante e após a experimentação com os processos de fabricação.

Corte	Lixamento	Furação	Fixação de parafuso
<ul style="list-style-type: none"> • Integridade dos compósitos durante e após os cortes; • Geração de rebarbas³; • Geração de lascas⁴; • Geração de trincas⁵; • Textura da superfície de corte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade dos compósitos durante e após o lixamento, • Superfície lisa/áspera; • Superfície opaca/brilho. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade do compósito durante e após a furação, • Geração de rebarbas; • Geração de lascas; • Geração de trincas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integridade do compósito durante e após a fixação do parafuso; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas; • Geração de trincas.

Fonte: Autora.

³ Rebarba é qualquer parte no material que esteja saliente (HOUAISS; VILLAR, 2001).

⁴ Lasca é uma porção ou fatia de material que se corta ou se separa naturalmente (HOUAISS; VILLAR, 2001).

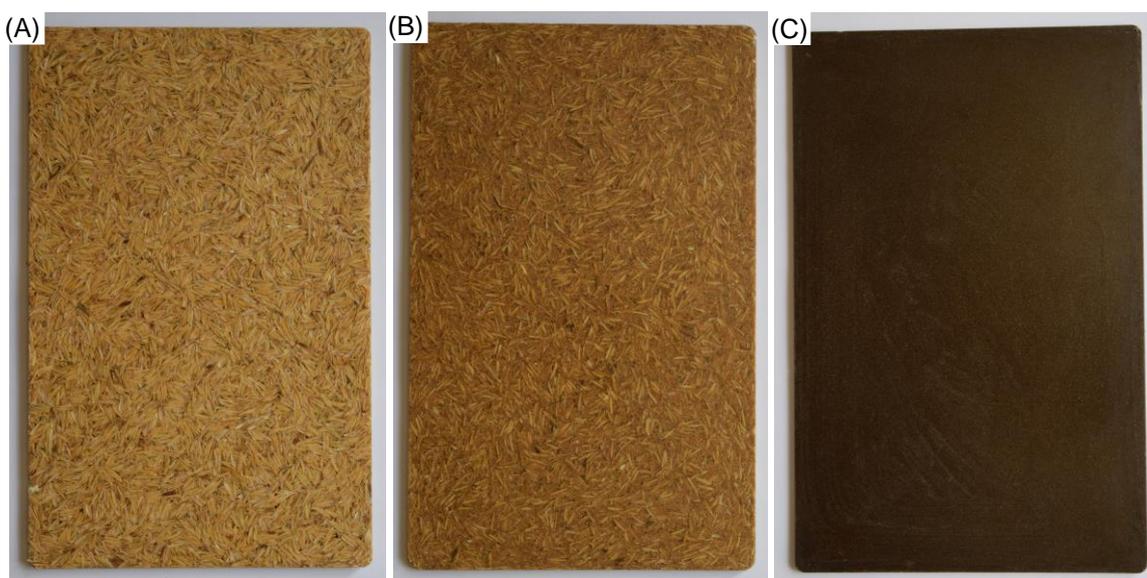
⁵ Trinca é qualquer abertura estreita, rachadura no material (HOUAISS; VILLAR, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Placas de compósitos com casca de arroz

Do processamento dos compósitos com casca de arroz e poliéster resultaram três placas: PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM, conforme podem ser observadas na Figura 54. A partir disso, foi realizada a caracterização dos compósitos e o estudo das possibilidades de emprego desses materiais no design de produto.

Figura 54: Placas de compósitos (17 cm x 27 cm): A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.



Fonte: Autora.

4.2 Caracterização dos compósitos com casca de arroz

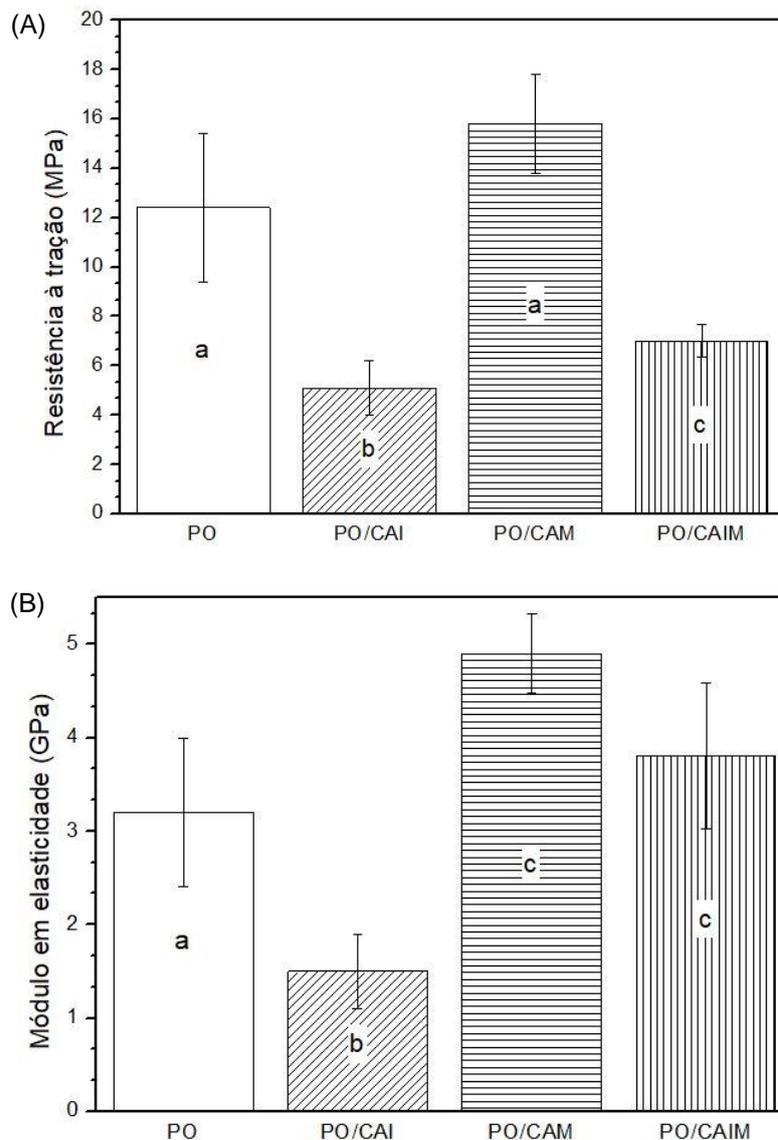
4.2.1 Ensaio Mecânico de Tração

Os resultados do ensaio de tração da matriz⁶ e dos compósitos são apresentados na Figura 55 A. Observa-se que a resistência à tração foi influenciada pelas dimensões das partículas da casca de arroz, com variações significativas. O compósito PO/CAM apresentou os melhores resultados, o que pode indicar uma boa

⁶ O alto desvio padrão do poliéster pode ter ocorrido pelo processo manual de produção dos corpos de prova.

adesão das partículas e da matriz. Em relação ao PO/CAI e ao PO/CAIM, apresentaram resistência à tração inferior a matriz, entre eles, PO/CAM apresentou o melhor resultado. Com base nos resultados da Anova, constata-se que o compósito PO/CAM apresentou comportamento semelhante à matriz, contudo, é diferente entre os compósitos, em relação ao ensaio de tração.

Figura 55: Gráficos: A) Resistência à tração da matriz e dos compósitos e B) Módulo de elasticidade da matriz e dos compósitos.



Fonte: Autora.

No estudo de Rozman *et al.* (2003), os pesquisadores verificaram que o aumento do tamanho de partícula no carregamento constante de casca de arroz diminuiu a resistência à tração do compósito. Conforme Sajith *et al.* (2017), o

tamanho da partícula pode influenciar nas propriedades mecânicas dos compósitos, devido à diferença nas interações da carga com a matriz, pois em geral, partículas menores resultam em melhores propriedades mecânicas.

Na pesquisa de Petchwattana e Covavisaruch (2013) também foi observada a influência do tamanho das partículas. Nesta investigação foram desenvolvidos compósitos com poli (cloreto de vinila) e casca de arroz com diferentes tamanhos de partículas, os resultados indicaram que o aumento no tamanho da partícula diminuiu a resistência à tração dos compósitos. Conforme os pesquisadores, as partículas maiores tendem a induzir a formação de vazios na interface da matriz com a partícula, gerando defeitos, o que pode reduzir a transferência de energia na interface.

Outro fator que também pode contribuir para os baixos valores de propriedades mecânicas dos compósitos é a quantidade elevada de carga utilizada na produção dos compósitos. Para Hardinnawirda e Sitirabiatull (2012) o aumento no conteúdo de carga também aumenta os microespaços entre a carga e a matriz, o que pode enfraquecer a adesão interfacial. No estudo realizado por Bassyouni *et al.* (2012) foi constatado que o aumento da quantidade de casca de arroz diminuiu a resistência à tração, o que pode estar associado com a aglomeração das partículas causando uma má distribuição de tensões na matriz.

Na Figura 55 B são apresentados os resultados do módulo de elasticidade da matriz e dos compósitos. Em comparação à matriz, os dados obtidos nos ensaios indicam um aumento no módulo de elasticidade com a inserção da casca de arroz no PO/CAM e no PO/CAIM. No PO/CAI ocorreu uma queda do módulo de elasticidade em relação à matriz. Com base nos resultados da Anova, constata-se que os compósitos que possuem casca de arroz moída (PO/CAM e PO/CAIM) foram mais eficazes, ou seja, com resultados semelhantes, em relação ao PO/CAI.

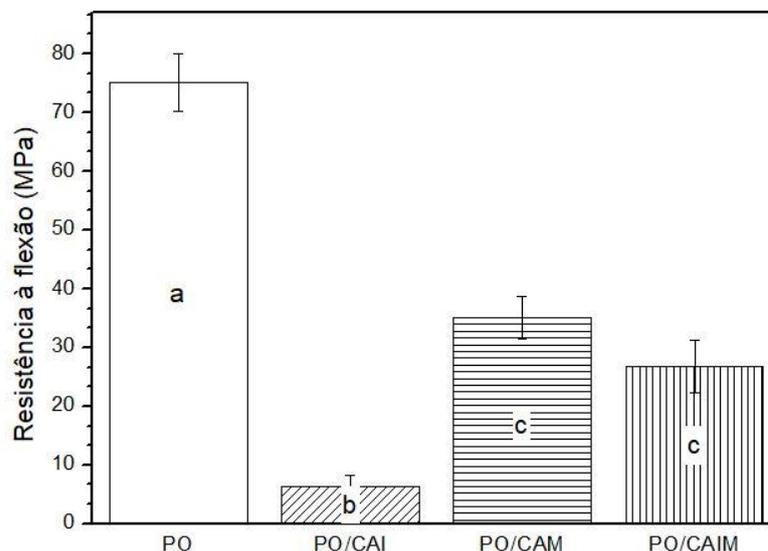
Chen *et al.* (2016) relataram que o módulo de elasticidade do compósito de polietileno de alta densidade reciclado e casca de arroz particulada com 70% (em massa) foi de 1,6 GPa. Comparando esse valor com os encontrados nessa pesquisa, os módulos para PO/CAM e PO/CAIM possuem valores maiores, no entanto, está próximo ao do compósito PO/CAI. Já o módulo de elasticidade do compósito de poliéster com bagaço de cana-de-açúcar (15% em massa) resultante

da pesquisa de Naguib *et al.* (2015) foi de 4,39 GPa, o qual está próximo dos valores dos compósitos com casca de arroz moída (PO/CAIM e PO/CAM).

4.2.2 Ensaio mecânico de flexão

No ensaio de resistência à flexão, conforme os resultados apresentados na Figura 56, todos os compósitos apresentaram resistência inferior à matriz. Entre os compósitos, o PO/CAM apresentou o melhor resultado. Neste sentido, observa-se uma tendência de decréscimo da resistência à flexão à medida que é diminuída a quantidade de casca de arroz moída. Os resultados da Anova apontam que os compósitos possuem comportamento diferente em relação ao ensaio de resistência à flexão.

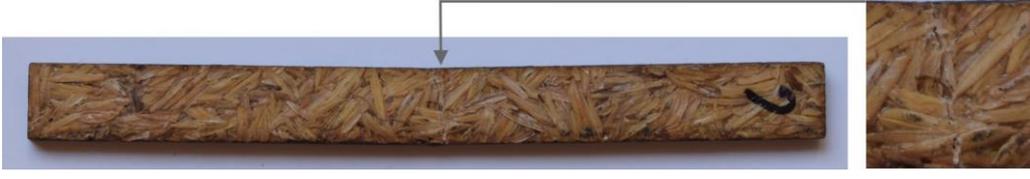
Figura 56: Resistência à flexão da matriz e dos compósitos.



Fonte: Autora.

No Quadro 6 podem ser visualizados os corpos de prova após o ensaio de flexão. Todos os corpos de prova da matriz e do PO/CAM fraturaram por completo, com fratura frágil, na primeira ocorreu fratura em duas regiões do corpo de prova, e no PO/CAM ocorreu fratura em uma região. Em todos os corpos de prova do PO/CAI e do PO/CAIM observa-se uma região de fratura, contudo, não ocorreu rompimento total dos corpos de prova.

Quadro 6: Corpos de prova fraturados após o ensaio de flexão.

Material	Corpos de prova após o ensaio de flexão
PO	
PO/CAI	
PO/CAIM	
PO/CAM	

Fonte: Autora.

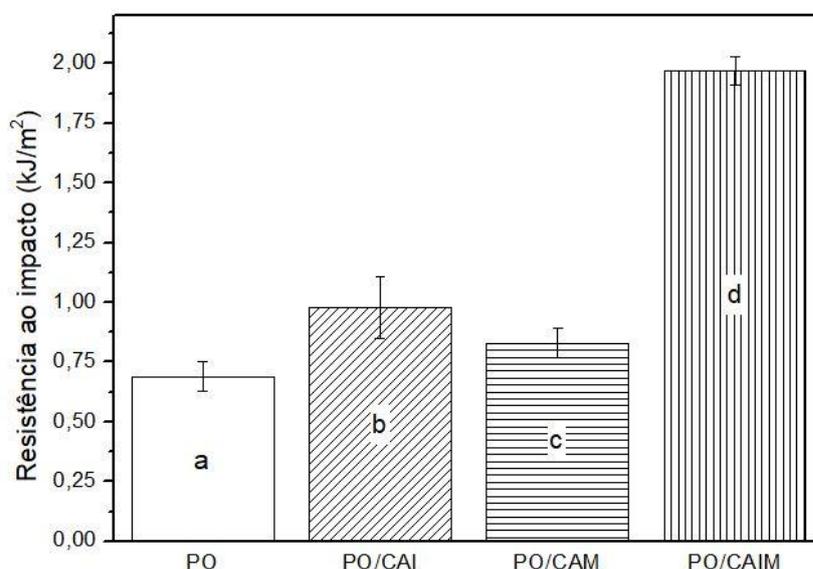
Na pesquisa realizada por Petchwattana e Covavisaruch (2013) a resistência à flexão aumentou na medida em que o conteúdo de casca de arroz aumentou de 20% para 60% em massa, que segundo os pesquisadores era esperado, pois a incorporação de materiais rígidos e ricos em sílica, como a casca de arroz, foi o principal parâmetro para que os compósitos resistissem à deformação à flexão. Contudo, a partir de 60% em massa de casca de arroz, a resistência à flexão começou a decair, o que pode estar associado à aglomeração das partículas de casca de arroz devido à quantidade elevada. Esse fato também ocorreu em compósitos de poliuretano com casca de arroz (ROZMAN *et al.*, 2003), compósitos de polipropileno com madeira (KARMARKAR *et al.*, 2007) e compósitos de poliestireno expandido com casca de arroz (CHOI *et al.*, 2006). Dessa forma, a quantidade elevada de carga utilizada nos compósitos com casca de arroz produzidos nesta pesquisa pode ter ocasionado a baixa resistência à flexão em relação à matriz.

4.2.3 Ensaio de impacto

Os resultados do ensaio de impacto indicam que o PO/CAIM absorveu maior energia de impacto, como pode ser observado na Figura 57. Esse resultado sugere que a combinação da casca de arroz inteira e moída, pode prevenir a propagação de trincas geradas no ensaio de impacto.

Em relação aos resultados de resistência ao impacto observado para o PO/CAI e PO/CAM, estes apresentaram pouco aumento em relação à matriz e ao PO/CAIM. Os resultados da Anova indicam que os compósitos possuem comportamento diferente em relação ao ensaio de impacto.

Figura 57: Resistência ao impacto da matriz e dos compósitos.



Fonte: Autora.

Conforme Bledzki *et al.* (2009), o tamanho das partículas influencia a resistência ao impacto. No estudo de Petchwattana *et al.* (2013) os compósitos com maior tamanho de partícula de casca de arroz apresentaram maior resistência ao impacto. Nesta pesquisa, verificou-se que os melhores resultados foram obtidos com os compósitos com casca de arroz inteira (PO/CAIM e PO/CAI).

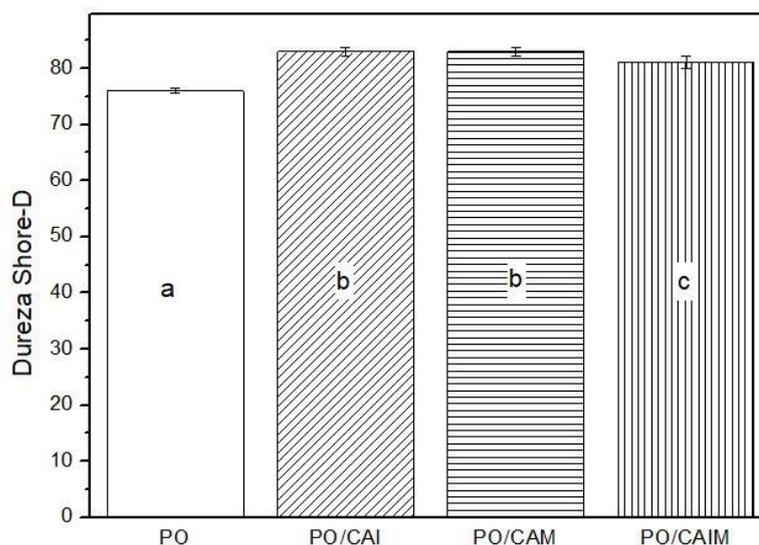
Na pesquisa de Prabu *et al.* (2017) a resistência ao impacto do compósito de poliéster e casca de arroz particulada (50% em massa) foi de 1,6 KJ/m² e do

compósito de epóxi e casca de arroz particulada (50% em massa) foi de 1,2 KJ/m². Mustapa *et al.* (2005) investigou a resistência ao impacto de compósito de polipropileno e casca de arroz com 30 e 40% em massa e verificaram que a incorporação de 40% em massa de casca de arroz resultou na diminuição da resistência ao impacto em comparação com 30% em massa de casca de arroz, de 4 KJ/m² para 2 KJ/m². Assim, o alto teor de casca de arroz nos compósitos desenvolvidos neste trabalho também pode ter influenciado na resistência ao impacto.

4.2.4 Ensaio de dureza Shore D

Os resultados do ensaio de dureza podem ser observados na Figura 58. Os resultados da Anova indicam que não há diferença significativa nos resultados de dureza.

Figura 58: Dureza Shore D da matriz e dos compósitos.



Fonte: Autora.

Sato *et al.* (2010) encontraram pouca diferença nos valores da dureza entre os compósitos com vários tamanhos de partículas. Conforme os pesquisadores, a dureza não depende do tamanho da partícula. Na pesquisa de Prabu *et al.* (2017) a dureza do compósito de poliéster e casca de arroz particulada com 50% em massa

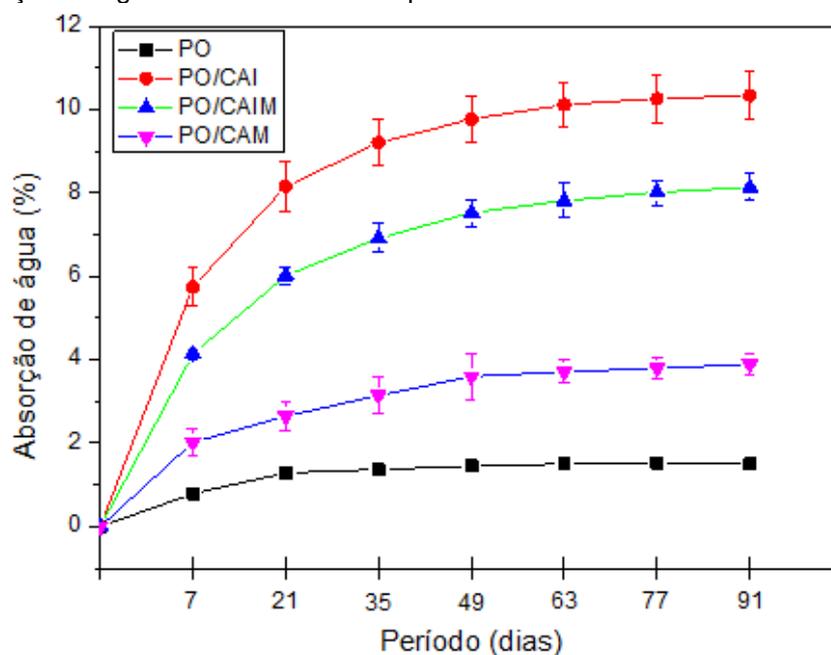
resultou em 90 Shore D, já o compósito com resina epóxi, e casca de arroz particulada com 50% em massa apresentou 80 Shore D.

Coelho (2016) investigou a dureza em compósitos de polietileno de ultra alto peso molecular e casca de arroz inteira ou moída com 40% em massa. Para o compósito com casca inteira o resultado foi de 70 Shore D e para o compósito com casca moída a dureza foi de 63 Shore D. Esse resultado também corrobora com o encontrado neste trabalho, ou seja, o tamanho das partículas de casca de arroz não influenciou significativamente na dureza.

4.2.5 Absorção de água

O resultado da absorção de água da matriz e dos compósitos pode ser verificado na Figura 59. Observa-se que a absorção de água aumentou com a inserção da casca de arroz na matriz, o que já era previsto, pois a casca de arroz é um material lignocelulósico, considerado hidrofílico (NDAZI *et al.*, 2007). A matriz e o PO/CAM absorveram menos água em todos os períodos testados até a saturação, 1,5% e 3,9% respectivamente. Os compósitos com casca de arroz inteira (PO/CAIM e PO/CAI) absorveram maior quantidade de água, 10,3% para o PO/CAI.

Figura 59: Absorção de água da matriz e dos compósitos.



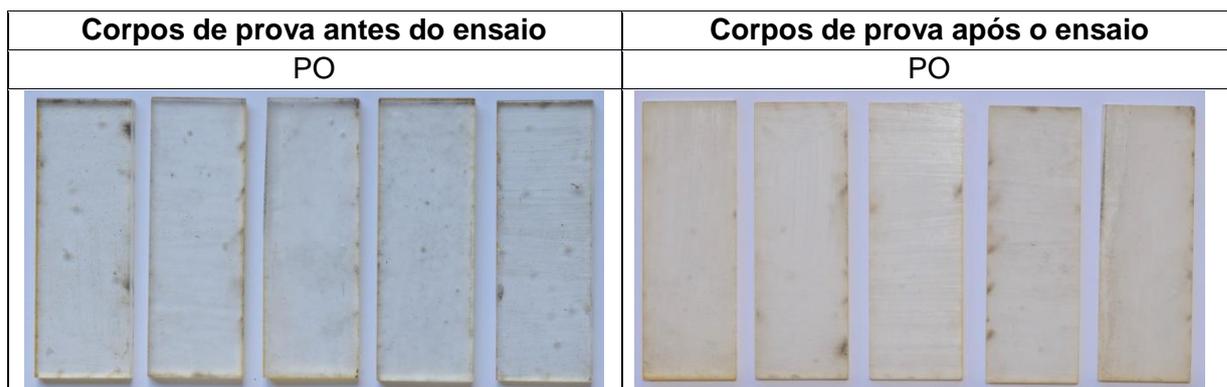
Fonte: Autora.

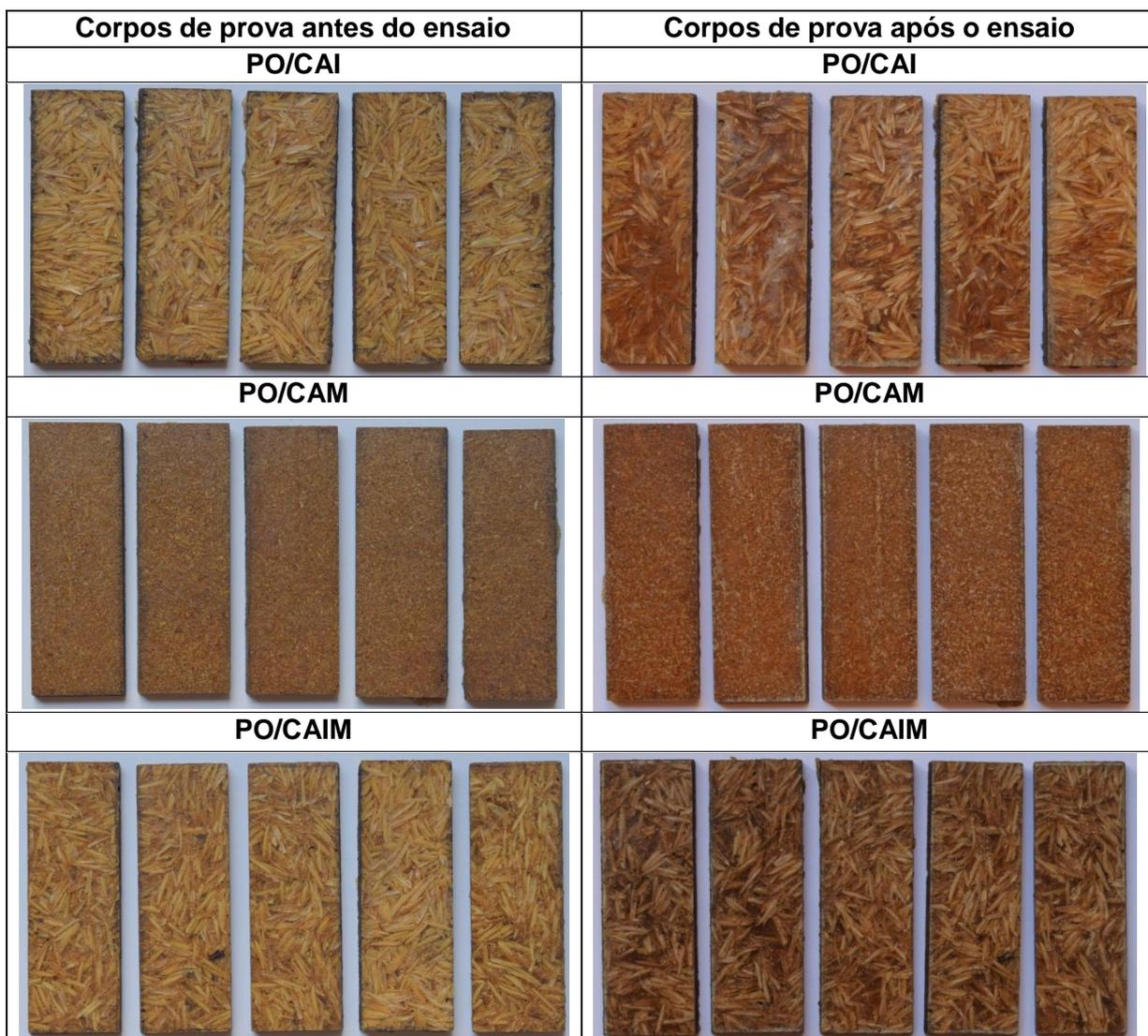
A inserção da carga na matriz aumentou a absorção de água, principalmente nos compósitos produzidos com casca de arroz inteira, o que pode estar associado à presença de vazios no compósito que podem ser provocados pelas partículas maiores (casca de arroz inteira). Além disso, para Fernandes (2015) a absorção de água em compósitos com casca de arroz está associada à porosidade da casca de arroz.

Na pesquisa de Hardinnawirda e Sitirabiatull (2012), a absorção de água também aumentou com a inserção da casca de arroz na matriz de poliéster. Para os pesquisadores, esse fato ocorreu devido à presença de vazios formados pela baixa adesão entre a carga e a matriz. Conforme os pesquisadores, quando os compósitos são expostos à umidade, a casca de arroz de natureza hidrofílica incha, o que leva ao micro craqueamento da resina gerando microfissuras e favorecendo a entrada da água até a interface do compósito, o que pode resultar no descolamento da carga e da matriz.

No Quadro 7 pode-se visualizar os corpos de prova antes e após o ensaio de absorção de água. Observa-se que nos corpos de prova que passaram pelo ensaio de absorção de água ocorreu a modificação na coloração devido ao contato com a água. A matriz tornou-se opaca e com coloração levemente amarelada, nos corpos de prova de PO/CAI surgiram manchas esbranquiçadas, nos corpos de prova de PO/CAM ocorreu o desbotamento da coloração. Constatou-se que em todos os compósitos a superfície tornou-se levemente mais áspera após o ensaio de absorção de água.

Quadro 7: Corpos de prova antes e após o ensaio de absorção de água.





Fonte: Autora.

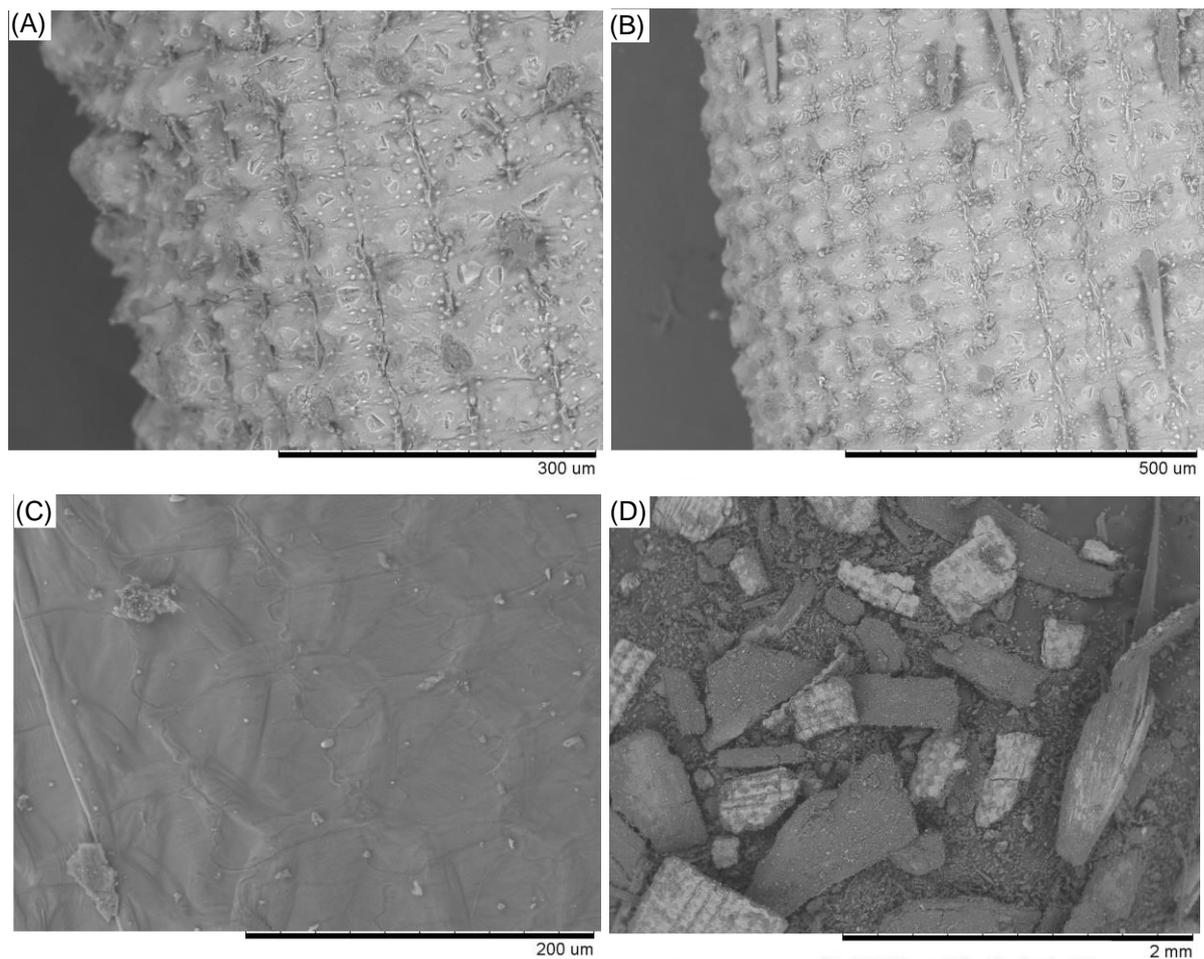
4.2.6 Microscopia da casca de arroz e da superfície de fratura dos compósitos com casca de arroz

Na Figura 60 pode ser visualizada a morfologia da casca de arroz, inteira (Figura 60 A, 60 B e 60 C) e da casca de arroz moída (Figura 60 D e 60 E). A partir da observação da superfície externa da casca de arroz, verificam-se cutículas, conforme ilustra a Figura 60 A. Em algumas regiões da superfície externa há tricomas em forma de espinhos (Figura 60 B), que são constituídos principalmente por sílica do tipo opalina. O conteúdo de sílica da superfície externa da casca de arroz torna-a abrasiva e resistente à umidade e o alto teor de minerais e o tipo de lignina (diferente da madeira) reduz sua biodegradabilidade (BASSYOUNI; HASAN,

2015). A epiderme interna possui aspecto liso (Figura 60 C) e é a região onde se encontra maior concentração de celulose e lignina (DELLA *et al.*, 2006).

Após a moagem da casca de arroz, o tamanho das partículas foi reduzido resultando em diferentes formas e tamanhos (710 μ , 500 μ e 250 μ) (Figura 60 D). Observa-se que as partículas mantiveram a superfície externa irregular, e, as partículas com superfícies lisas correspondem à parte interna da casca de arroz.

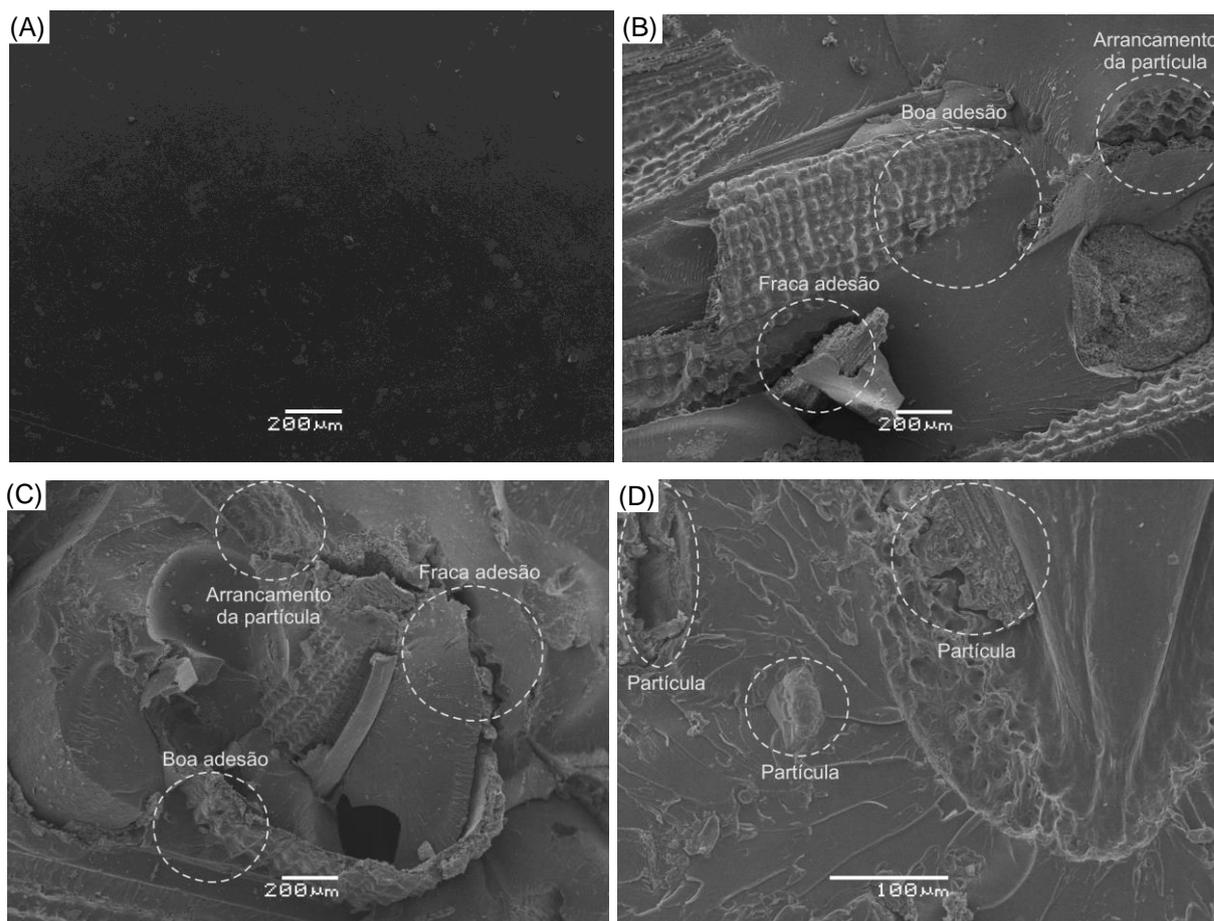
Figura 60: Micrografias da casca de arroz: A) Superfície externa com cutículas, B) Tricomas (em forma de espinhos), C) Superfície interna, D) Casca de arroz moída.



Fonte: Autora.

Na Figura 61, é possível visualizar a superfície fraturada da matriz e dos compósitos que passaram pelo ensaio de tração.

Figura 61: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz: A) PO, B) PO/CAI, C) PO/CAM e D) PO/CAIM.



Fonte: Autora.

Nas imagens das Figuras 61 B e 61 C podem ser observadas três situações: regiões com boa interação interfacial entre a casca de arroz e a matriz, fraca adesão, em regiões com vazio entre a carga e a matriz; e, regiões com arrancamento da casca de arroz, onde se observa a forma da superfície externa da casca de arroz na matriz.

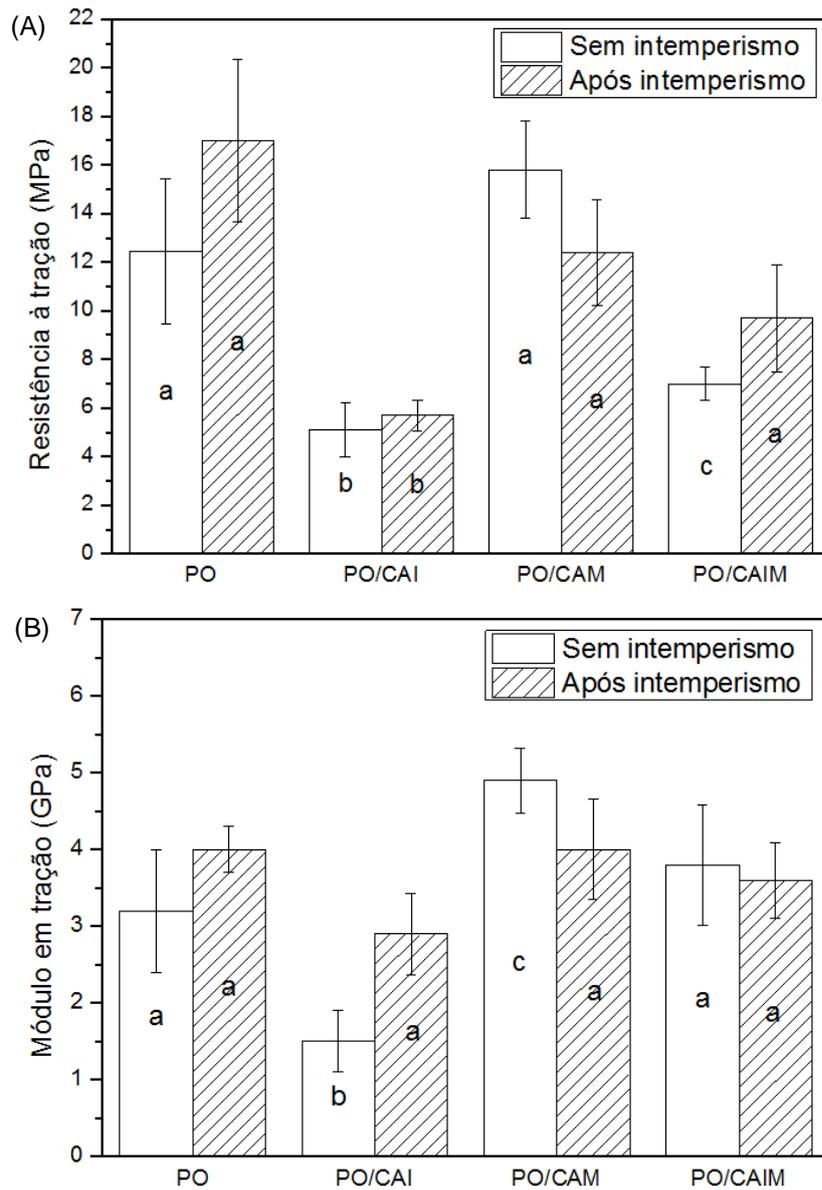
O fato de haver regiões nos compósitos em que não ocorreu boa adesão das fases pode justificar os baixos valores das propriedades mecânicas em relação à matriz, além dos diferentes tamanhos e formas irregulares da casca de arroz e da elevada quantidade de carga. Portanto, a observação das micrografias dos compósitos fornece evidências visuais das propriedades mecânicas pouco elevadas.

4.3 Efeitos do intemperismo nas propriedades mecânicas, na morfologia da superfície e nos aspectos visuais dos compósitos com casca de arroz

4.3.1 Efeitos do intemperismo nas propriedades mecânicas

Na Figura 62 podem ser observados os resultados da resistência à tração dos corpos de prova antes e após o ensaio de intemperismo natural.

Figura 62: Gráficos: A) Resistência à tração da matriz e dos compósitos antes e após o ensaio de intemperismo natural e B) Módulo de elasticidade em tração da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.



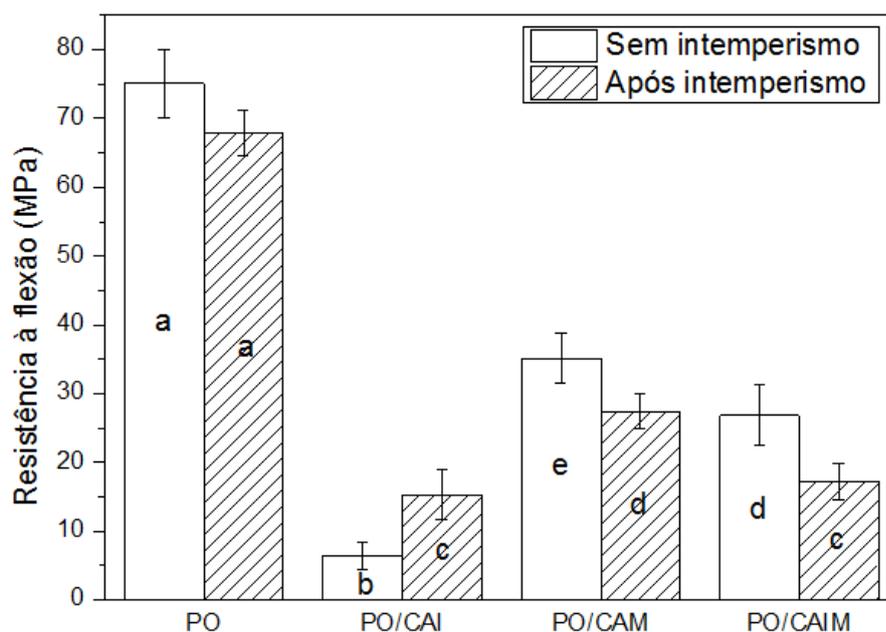
Fonte: Autora.

Conforme pode ser observado no gráfico, os valores de resistência à tração dos compósitos e da matriz antes e após o intemperismo encontram-se na faixa do desvio padrão, assim, é possível afirmar que não ocorreu variação significativa em relação a essa propriedade. Desse modo, o intemperismo natural não modificou a resistência à tração dos compósitos estudados.

Na Figura 62, é possível observar os resultados do módulo de elasticidade da matriz e dos compósitos antes e após a exposição às condições climáticas. A exposição ao intemperismo durante o período avaliado modificou o módulo de elasticidades somente do PO/CAI, ocorrendo melhora nesta propriedade. Em relação aos outros compósitos (PO/CAM e PO/CAIM) e a matriz, não ocorreu modificação em relação ao módulo de elasticidade, pois os valores dessa propriedade encontram-se na faixa do desvio padrão.

No gráfico da Figura 63 podem ser visualizados os resultados do ensaio de resistência à flexão da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo.

Figura 63: Resistência à flexão da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.



Fonte: Autora.

Os resultados indicam que a exposição ao intemperismo alterou essa propriedade nos compósitos com casca de arroz. No que diz respeito aos compósitos, no PO/CAI a alteração na flexão foi positiva após o intemperismo. Em

relação ao PO/CAIM e ao PO/CAM apresentaram comportamento semelhante, ou seja, com um leve decréscimo na resistência à flexão. Assim, o fato desses compósitos apresentarem uma diminuição nessa propriedade pode ser devido aos dois compósitos possuírem casca de arroz moída em sua constituição, a qual pode ter sido mais alterada com a exposição ao intemperismo.

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados referentes aos ensaios de dureza e resistência ao impacto da matriz e dos compósitos expostos ao intemperismo.

Tabela 4: Dureza e resistência ao impacto da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo.

Material	Dureza (Shore D)		Resistência ao impacto (kJ/m^2)	
	Antes	Depois	Antes	Depois
PO	76 ± 0^a	81 ± 0^b	0.69 ± 0.06^a	1.39 ± 0.13^b
PO/CAI	83 ± 1^c	75 ± 1^d	0.98 ± 0.13^c	2.59 ± 0.30^d
PO/CAIM	81 ± 1^b	81 ± 1^b	1.97 ± 0.06^e	2.44 ± 0.58^d
PO/CAM	81 ± 1^c	87 ± 1^e	0.83 ± 0.06^f	0.99 ± 0.10^c

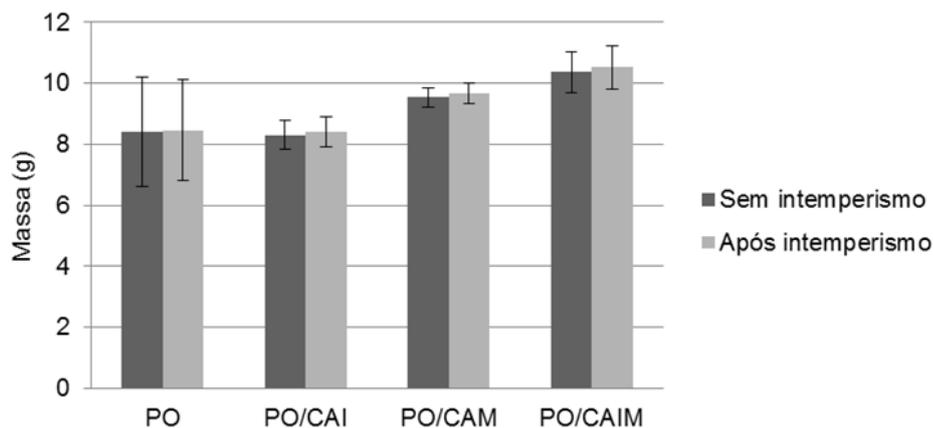
Fonte: Autora.

Em relação à dureza, nota-se que a matriz e o PO/CAM tiveram um aumento após o intemperismo, já no PO/CAI ocorreu um decréscimo na dureza, e no PO/CAIM não ocorreu alteração no resultado. Ainda na Tabela 4, podem ser visualizados os resultados da resistência ao impacto dos materiais estudados. Verifica-se que há um aumento dos valores após 6 meses de exposição ao intemperismo tanto na matriz como nos compósitos. O compósito que obteve maior aumento da resistência ao impacto foi o PO/CAI, e o que menos aumentou a resistência ao impacto foi o PO/CAM.

4.3.2 Efeitos do intemperismo sobre a massa

No gráfico da Figura 64 pode-se observar a massa dos corpos de prova da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.

Figura 64: Massa da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo natural.



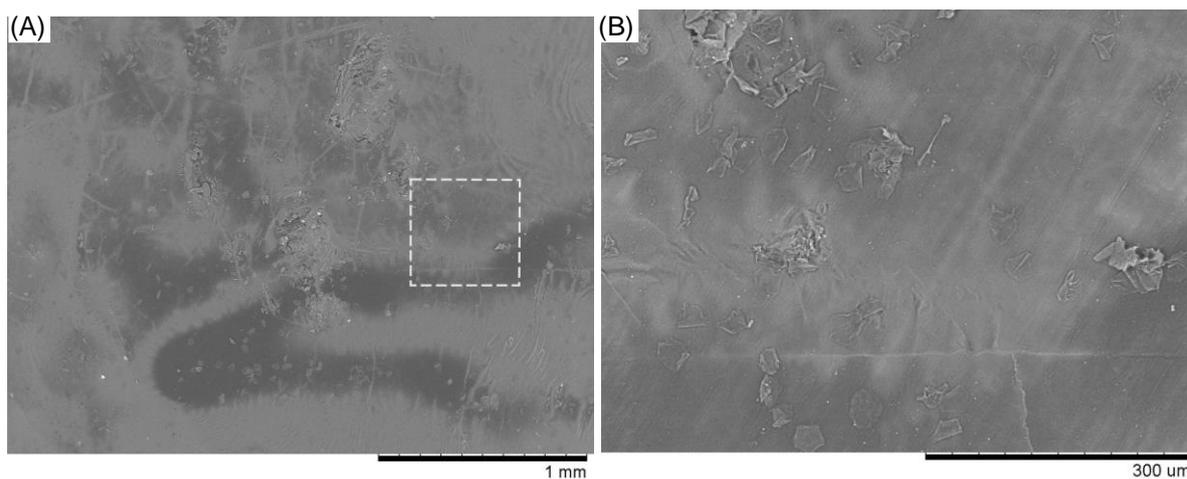
Fonte: Autora.

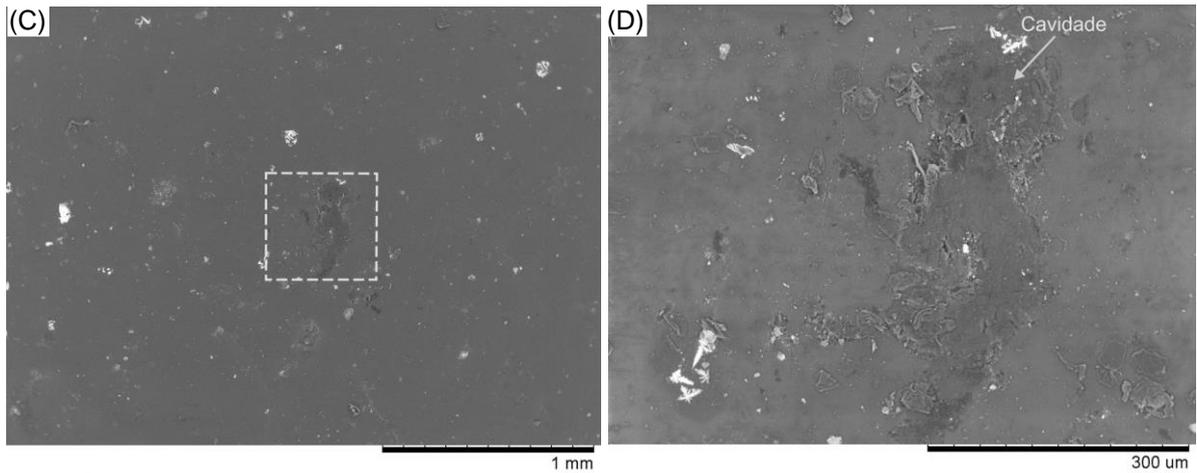
Conforme pode ser observado no gráfico, não houve variação significativa da massa da matriz e dos compósitos com o ensaio de intemperismo. Esse resultado é positivo, uma vez que, o compósito mantém-se aparentemente íntegro quando avaliado apenas o valor da massa.

4.3.3 Efeitos do intemperismo natural na morfologia dos compósitos com casca de arroz

Na Figura 65 podem ser visualizadas as imagens obtidas via MEV da superfície da matriz antes e após o intemperismo.

Figura 65: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) Matriz antes do intemperismo, B) Detalhe, C) Matriz após o intemperismo, D) Detalhe.



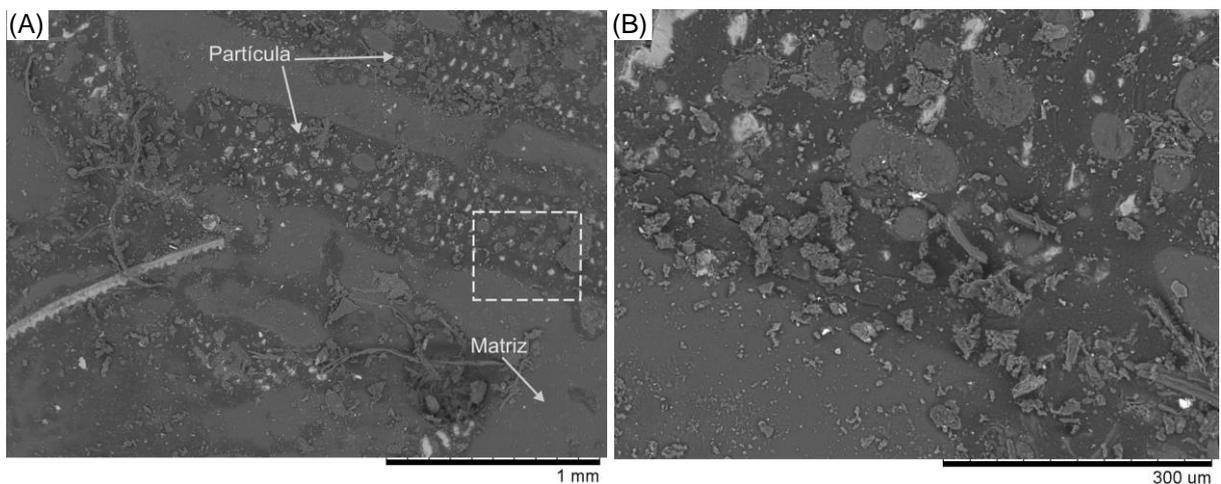


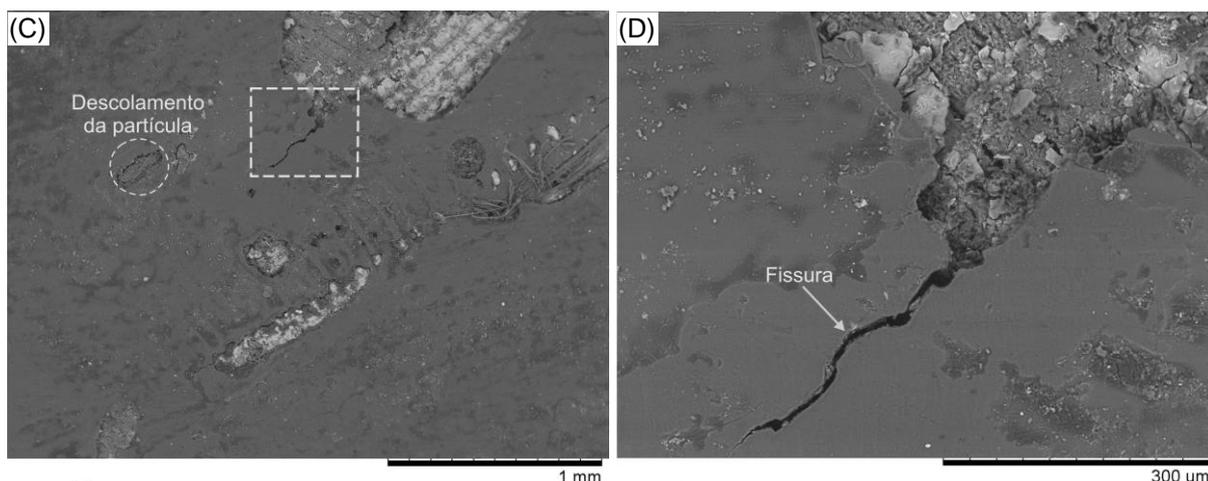
Fonte: Autora.

Nas Figuras 65 A e 65 C, pode ser observado que não ocorreram modificações significativas na matriz, como fissuras, trincas e rachaduras, após o ensaio de intemperismo. Observa-se uma massa praticamente homogênea com algumas impurezas e vazios superficiais.

Na Figura 66 podem ser visualizadas as imagens da superfície do PO/CAI antes e após o intemperismo natural.

Figura 66: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAI antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAI após o intemperismo, D) Detalhe.





Fonte: Autora.

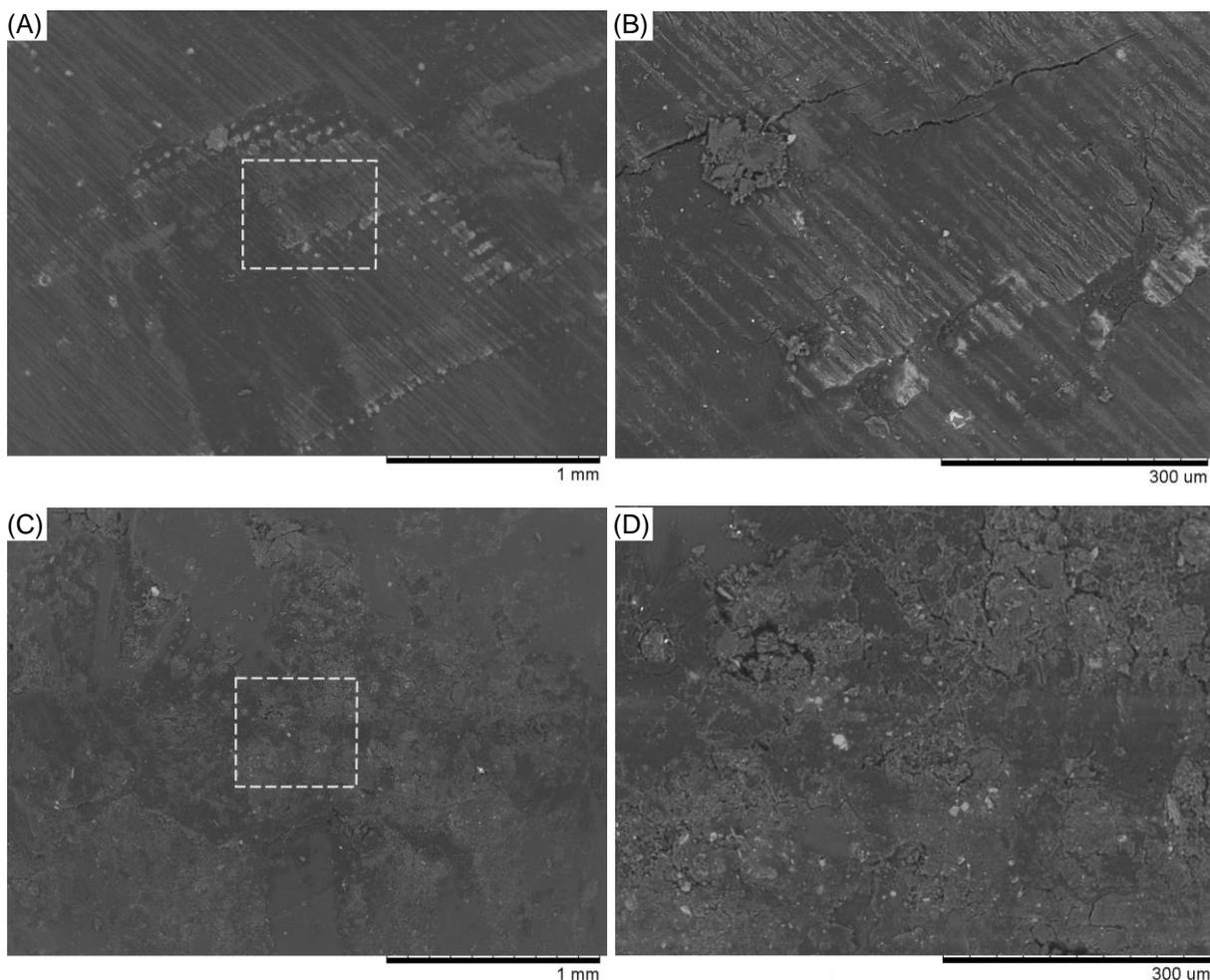
Nas micrografias é possível observar que antes do intemperismo (Figura 66 A) as partículas de casca de arroz apresentavam-se mais cobertas pelo polímero, e após o intemperismo (Figura 66 C) as partículas afloraram. Dessa forma, com o desgaste da resina na superfície do compósito, as partículas ficaram mais expostas à umidade, à radiação ultravioleta e à temperatura, o que pode ter causado a fissura vista no detalhe da Figura 66 B e o descolamento das partículas da matriz, além da fragmentação das partículas de casca de arroz na superfície do compósito.

De acordo com Joseph *et al.* (2002) as fissuras superficiais nos compósitos podem ser causadas por tensões térmicas durante a exposição ao ar livre devido às variações de temperatura entre dia e noite ou devido às tensões residuais de tração que se desenvolvem na superfície de alguns polímeros durante o intemperismo. A fotodegradação do polímero e o inchaço das partículas de fibra vegetal também podem causar a formação de fissuras na superfície dos compósitos (BUTYLINA *et al.*, 2012). De acordo com BADJI *et al.* (2018) a absorção de água pelas fibras vegetais pode provocar o descolamento das fibras.

O PO/CAI foi o que apresentou melhores resultados gerais nas propriedades mecânicas após o intemperismo, assim, os danos observados nas micrografias, provavelmente, concentram-se na superfície dos compósitos. Além disso, percebe-se que esses danos ocorreram próximos das partículas (Figura 67 C) e que a matriz permaneceu íntegra.

Na Figura 67 podem ser visualizadas as imagens da superfície do PO/CAIM antes e após o intemperismo natural.

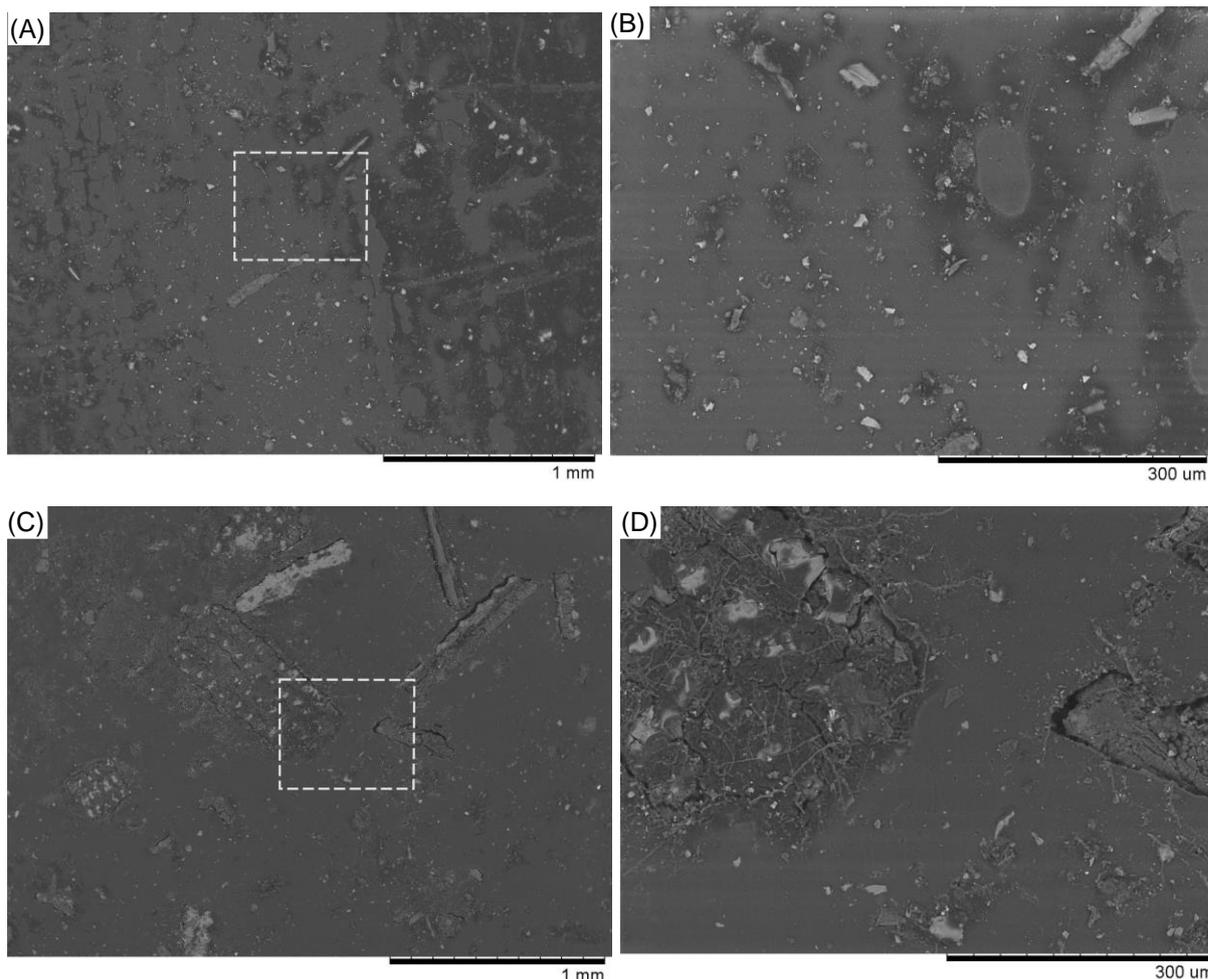
Figura 67: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAIM antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAIM após o intemperismo, D) Detalhe.



Fonte: Autora.

Observa-se um comportamento diferente principalmente na matriz em relação aos outros compósitos. Antes do ensaio de intemperismo é possível observar as partículas de casca de arroz no compósito (Figura 67 A), no entanto, após o ensaio não é possível identificar as partículas (Figura 67 C). No detalhe da Figura 68 D observa-se a fragmentação da matriz que provavelmente iniciou nas regiões onde se encontram as partículas de casca de arroz por meio da degradação destas, ocorrida pelas condições climáticas. Esse fato pode ter influenciado na queda no módulo de elasticidade e na resistência à flexão do PO/CAIM, contudo, provavelmente, a degradação tenha ocorrido somente na superfície dos compósitos, já que não ocorreu diminuição acentuada nessas propriedades e a resistência à tração não foi afetada negativamente. Na Figura 68 podem ser visualizadas as imagens da superfície do PO/CAM antes e após o intemperismo natural.

Figura 68: Micrografias da matriz e dos compósitos com casca de arroz antes e após o intemperismo: A) PO/CAM antes do intemperismo, B) Detalhe, C) PO/CAM após o intemperismo, D) Detalhe.



Fonte: Autora.

É possível observar que antes do intemperismo (Figura 68 A) as partículas de casca de arroz apresentavam-se mais recobertas pela matriz, ao passo que após o intemperismo as partículas afloraram, como mostra a Figura 68 C. Dessa forma, com o desgaste da resina na superfície do compósito, as partículas ficaram expostas à umidade, à radiação ultravioleta e à temperatura, o que pode ter gerado o afloramento das partículas. No compósito PO/CAM, nota-se que a matriz permaneceu íntegra.

Portanto, de maneira geral, a exposição às condições climáticas não afetou significativamente os compósitos. No PO/CAI e no PO/CAIM, observaram-se algumas falhas e fissuras que aparentam ser superficiais. A presença de partículas maiores pode ter atuado como um obstáculo, obstruindo a propagação de falhas. Isso poderia explicar a maior estabilidade de desempenho mecânico do PO/CAI e do

PO/CAIM sob o intemperismo natural. Logo, o ensaio de intemperismo natural, durante o período avaliado (6 meses), demonstrou que a alteração nas propriedades mecânicas pode estar relacionada com o tamanho das partículas de casca de arroz.

4.3.4 Efeitos do intemperismo nos aspectos visuais dos compósitos com casca de arroz

Na Tabela 5 são apresentadas as imagens dos corpos de prova antes e após o ensaio de intemperismo natural.

Tabela 5: Corpos de prova da matriz e dos compósitos antes e após o intemperismo.

Intemperismo natural		
Corpos de prova	0 meses	6 meses
PO		
PO/CAI		

Intemperismo natural		
Corpos de prova	0 meses	6 meses
PO/CAIM		
PO/CAM		

Fonte: Autora.

Pode-se observar que a exposição ao intemperismo provocou alterações no aspecto visual dos materiais (matriz e compósitos). Em relação à matriz, nota-se que ocorreu o amarelamento dos corpos de prova, que é causado, principalmente, pela radiação solar (ANDRADY *et al.*, 1998).

No PO/CAI observa-se que após o intemperismo a coloração da casca de arroz na superfície do compósito apresenta-se acinzentada. Esse fato também foi observado no PO/CAIM, porém, com menor intensidade, já que esse compósito possui menor quantidade de casca inteira. Devido ao desgaste da matriz polimérica, ocorreu o afloramento da casca de arroz, assim, na superfície do compósito as partículas ficaram expostas aos agentes de degradação e, provavelmente esse fato provocou a modificação na coloração. Rahman *et al.* (2010b) realizaram o ensaio de intemperismo natural em compósitos de polietileno e casca de arroz por 4 meses e também observaram que os corpos de prova apresentaram a coloração acinzentada. No PO/CAM, as partículas de casca de arroz também afloraram com o desgaste da matriz.

Mohanty *et al.* (2000) afirma que o processo de degradação fotoquímica por radiação ultravioleta ocorre quando as fibras vegetais são expostas a ambientes externos. Inicialmente, a degradação ocorre na lignina que é responsável pela mudança de cor da fibra. De acordo com Soccalingame *et al.* (2015) a descoloração da casca de arroz ocorre devido à transformação das estruturas cromóforas presentes na lignina em estruturas hidroquinônicas, provocada por um mecanismo de fotodegradação.

4.4 Possibilidades de aplicação dos compósitos com casca de arroz no design de produto

4.4.1 Análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz

Para a seleção e posterior análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz foram utilizados os valores da resistência à tração e do módulo de elasticidades do PO/CAI, PO/CAIM e do PO/CAM, conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6: Valores de resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAI, PO/CAIM e do PO/CAM, para a seleção de materiais.

Propriedades	PO/CAI	PO/CAIM	PO/CAM
Resistência à tração (MPa)	5,1 ± 1,11	7 ± 0,66	15,8 ± 1,99
Módulo de elasticidade (GPa)	1,5 ± 0,40	3,8 ± 0,78	4,9 ± 0,42

Fonte: Autora.

A partir dos valores da resistência à tração e do módulo de elasticidade do PO/CAI e do PO/CAIM, o software de seleção de materiais selecionou os materiais apresentados na Tabela 7. Cabe destacar que o software selecionou os mesmos materiais para os valores das propriedades dos compósitos PO/CAI e PO/CAIM. Observa-se que foram selecionados materiais sintéticos e naturais que correspondem às seguintes classes de materiais: elastômero, polímero e natural.

Tabela 7: Materiais selecionados pelo software a partir dos valores da resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAI e do PO/CAIM.

Materiais selecionados	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Borracha butílica	5 - 10	0,001 – 0,002
Cortiça	0,5 – 2,5	0,13 – 0,05
Espuma de polímero flexível (LD)	0,24 – 2,35	0,001 – 0,003
Espuma de polímero flexível (MD)	0,43 – 2,95	0,004 – 0,012
Espuma de polímero flexível (VLD)	0,24 – 0,85	0,001
Policloropreno (neoprene)	3,4 - 24	0,002
Espuma de polímero rígido (HD)	1,2 – 12,4	0,2 – 0,48
Espuma de polímero rígida (LD)	0,45 – 2,25	0,023 – 0,08
Espuma de polímero rígida (MD)	0,65 – 5,1	0,08 – 0,2
Elastômeros de silicone	2,4 – 5,5	0,005 – 0,02
Madeira pinus	3,2 – 3,9	0,6 – 0,9

Fonte: Autora.

Em relação aos materiais selecionados (Tabela 7), a borracha butílica, cortiça, espuma de polímero flexível (LD, MD, VLD), policloropreno (neoprene), espuma de polímero rígido (HD, LD, MD) e elastômero de silicone, possuem valores de módulo de elasticidade baixos em relação aos compósitos (1,5 GPa para o PO/CAI e 3,8 GPa para o PO/CAIM). Desse modo, apesar dos valores do módulo de elasticidade dos materiais selecionados pelo software se situarem na faixa inferior dos valores máximos dessa propriedade em relação aos compósitos (PO/CAI e PO/CAIM), os mesmos não atendem as possíveis aplicações dos materiais selecionados, como por exemplo, a flexibilidade exigida dos elastômeros, e por isso foram excluídas as possíveis aplicações relacionadas aos materiais selecionados para os compósitos PO/CAI e PO/CAIM.

Além dos materiais já mencionados, foi selecionada a madeira pinus (Tabela 7), a qual possui módulo de elasticidade mais próximo, em relação aos outros materiais selecionados, ao do PO/CAI (1,5 GPa) e do PO/CAIM (5,1 GPa), e a resistência à tração também está próxima ao valor do PO/CAI (5,1 MPa) e do PO/CAIM (7 MPa). Dessa forma, a madeira pinus possui atributos tangíveis próximos, e, além disso, as aplicações relacionadas a madeira pinus indicam possibilidades de aplicação, conforme será demonstrado, para os compósitos PO/CAI e PO/CAIM.

Na Tabela 8 podem ser visualizados os materiais selecionados a partir dos valores de resistência à tração (15,8 MPa) e módulo de elasticidade (4,9 GPa) do PO/CAM.

Tabela 8: Materiais selecionados pelo software a partir dos valores da resistência à tração e módulo de elasticidade do PO/CAM.

Materiais selecionados	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Borracha butílica	5 - 10	0,001 – 0,002
Cortiça	0,5 – 2,5	0,13 – 0,05
Espuma de polímero flexível (LD)	0,24 – 2,35	0,001 – 0,003
Espuma de polímero flexível (MD)	0,43 – 2,95	0,004 – 0,012
Espuma de polímero flexível (VLD)	0,24 – 0,85	0,001
Espuma de metal	0,7 – 2,5	0,45 – 1,12
Policloropreno (neoprene)	3,4 - 24	0,002
Espuma de polímero rígido (HD)	1,2 – 12,4	0,2 – 0,48
Espuma de polímero rígida (LD)	0,45 – 2,25	0,023 – 0,08
Espuma de polímero rígida (MD)	0,65 – 5,1	0,08 – 0,2
Elastômeros de silicone	2,4 – 5,5	0,005 – 0,02
Madeira pinus	3,2 – 3,9	0,6 – 0,9
Madeira de lei	7,1 – 8,7	4,5 – 5,8
MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>)	8,5 - 21	1,8 – 3,2

Fonte: Autora.

Os materiais selecionados conforme as propriedades do PO/CAM também foram selecionados para os outros compósitos (PO/CAI e PO/CAIM), pois os valores de resistência à tração e o módulo de elasticidade desses são maiores em relação aos do PO/CAI e PO/CAIM. Dessa forma, além dos materiais selecionados para o PO/CAI, e PO/CAIM o software selecionou a madeira de lei e o MDF.

Assim como os valores do módulo de elasticidade do PO/CAI e PO/CAIM, conforme já discutido, o valor dessa mesma propriedade do PO/CAM também não atende as possíveis aplicações dos materiais selecionados para a borracha butílica, cortiça, espuma de polímero flexível (LD, MD, VLD), policloropreno (neoprene), espuma de polímero rígido (HD, LD, MD) e elastômero de silicone.

De outra parte, o módulo de elasticidade do PO/CAM (4,9 GPa) está mais próximo do valor dessa propriedade da madeira de lei e MDF, em comparação com os outros materiais selecionados pelo software. Além disso, a resistência à tração desses materiais também está próxima ao valor dessa propriedade do PO/CAM (15,8 MPa), em relação aos outros materiais selecionados.

Entre os materiais selecionados, a madeira pinus, madeira de lei e MDF são os que possuem atributos tangíveis mais próximos aos dos compósitos com casca de arroz, respectivamente, o primeiro material para os 3 compósitos (PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM) e os outros 2 materiais para o PO/CAM. A partir disso, foram verificados no software os usos para esses materiais, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Principais usos da madeira pinus, madeira de lei e MDF conforme o software de seleção de materiais.

Material	Principais usos
Madeira pinus	Pisos, móveis, contêineres, tanoaria, dormentes (quando tratados), construção civil, caixas, engradados e paletes, revestimentos e como matéria-prima para compensados, aglomerados e painéis.
Madeira de lei	Pavimentos, escadas, móveis, escultura, artigos de madeira, caixilhos, portas, molduras.
MDF	Indústria moveleira: armários, gavetas, portas, cadeiras, mesas, camas, painéis e outros.

Fonte: Autora.

Levando em consideração o objetivo dessa etapa da pesquisa, que consiste no estudo das possibilidades de emprego dos compósitos com casca de arroz no design de produto, nas próximas seções será realizado o estudo das possibilidades de emprego dos compósitos no design de móveis, pois as outras aplicações apontadas pelo software para a madeira de lei, MDF e pinus, são relacionadas a aplicações que não contemplam o design de produto.

4.4.2 Análise sincrônica de produtos da indústria moveleira

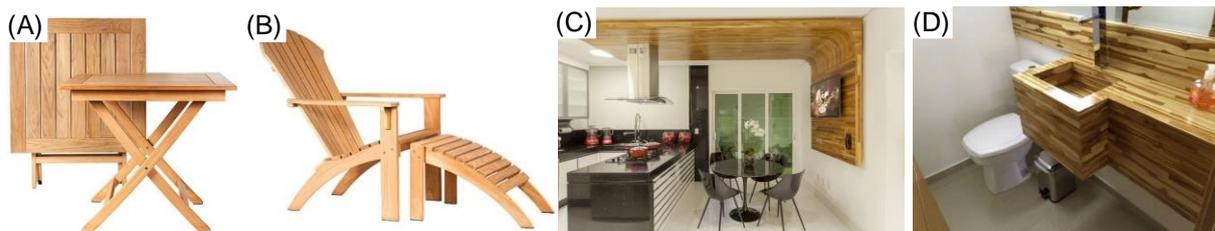
A madeira é um material muito conhecido sendo utilizada desde os primórdios da humanidade em ferramentas, utensílios e outros (NAVARO, 2006). Para uso na indústria moveleira, são classificadas em madeiras de lei e painéis de madeira reconstituída, que corresponde ao MDF e ao *Medium Density Particleboard* (MDP). As madeiras de lei são extraídas de árvores e são muito utilizadas para a produção de móveis de qualidade e de alto padrão. O MDF e MDP são painéis feitos a partir de madeira reconstituída e são usados pela indústria de móveis planejados (ROSA *et al.*, 2007).

No Brasil, os móveis de madeira, que detêm expressiva parcela do valor total da produção do setor, são segmentados em dois tipos: retilíneos, com design simples, cuja matéria-prima principal é constituída por painéis de madeira reconstituída (MDF e MDP), e torneados, que possuem detalhes mais sofisticados de acabamento com formas retas e curvilíneas, e cuja principal matéria-prima é a madeira de lei, também chamada de maciça. Com o avanço da tecnologia e do desenvolvimento de materiais, as madeiras de lei passaram a ser utilizadas também na forma de lâminas aplicadas sobre painéis de MDF e MDP, o que otimiza a utilização dessa matéria-prima, pois, atualmente diversas espécies de árvores de madeiras de lei encontram-se escassas (ZEMAD, 2018).

Na produção brasileira de móveis de madeira é utilizada cerca de 59% de madeira maciça serrada e 41% de madeira industrializada. A madeira serrada é composta de 26% de pinus e 33% de madeira de lei, obtida principalmente de florestas naturais. A madeira industrializada é utilizada na forma de painéis de MDF, MDP e aglomerados (ROSA *et al.*, 2007). Dessa forma, a madeira de lei, obtida de florestas naturais, continua sendo bastante utilizada, assim, a busca por novas alternativas com menor impacto ambiental torna-se essencial para a preservação das espécies de árvores e para atender a demanda do setor moveleiro.

Conforme Rosa *et al.* (2007) os principais tipos de madeiras utilizados para a fabricação de móveis são as seguintes: jacarandá, mogno, imbuia, cerejeira, freijó, nogueira, marfim, pinus, cedro, carvalho, teca, madeira de demolição e painéis de madeira reconstituída (MDF e MDP). Em relação aos móveis fabricados com madeira teca (Figura 69), há móveis para uso interno e externo, como a mesa (Figura 69 A) e a espreguiçadeira (Figura 69 B) para ambientes externos. Em relação ao design desses móveis, predominam as formas retas e simples, fabricados com ripas de madeira, característica comum de móveis para ambientes externos. Além dos exemplos de móveis com madeira teca utilizados em ambientes externos, há também exemplos desse material aplicado em móveis para ambientes internos, nesse caso, a madeira teca está sendo utilizada em ambientes requintados, como na cozinha com um painel de madeira teca que contorna a parede até o teto (Figura 69 C), e na bancada com cuba para banheiro (Figura 69 D), que remetem ao estilo moderno.

Figura 69: Móveis em madeira teca: A) Mesa, B) Espreguiçadeira, C) Pannel e D) Bancada e cuba para banheiro.



Fonte: Woodsecondchance (2018), Francino (2018).

Conforme os exemplos da Figura 70, a madeira carvalho tem sido aplicada em móveis com design retrô, como pode ser observado no aparador com formas retas e pés palito (Figura 70 A). Além disso, essa madeira é empregada em móveis com linhas retas e geométricas como a mesa da Figura 70 B e do criado mudo da Figura 70 C, e em mesa de jantar (Figura 70 D) em estilo clássico.

Figura 70: Móveis em madeira carvalho: A) Aparador, B) Mesa, C) Criado mudo e D) Mesa de jantar.



Fonte: Woodsecondchance (2018), Francino (2018).

Em relação aos móveis com madeira marfim, a pesquisa resultou em móveis para dormitórios, como o armário para roupas (Figura 71 A), cama (Figura 71 B) e móveis para quarto de bebê (Figura 71 C), possivelmente, por ser uma madeira clara e delicada para um ambiente de descanso como o quarto. Observa-se que predomina o estilo moderno nos móveis com madeira marfim.

Figura 71: Móveis em madeira marfim: A) Armário para roupas, B) Cama, C) e D) Móveis para quarto de bebê.



Fonte: Ciabistro (2018), Lojaskd (2018).

Em relação à madeira pinus, foram encontrados móveis com estilo moderno como as mesas de jantar e painel com formas retilíneas (Figura 72 A e 72 B). Além disso, há o aparador em estilo clássico e o criado mudo com 4 gavetas empilhadas de forma assimétrica e desconstruída, com estampas em cores delicadas, possuem pés palito que remetem ao estilo retrô. Em todos os exemplos de móveis observam-se as fibras e os nós inerentes da madeira pinus.

Figura 72: Móveis em madeira pinus: A) Mesa de jantar, B) Mesa de jantar e painel, C) Aparador e D) Criado mudo.



Fonte: Boobam (2018), Imaginarium (2018).

Nos exemplos apresentados para a aplicação do MDP (Figura 73) observa-se que são aplicados em móveis residenciais para diferentes ambientes, dormitório (armário para roupas, Figura 73 A), sala de estar (painel e rack, Figura 73 B), sala de jantar (mesa de jantar, Figura 73 C) e cozinha (armários, Figura 73 D), em geral, em móveis com linhas retas e geométricas, remetendo ao estilo moderno. Observa-se que os móveis possuem diferentes cores e padrões de superfície, pois, o MDP pode receber variados tipos de acabamentos, como lâminas de madeira (REMADE, 2018).

Figura 73: Móveis em MDP: A) Armário para roupas, B) Painel e rack, C) Mesa de jantar e D) Armários de cozinha.



Fonte: Mobly (2018).

Em relação à madeira cerejeira, de cor clara, foram encontradas aplicações com design no estilo moderno como cadeiras (Figura 74 A e 74 B), e mesa de jantar (Figura 74 C). Além disso, há armários para cozinha que remete ao estilo clássico (Figura 74 D).

Figura 74: Móveis em madeira cerejeira: A) e B) Cadeiras, C) Mesa de jantar e D) Armário para cozinha.



Fonte: Ciabistro (2018), Lojaskd (2018).

Já o mogno é uma madeira escura e imponente, provavelmente por isso, foram encontradas aplicações em móveis para sala de estar como os aparadores (Figura 75 A e 75 B) e a mesa (Figura 75 C), porém, também é utilizada para dormitório (criado mudo, Figura 75 D). Nos aparadores predomina o estilo moderno, por possuírem linhas retas e formas geométricas, já a mesa e o criado mudo remetem ao estilo retrô.

Figura 75: Móveis em madeira mogno: A) e B) Aparador, C) Mesa e D) Criado mudo.



Fonte: Woodsecondchance (2018), Francino (2018).

Os exemplos de aplicações da madeira freijó são de móveis para sala, como rack e painel (Figura 76 A), mesa de centro (Figura 76 B) e a cadeira que possui o assento e o encosto em forma curvilínea (Figura 76 C) que remetem ao estilo moderno, e o aparador (Figura 76 D) pode ser associado ao estilo retrô.

Figura 76: Móveis em madeira freijó: A) Painel e rack, B) Mesa de centro, C) Cadeira e D) Aparador.



Fonte: Teakstore (2018), Decorsalteado (2018).

A madeira cedro também foi aplicada em uma cadeira (Figura 77 A) parecida com a cadeira de madeira freijó (Figura 77 C), possui um único elemento para o encosto e assento, em forma curvilínea, além de mesas (Figura 77 B e 77 C) e bancos com assento com ripas de madeira, que remetem ao estilo moderno.

Figura 77: Móveis em madeira cedro: A) Cadeira, B) Mesa de jantar, C) Mesa, D) Bancos.



Fonte: Ciabistro (2018), Lojaskd (2018).

O MDF, assim como o MDP, é utilizado para móveis de diversos ambientes residenciais conforme os exemplos de móveis apresentados na Figura 78, como o aparador (Figura 78 A) em estilo retrô com acabamento em madeira carvalho, a mesa para sala de jantar (Figura 78 B) com suporte na forma de ripas remetendo ao estilo moderno, a estante (Figura 78 C) formada por formas geométricas retangulares e quadradas com dois tipos de acabamento amadeirados, um mais claro e outro mais escuro, e por fim os móveis para cozinha (Figura 78 D) que também possuem acabamento em madeira e remetem ao estilo moderno.

Figura 78: Móveis em MDF: A) Aparador, B) Mesa de jantar, C) Estante e D) Móveis para cozinha.



Fonte: Mobly (2018).

Os exemplos encontrados de móveis com madeira imbuia (Figura 79) compreendem móveis para sala de jantar, sala de estar e dormitório, como as cadeiras para sala de jantar (Figura 79 A) as quais possuem estrutura em madeira e estofadas com tecido, o que remete ao aconchego, conforto e estilo moderno, além do aparador (Figura 79 B), painel e rack (Figura 79 C) com formas retilíneas, e ao armário para roupas (Figura 79 D), também associado ao estilo moderno.

Figura 79 Móveis em madeira imbuia: A) Cadeiras, B) Aparador, C) Painel e rack e D) Armário para roupas.



Fonte: Pauloalves (2018), Homify (2018).

Em relação aos exemplos de móveis em madeira nogueira como a mesa de jantar (Figura 80 A), aparador (Figura 80 B), painel (Figura 80 C) e cama (Figura 80

D), contrastam com o ambiente por possuírem tonalidade escura e textura marcante e remetem ao estilo moderno.

Figura 80: Móveis em madeira nogueira: A) Mesa de jantar, B) Aparador, C) Paineis e D) Cama.



Fonte: Woodsecondchance (2018), Francino (2018).

A textura marcante também é uma característica observada nos móveis de madeira jacarandá, a qual possui coloração avermelhada. Os exemplos de móveis dessa madeira são móveis para sala de estar, como os aparadores (Figura 81 A e 81 B), mesa de centro (Figura 81 C) e mesa com tampo redondo (Figura 81 D), com linhas retas e formas geométricas, associadas ao estilo moderno e retrô.

Figura 81: Móveis em madeira jacarandá: A) e B) Aparador, C) Mesa de centro e D) Mesa.



Fonte: Aespecialista (2018), Lineamobili (2018).

Já a madeira cumaru, em tom mais claro que a jacarandá, foi utilizada em móveis com formas orgânicas e retilíneas nas poltronas (Figura 82 A e 82 B) e aparador (Figura 82 C), e na mesa com tampo redondo e pés palito (Figura 82 D). Assim, nesses móveis predomina o estilo moderno e retrô.

Figura 82: Móveis em madeira cumaru: A) e B) Poltronas, C) Aparador e D) Mesa.



Fonte: Francino (2018), Lineamobili (2018), Aespecialista (2018).

Em relação à madeira de demolição, observa-se que é utilizada para móveis de diferentes ambientes residenciais, como mesa de jantar (Figura 83 A), a qual possui textura com restos de tinta e marcas do lixamento, painel com textura da madeira visível (Figura 83 B), mesa de centro com vidro (Figura 83 C) e cabeceira para cama (Figura 83 D). Observa-se nesses exemplos que os móveis remetem ao estilo rústico.

Figura 83: Móveis em madeira de demolição: A) Mesa de jantar, B) Painel, C) Mesa de centro e D) Cabeceira para cama.



Fonte: Woodsecondchance (2018), Francino (2018), Lineamobili (2018), Velhabahia (2018).

Portanto, a partir da madeira de lei e derivados (MDF e MDP) são fabricados diversos tipos de móveis residenciais de uso interno e externo (para jardim). Observa-se que nos exemplos apresentados de móveis predominam linhas retas e

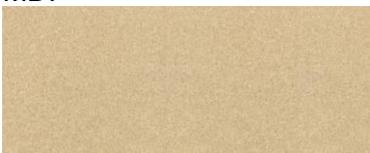
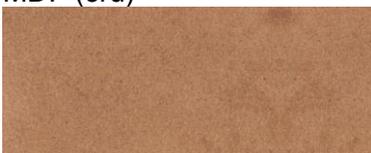
formas geométricas, com estilo moderno, retrô, clássico e rústico. Os veios, nós e padrões de superfície, estão aparentes nos móveis, assim, percebe-se a cor e a textura natural da madeira. Conforme Salão do Móvel de Milão (2018) “a madeira ganha ainda mais valor em sua forma natural ou em painéis que reproduzem suas cores e texturas”. Dessa forma, atualmente, no setor de móveis há a tendência de valorização da madeira em seu estado natural.

Neste contexto, os exemplos de móveis apresentados podem ser possibilidades de emprego para os compósitos com casca de arroz, principalmente, os que possuem formas retilíneas, o que pode facilitar a fabricação. Em relação aos estilos de design, podem ser produzidos móveis com os compósitos em estilo rústico, pois a casca de arroz visível e disposta aleatoriamente na matriz remete, principalmente, a esse estilo. Além disso, o estilo rústico é inspirado na natureza e valoriza os recursos naturais, o que está de acordo com a aparência dos compósitos já que possuem a casca de arroz visível, e, pelo fato de serem constituídos em maior proporção por casca de arroz, que é um material de fonte renovável e resíduo da produção de arrozeira. Contudo, também podem ser aplicados em móveis com outros estilos, como o moderno, na medida em são utilizados outros materiais, além dos compósitos, como o vidro ou metal, que remetem à sofisticação. Assim, há diversas possibilidades de design para os compósitos com casca de arroz serem empregados em móveis.

4.4.3 Análise morfológica de madeiras e derivados com foco em atributos estéticos

De acordo com Rosa *et al.* (2007), a madeira de lei, a qual é trabalhada em seu estado natural, e seus derivados como o MDF e o MDP, são os materiais mais utilizados na indústria moveleira. No Quadro 8 podem ser observadas imagens das principais madeiras de lei e derivados utilizados na produção de móveis, como: teca, cerejeira, imbuia, carvalho, mogno, nogueira, marfim, freijó, jacarandá, MDP, cedro, cumaru, pinus, MDF e madeira de demolição.

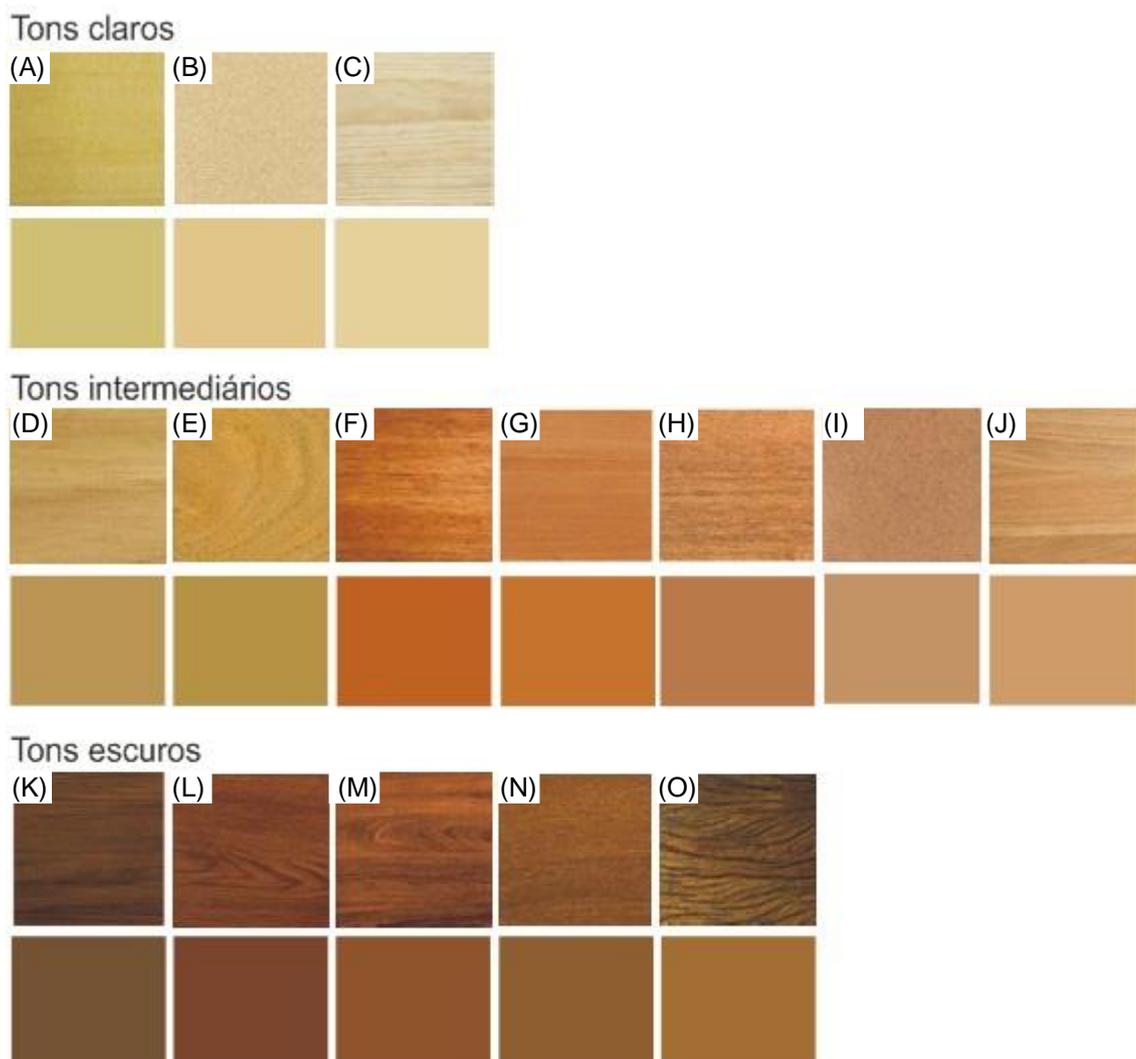
Quadro 8: Principais tipos de madeiras de lei e derivados utilizados para a produção de móveis.

Teca 	Cerejeira 	Imbuia 
Carvalho 	Mogno 	Nogueira 
Marfim 	Freijó 	Jacarandá 
MDP 	Cedro 	Cumarú 
Pinus (cru) 	MDF (cru) 	Madeira de demolição 

Fonte: Adaptado de Remade (2018).

Observa-se que algumas madeiras possuem semelhanças entre si e outras possuem características específicas em relação aos atributos estéticos como a cor, padrões de superfície, textura. Em relação ao atributo cor das madeiras e derivados, observa-se que predomina o marrom, em algumas o tom é mais claro, como marfim, pinus e MDP cru (sem revestimento), conforme pode ser observado na paleta de cores de madeiras e derivados da Figura 85. Em outras madeiras, como a teca, cerejeira, mogno, cedro, freijó, MDF e carvalho o tom marrom é intermediário (Figura 85). O tom de madeira mais escuro pode ser observado na imbuia, nogueira, jacarandá, cumaru e madeira de demolição (Figura 84).

Figura 84: Paleta de cores de madeiras e derivados: A) Marfim, B) MDP, C) Pinus, D) Teca, E) Cerejeira, F) Mogno, G) Cedro, H) Freijó, I) MDF, J) Carvalho, K) Imbuia, L) Nogueira, M) Jacarandá, N) Cumaru, O) Madeira de demolição.

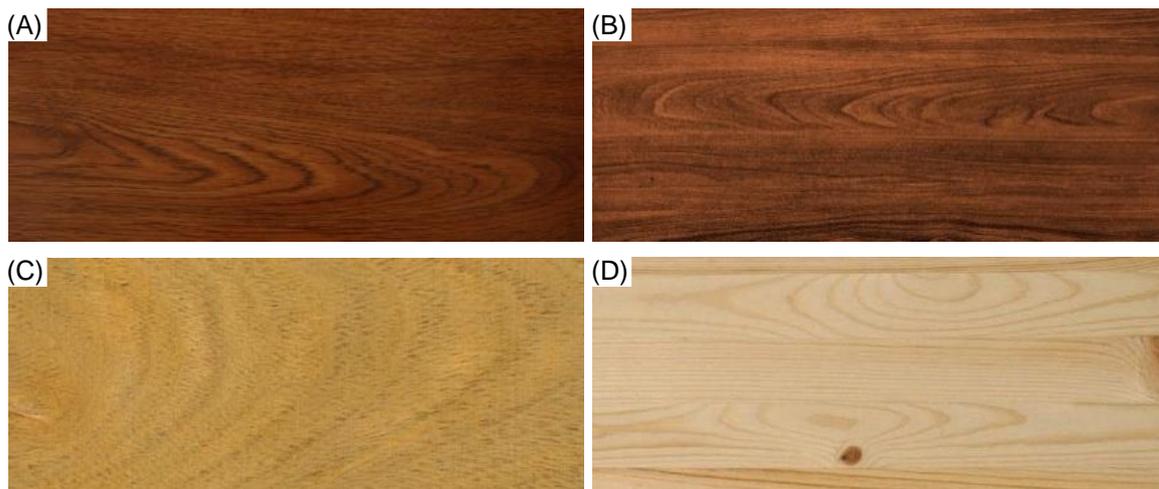


Fonte: Adaptado de Remade (2018).

Observa-se ainda, que a cor marrom de algumas madeiras possuem tonalidade amarela como nas madeiras marfim (Figura 84 A), MDP (Figura 84 B), pinus (Figura 84 C) teca (Figura 84 D), cerejeira (Figura 84 E), e em outras madeiras, como o mogno (Figura 84 F), cedro (Figura 84 G), freijó (Figura 84 H), nogueira (Figura 84 L), predomina a cor marrom com tonalidade vermelha.

As madeiras possuem diversos padrões de superfície provenientes de nós e veios. Em algumas madeiras como a cerejeira, nogueira, jacarandá, teca, carvalho e pinus os desenhos formados pelos veios são bastante evidentes e com formas orgânicas (Figura 85).

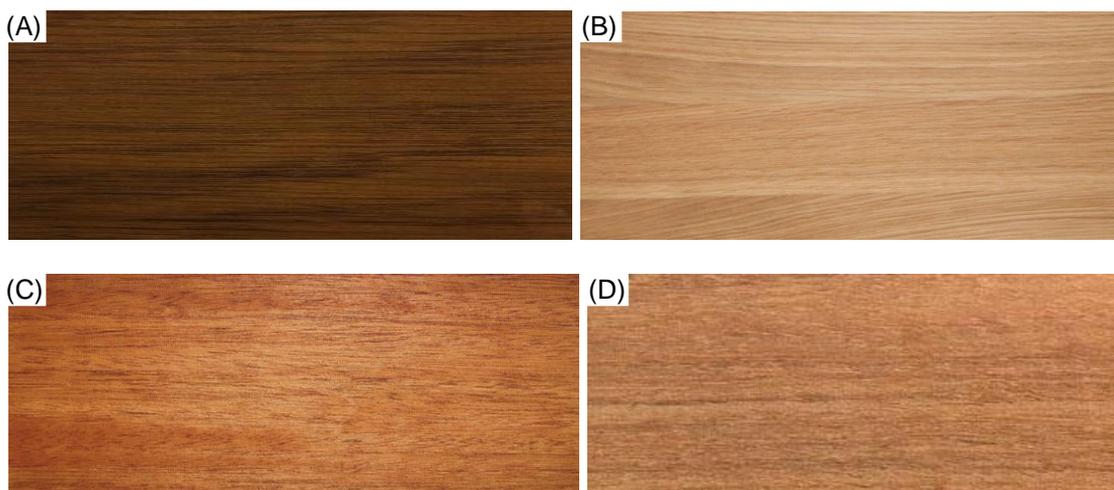
Figura 85: Madeiras com padrões de superfície com formas orgânicas: A) Nogueira, B) Jacarandá, C) Cerejeira e D) Pinus.



Fonte: Adaptado de Remade (2018).

Já nas madeiras como imbuia, carvalho, mogno, freijó, os desenhos dos veios são menos intensos e com formas de linhas horizontais (Figura 86).

Figura 86: Madeiras com padrões de superfície com linhas horizontais: A) Imbuia, B) Carvalho, C) Mogno e D) Freijó.

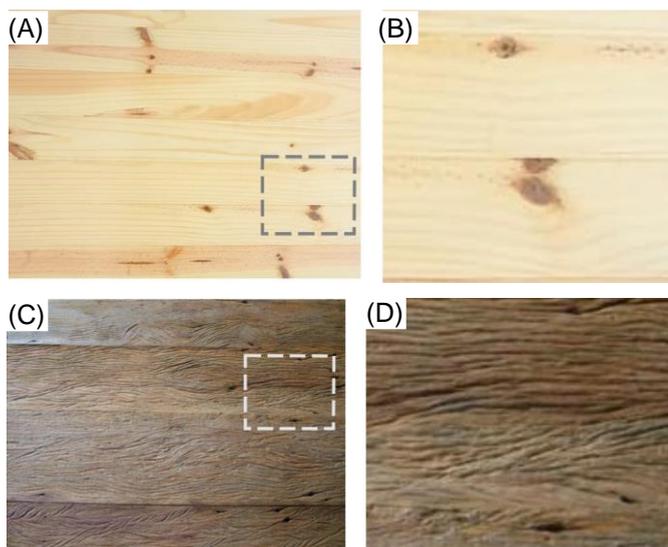


Fonte: Adaptado de Remade (2018).

Na madeira pinus, além dos desenhos dos veios pode-se observar a presença de nós (Figura 87 A). Em relação à madeira de demolição, além dos desenhos dos veios, os quais dependem do tipo de madeira, há também os padrões de superfície formados durante o uso do produto (Figura 87 C), uma vez que esse tipo de madeira é extraído de móveis prontos usados ou de elementos presentes em

construções antigas (LINEA BRASIL, 2018). No que diz respeito à textura, as madeiras empregadas nos móveis são tratadas e o resultado final é uma textura lisa, com exceção do pinus nas regiões em que há nós (Figura 87 B) e da madeira de demolição, que pode possuir superfície rugosa ocasionada pelo uso e elementos em sua superfície que podem ser percebidos pelo tato (Figura 87 D).

Figura 87: Textura das madeiras: A) Madeira pinus, B) Detalhe, C) Madeira de demolição, D) Detalhe.



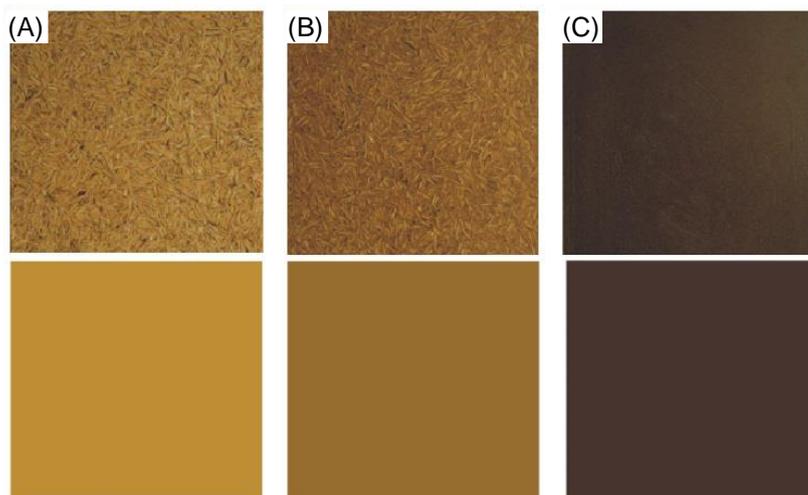
Fonte: Adaptado de Remade (2018).

Em relação ao brilho, a madeira em sua forma natural não possui brilho, no entanto, na indústria moveleira são aplicados acabamentos, que podem conferir brilho para a superfície das madeiras (LINEA BRASIL, 2018).

4.4.4 Análise morfológica dos compósitos com casca de arroz com foco nos atributos estéticos

A seguir, serão discutidos os atributos estéticos dos compósitos desenvolvidos nesta pesquisa, como a cor, transparência, padrões de superfície, textura e brilho. Em relação à cor, observa-se que predominam diversos tons de marrom conforme pode ser visualizado na paleta de cores da Figura 88. O PO/CAI possui coloração mais clara, já a cor do PO/CAIM é um pouco mais escura, e, o PO/CAM a coloração é mais escura.

Figura 88: Paleta de cores dos compósitos: A) PO/CAI, B) PO/CAIM e C) PO/CAM.

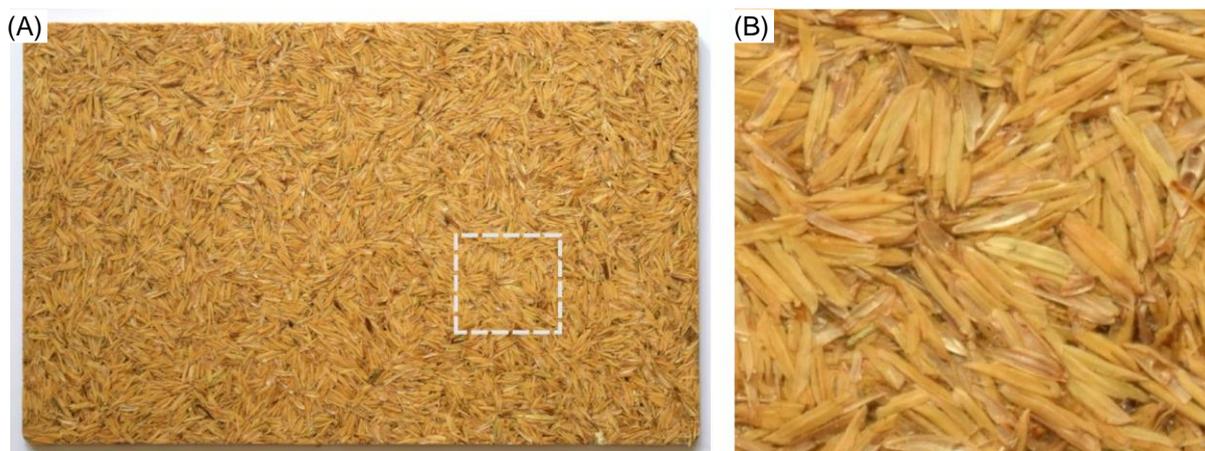


Fonte: Autora.

A cor dos compósitos depende do tamanho das partículas da casca de arroz, e indica que as partículas menores tendem a acentuar a cor, já as partículas maiores possuem coloração mais próxima a da casca de arroz, ou seja, mais clara. A cor marrom dos compósitos possui tonalidade amarela devido à cor da casca de arroz. Em relação à transparência, apesar dos compósitos possuírem material polimérico (poliéster) em sua composição, o qual é translúcido, devido à inserção da casca de arroz no poliéster, os compósitos resultam em materiais opacos.

No PO/CAI, devido à translucidez da resina poliéster, é possível visualizar a casca de arroz nas placas disposta aleatoriamente na matriz, formando assim um padrão de superfície heterogêneo (Figura 89 A, 89 B).

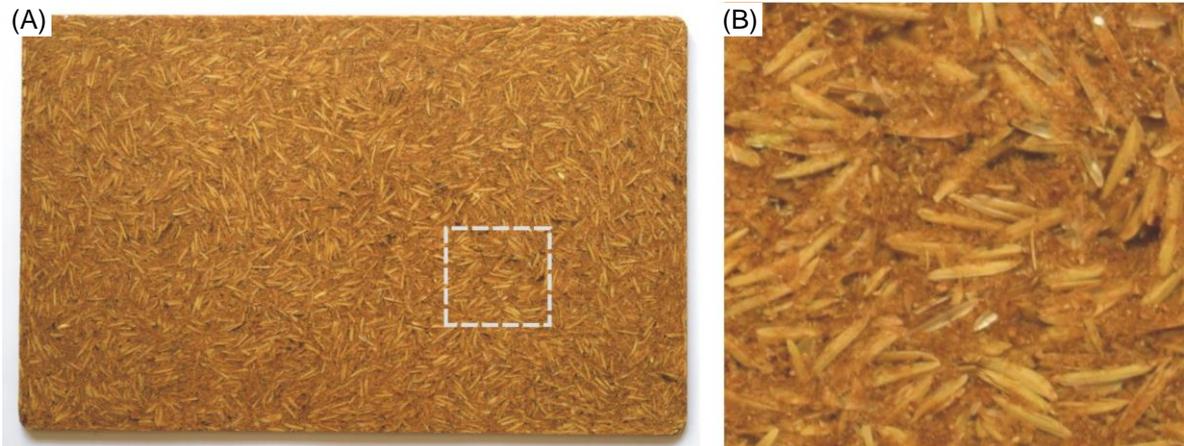
Figura 89: Padrão de superfície: A) PO/CAI, B) Detalhe.



Fonte: Autora.

Nas Figuras 90 A e 90 B, que correspondem ao PO/CAIM pode-se observar a casca de arroz inteira e a moída disposta aleatoriamente na matriz. Observa-se que a casca de arroz inteira possui coloração mais clara do que a casca de arroz moída, assim, a cor mais escura dos compósitos é ocasionada pela casca de arroz moída.

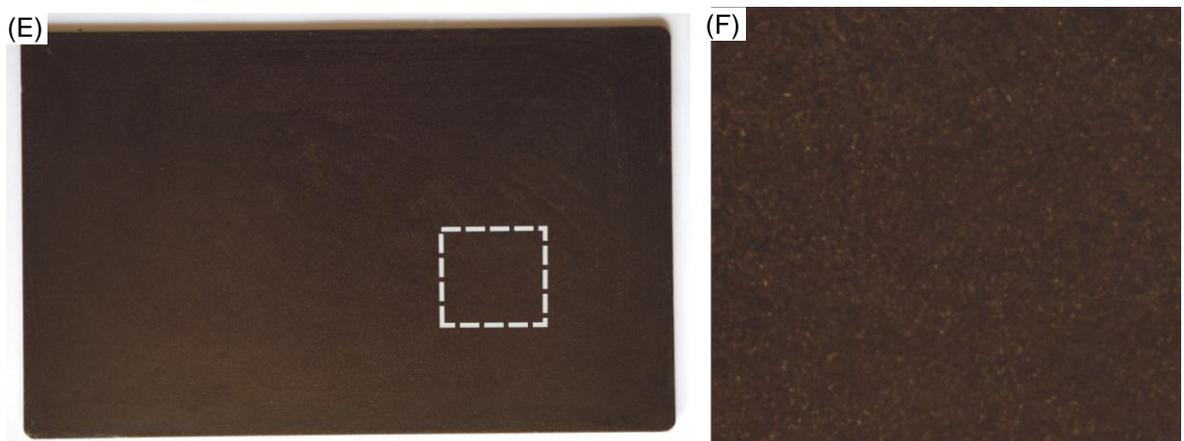
Figura 90: Padrão de superfície: A) PO/CAIM, B) Detalhe.



Fonte: Autora.

Já no PO/CAM (Figura 91 A e 91 B), apesar das partículas também estarem dispostas aleatoriamente, observa-se um padrão de superfície praticamente homogêneo, pelo fato do tamanho das partículas serem menores e menos visíveis.

Figura 91: Padrão de superfície: A) PO/CAM, B) Detalhe.



Fonte: Autora.

Em relação à textura da superfície dos compósitos, predomina a superfície lisa no PO/CAM e levemente rugosa nos compósitos com casca de arroz inteira (PO/CAI e PO/CAIM). No PO/CAM as partículas são menores, por isso, esse compósito resultou em superfície lisa. Com relação ao atributo estético brilho, pode-se considerar que os compósitos com casca de arroz possuem superfície com brilho leve, ocasionado pelo polímero (poliéster).

4.4.5 Comparação dos atributos estéticos de madeiras e derivados com os dos compósitos com casca de arroz

Na Tabela 10 podem ser observados os atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz e das madeiras de lei, não foram inseridos o MDF e o MDP, pois esses materiais recebem acabamentos como lâminas de madeira de lei ou que imitam esses materiais, assim, os atributos estéticos serão similares.

Tabela 10: Atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz e madeiras de lei.

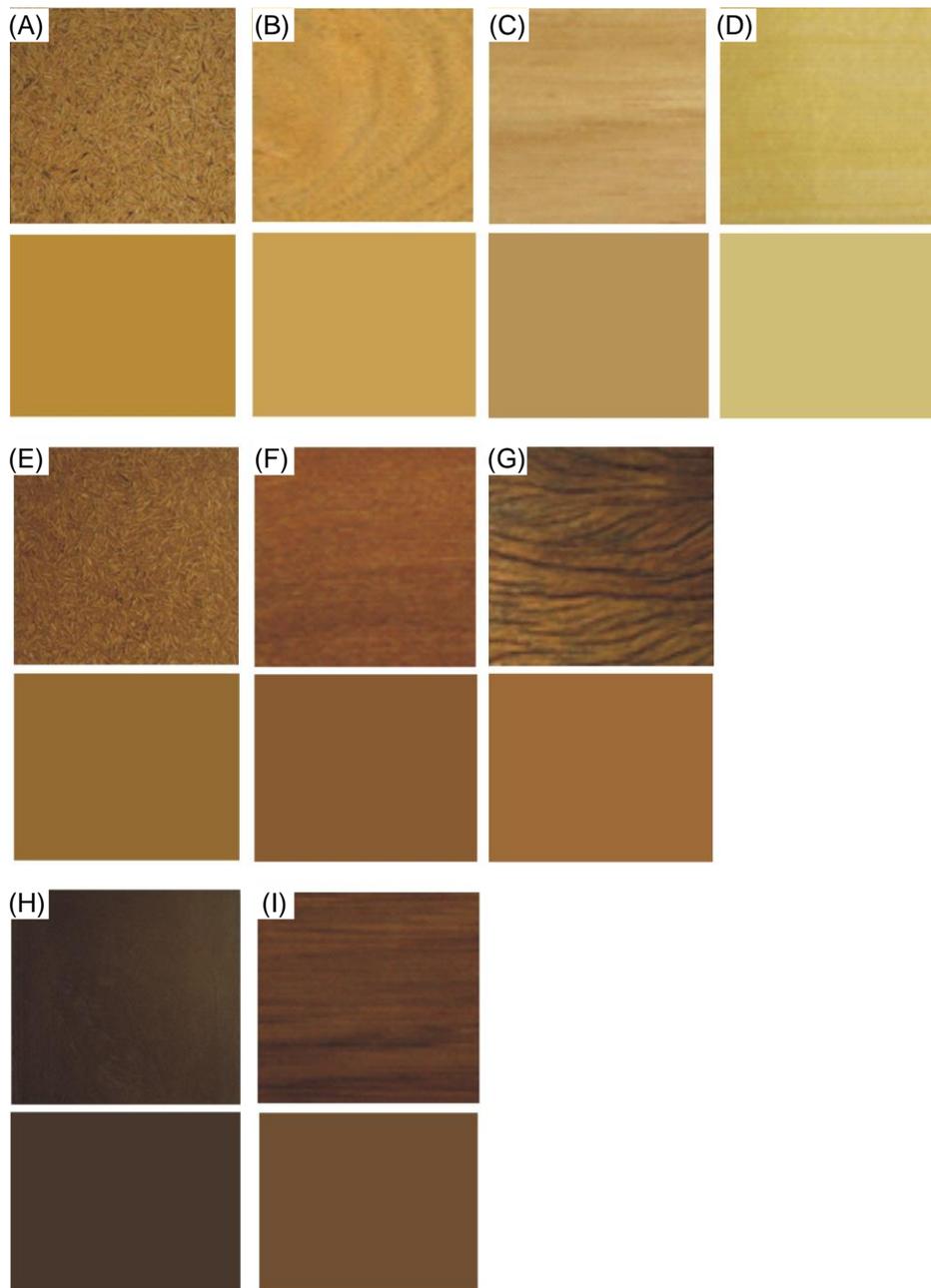
Atributos estéticos	PO/CAI	PO/CAIM	PO/CAM	Madeiras de lei
Cor	Marrom com tom amarelo claro	Marrom com tom amarelo médio	Marrom amarelo escuro	Marrom claro, médio, escuro, com tonalidade amarela e vermelha
Transparência	Opaco	Opaco	Opaco	Opaco
Padrão de superfície	Heterogêneo (casca de arroz inteira)	Heterogêneo (casca de arroz inteira)	Homogêneo (casca de arroz particulada)	Heterogêneo (veios e nós)
Textura	Levemente rugosa	Levemente rugosa	Lisa	Lisa Rugosa (madeira de demolição)
Brilho	Brilho leve	Brilho Leve	Brilho Leve	Sem brilho na forma natural

Fonte: Autora.

Conforme apontado nos atributos estéticos de madeiras e derivados, predomina a cor marrom, e em algumas madeiras a tonalidade do marrom é amarela. Em relação aos compósitos, também predomina a cor marrom com tonalidade amarela, com maior evidência no PO/CAI e no PO/CAIM. Na Figura 92

podem ser visualizadas as paletas de cores das madeiras com tonalidade amarela clara, que se aproxima da cor do PO/CAI, madeiras com tonalidade amarela um pouco mais escura, que se assemelha com a cor do PO/CAIM, e por fim, da madeira com tonalidade escura, a qual se aproxima da cor do PO/CAM. Em relação à cor, pode-se afirmar que os compósitos com casca de arroz compartilham em parte esse atributo, pois sua tonalidade assemelha-se com algumas madeiras.

Figura 92: Cores de madeiras próximas às cores dos compósitos com casca de arroz: A) PO/CAI, B) Cerejeira, C) Teca, D) Marfim, E) PO/CAIM, F) Cumaru, G) Madeira de demolição, H) PO/CAM, I) Imbuia.



Fonte: Autora.

Tanto os compósitos com casca de arroz como as madeiras possuem padrões de superfície. O PO/CAI e o PO/CAIM possuem padrões de superfície heterogêneos, assim como as madeiras de lei, em que os padrões de superfície são resultantes dos veios e nós. Já os painéis de madeira reconstituída, como o MDF e o MDP sem revestimento, possuem padrão de superfície semelhante ao observado no PO/CAM, ou seja, homogêneo. Contudo, em geral, esses painéis de madeira reconstituída não são utilizados sem revestimento para a produção de móveis, eles recebem um acabamento com lâminas de madeira coladas sobre a superfície, assim, os padrões de superfície são similares aos de madeiras naturais (REMADE, 2018).

Em relação à transparência, tanto os compósitos com casca de arroz como as madeiras e derivados são opacos. No que diz respeito à textura da superfície dos materiais, a do PO/CAI e do PO/CAIM é levemente rugosa, semelhante à textura da madeira de demolição. Já a textura da superfície do PO/CAM é lisa, a qual se aproxima da textura das madeiras de lei tratadas para o emprego em móveis. Por fim, em relação ao brilho da superfície dos materiais, nos compósitos observa-se brilho leve, ocasionado pela matriz polimérica, já as madeiras não possuem brilho em sua forma natural. Portanto, observa-se que os compósitos com casca de arroz e as madeiras e derivados compartilham atributos estéticos em relação à cor, textura e padrões de superfície. Desse modo, as semelhanças dos atributos estéticos de compósitos com casca de arroz com madeiras e derivados possibilitam o emprego desses compósitos em móveis.

4.4.6 Significados associados aos compósitos com casca de arroz a partir de atributos estéticos

Em relação aos compósitos com casca de arroz desenvolvidos nesta pesquisa, os significados que podem ser associados a esses materiais a partir de seus atributos estéticos, como cor predominantemente marrom, textura levemente rugosa, padrões de superfície formados pela casca de arroz visível e brilho leve, estão relacionados principalmente com a naturalidade, pois conforme Krista *et al.* (2016) há três características significativas que desempenham um papel importante na atribuição de naturalidade aos materiais, são elas:

- Fibras e partículas (de origem vegetal) visíveis em materiais;
- Materiais brilhantes são percebidos como não naturais;
- Materiais rugosos são percebidos como mais naturais.

Conforme Karana (2012) os padrões de superfície de materiais desenvolvidos através de grãos, fibras e partículas visíveis desempenham um papel importante na expressão da naturalidade dos materiais. Esses elementos distribuídos aleatoriamente em uma superfície estão diretamente associados à natureza. A madeira também possui expressão de naturalidade, além de conforto e aconchego (OVERVLIET; SOTO-FARACO, 2011).

Uma expressão particular comumente usada para o conceito de ecológico e sustentável no design é através da estética do material expressar naturalidade (WALKER, 2006; OVERVLIET; SOTO-FARACO, 2011; GOODMAN, 2012; KARANA, 2012). Conforme Karana e Nijkamp (2014), para um produto ser percebido como sustentável pelas pessoas é preciso que ele possua certos atributos estéticos que sejam reconhecidos e associados a tais produtos, por exemplo: redução de componentes, sem corantes, emprego de partes recicladas, facilidade de desmontagem, uso de materiais de origem renovável e outros.

Estudiosos da área de design e sustentabilidade utilizam vários termos para referirem-se a esses atributos estéticos dos produtos como “estética verde” (SAITO, 2007), “beleza sustentável” (HOSEY, 2012) e “estética da sustentabilidade” (ROGNOLI; KARANA, 2014). Para os produtos remeterem à sustentabilidade precisam ter características estéticas fortes, únicas e auto expressivas, que sejam reconhecidas e apreciadas pela sociedade (SAITO, 2007). Assim, a estética dos materiais, que incorporam produtos, é considerada a chave para expressar as credenciais ambientais ou o apelo à sustentabilidade de tais produtos.

Krista *et al.* (2016) explica que em geral as pessoas acreditam que tudo o que é natural é mais saudável, mais atraente para os sentidos e ecologicamente correto. Assim, a percepção de naturalidade pode influenciar fortemente as decisões das pessoas em muitos contextos cotidianos, como escolher os alimentos, quais objetos adquirir, ou quais roupas usar. No design de produto, embora dependa muito do contexto em que um material é incorporado em um produto, o fato de um material ser ou parecer natural, geralmente, desempenha um papel importante no sucesso

de um produto no ambiente comercial (KARANA, 2012). Em muitos contextos diários, os materiais que exibem naturalidade têm o potencial de serem preferidos em relação aos não naturais (OVERVLIET *et al.*, 2008; ROZIN, 2005).

Vários pesquisadores (GOODMAN *et al.*, 2008; KARANA, 2012; ROGNOLI *et al.*, 2014; SAITO, 2007) argumentam que ao longo das últimas décadas, expressar naturalidade por meio de características de materiais ganhou impulso dentro do design. Krista *et al.* (2016) comenta que expressar naturalidade nos produtos através de materiais será cada vez mais importante para os próximos anos, pelo fato do design estar cada vez mais apoiado no discurso da sustentabilidade. Neste ponto, atualmente, ainda reside uma necessidade inevitável de superar os preconceitos fixos da estética, que está relacionada com as superfícies de materiais perfeitas e brilhantes. Assim, os designers de produto desempenham um papel importante na definição de novos valores estéticos, apresentando materiais em diferentes contextos e formas, com propriedades diferentes (KRISTA *et al.*, 2016).

Portanto, os atributos estéticos dos compósitos, como o predomínio da cor marrom, textura levemente rugosa, padrões de superfície formados pela casca de arroz visível e brilho leve, remetem a naturalidade, a rusticidade, ao ecológico e a sustentabilidade. Esses significados também são observados nos materiais utilizados no setor de móveis, como a madeira de lei e derivados, na medida em que a madeira está sendo empregada em sua forma natural, e assim, remete a naturalidade. A madeira de demolição, valorizada atualmente no setor de móveis, está associada com a rusticidade, ecológico e sustentável, o que pode ser observado também nos acabamentos utilizados para o MDF e MDP que buscam imitar a madeira de demolição. Assim, os compósitos com casca de arroz inserem-se na tendência de materiais associados à naturalidade, rusticidade com apelo ecológico e ao design sustentável, o que contribui para o emprego em móveis.

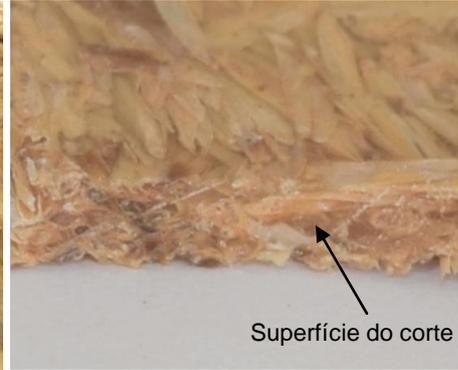
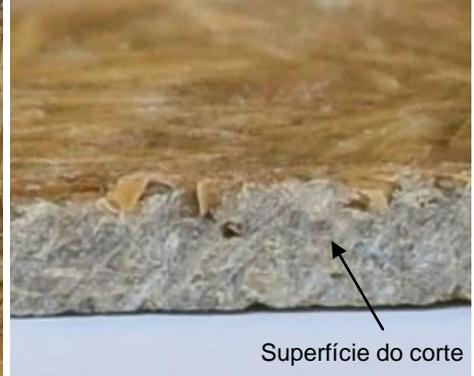
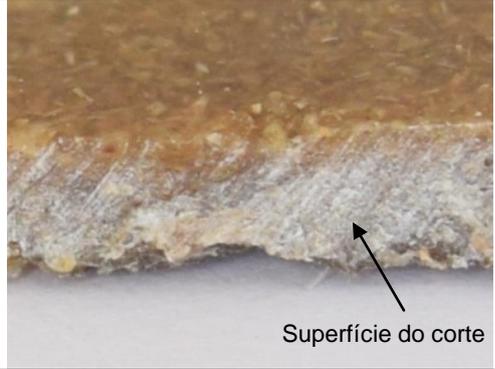
4.4.7 Experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira

A seguir, são descritos e analisados o comportamento e o acabamento dos compósitos PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM, que passaram por processos de fabricação utilizados na indústria moveleira.

a) Corte com serrote:

No Quadro 9 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com serrote, e as observações realizadas referentes ao comportamento e ao acabamento durante e após o corte.

Quadro 9: Resultado do corte com serrote.

PO/CAI		Análise
		<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas, e trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, com textura na forma de linhas inclinadas.
PO/CAIM		Análise
		<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas: menor que no PO/CAI; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, com textura na forma de linhas inclinadas.
PO/CAM		Análise
		<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas da resina; • Não foram observadas trincas; • Superfície do corte com marcas do serrote, textura na forma de linhas inclinadas, e esbranquiçada.

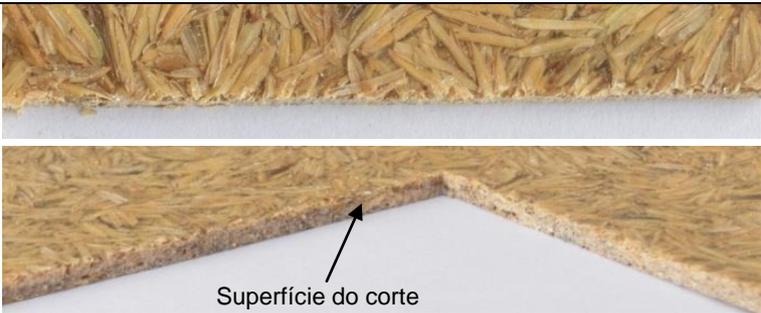
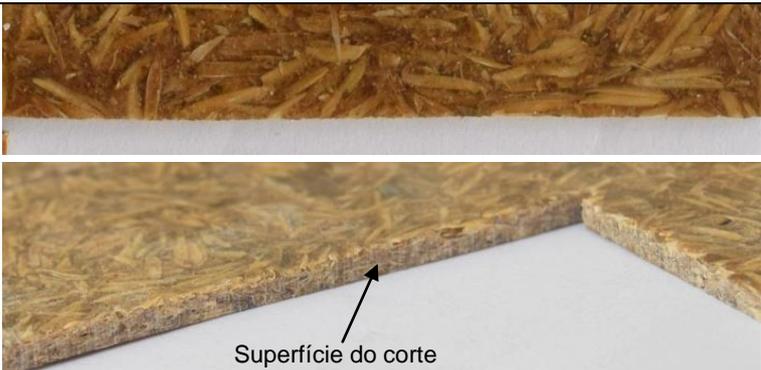
Fonte: Autora.

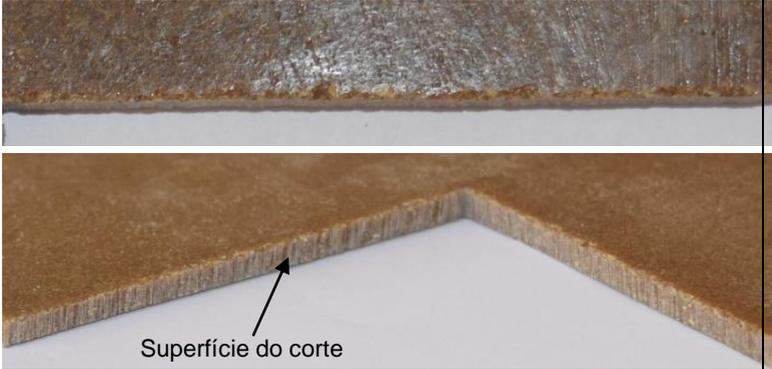
Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio do serrote, sem dificuldade, e com a manutenção da integridade dos materiais. Contudo, essa ferramenta não resultou em um corte preciso, ou seja, “reto”. Dessa forma, o serrote pode ser utilizado para um corte mais “grosseiro”. De maneira geral, considera-se que se obteve um acabamento razoável do corte com essa ferramenta manual. No PO/CAI houve a quebra da casca de arroz na região do corte, fazendo com que surgissem rebarbas, o que ocorreu com menos intensidade no PO/CAIM. No PO/CAM, surgiram lascas da resina, o que não foi observado nos outros compósitos (PO/CAI e PO/CAIM). Portanto, considera-se que o compósito que apresentou melhor acabamento no corte com o serrote foi o PO/CAIM.

b) Corte com serra de fita:

No Quadro 10 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com serra de fita, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento durante e após o corte.

Quadro 10: Resultado do corte com serra de fita.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foi observada a geração de rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais.

PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Geração de lascas da resina; • Não foram observadas trincas; • Superfície do corte com marcas da serra de fita, com textura na forma de linhas verticais e esbranquiçada.

Fonte: Autora.

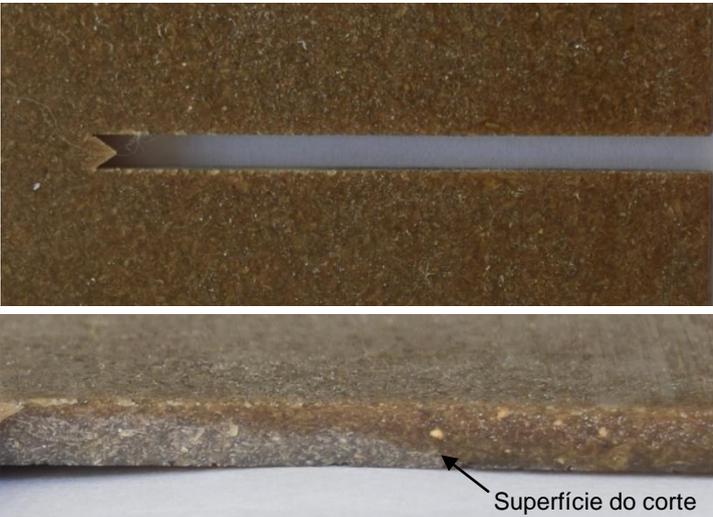
Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio da serra de fita, sem dificuldade e com boa integridade durante e após o corte. Percebeu-se que os resultados do acabamento foram similares ao corte com serrote, com algumas melhorias no acabamento dos compósitos, principalmente, no PO/CAIM. Outra diferença, é que a serra de fita resultou em um corte mais preciso do que o corte com serrote.

No PO/CAI, assim como no corte com serrote, houve a quebra da casca de arroz na região do corte, surgindo assim, rebarbas, o que não foi observado no PO/CAIM. No PO/CAM foram retiradas lascas de resina na região do corte durante o processo. Foram observadas marcas da serra na superfície de corte em todos os compósitos, no entanto, no compósito com casca de arroz moída (PO/CAM) as marcas estão mais aparentes. Portanto, em geral, considera-se que se obteve um acabamento razoável com o corte com a serra de fita. Constatou-se que o compósito que apresentou melhor acabamento no corte com serra de fita foi o compósito com casca de arroz inteira e moída (PO/CAIM).

c) Corte com esquadrejadeira:

No Quadro 11 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com a esquadrejadeira, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento durante e após o corte.

Quadro 11: Resultado do corte com esquadrejadeira.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de poucas rebarbas em relação ao corte com serrote e serra de fita; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foi observada a geração de rebarbas, lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.

Fonte: Autora.

Observou-se que os compósitos puderem ser cortados por meio da esquadrejadeira, sem dificuldade e com boa integridade dos materiais durante e após o corte. Os resultados de acabamento apresentaram-se melhores em comparação ao corte com serrote e serra de fita. O corte com a esquadrejadeira resultou mais preciso do que os equipamentos citados anteriormente. No PO/CAI, houve pouca quebra da casca de arroz na região do corte, em relação aos outros cortes testados com esse compósito, por consequência, surgiram poucas rebarbas. No PO/CAIM o acabamento foi melhor, provavelmente, pela menor quantidade de casca de arroz inteira. No PO/CAM observaram-se somente a geração de rebarbas. Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte, desse modo, considera-se que os compósitos PO/CAIM e PO/CAM apresentaram os melhores resultados em relação ao acabamento no corte com a esquadrejadeira. Além disso, considera-se que se obteve melhor acabamento com o corte com a esquadrejadeira em comparação com o corte com serrote e serra de fita.

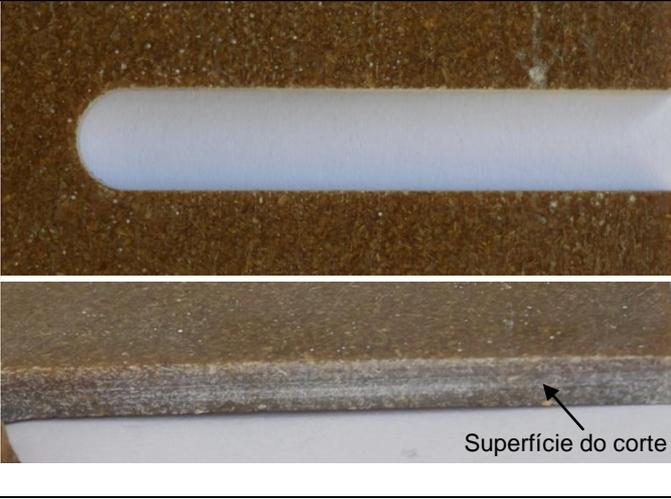
d) Corte com usinagem convencional:

No Quadro 12 podem ser observados os compósitos que passaram pelo corte com a usinagem convencional, e as observações realizadas referentes ao comportamento e o acabamento durante e após o corte.

Quadro 12: Resultado do corte com usinagem convencional.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Geração de rebarbas formadas por casca de arroz; • Não foi observada a geração de lascas e trincas; • Não foram observadas marcas da serra na superfície do corte.

Fonte: Autora.

PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte: com marcas da serra, com textura na forma de linhas horizontais e esbranquiçada.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o corte; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas; • Superfície do corte: com marcas da serra, com textura na forma de linhas horizontais e esbranquiçada.

Observou-se que os compósitos puderam ser cortados por meio da usinagem convencional, sem dificuldade e com boa integridade durante e após o corte. Os resultados do acabamento foram melhores em comparação aos outros equipamentos de corte (serrote, serra de fita e esquadrejadeira) para os compósitos PO/CAIM e PO/CAM. Já no PO/CAI, surgiram muitas rebarbas formadas pela casca de arroz. Observou-se que a casca de arroz que formou a rebarba apresentou-se em partículas maiores do que nos outros equipamentos de corte testados com esse compósito. No PO/CAIM e PO/CAM, aparentemente, não surgiram rebarbas e o acabamento foi melhor em comparação aos outros testes de corte com esses compósitos. Foram constatadas marcas da fresa na superfície de corte dos compósitos em forma de linhas horizontais. Sendo assim, considera-se que o PO/CAIM e o PO/CAM apresentaram os melhores resultados em relação ao acabamento, no corte com a usinagem convencional, e também em comparação

com os outros tipos de corte. Além disso, a usinagem convencional resultou em um corte preciso, no entanto, houve perda de material com o uso da fresa de 10 mm.

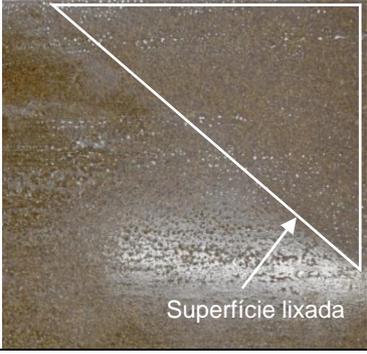
Portanto, de maneira geral, em relação aos processos de corte, verificou-se que os compósitos PO/CAIM e o PO/CAM apresentaram o melhor acabamento, já o PO/CAI apresentou a geração de rebarbas em todos os processos de corte, assim, a casca de arroz inteira é responsável pelo acabamento inferior dos compósitos.

e) Lixamento manual:

No Quadro 13 podem ser observados os compósitos que passaram pelo lixamento manual da superfície dos compósitos, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

Quadro 13: Resultado do lixamento manual.

<p style="text-align: center;">PO/CAI</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e fosca.
<p style="text-align: center;">PO/CAIM</p> 	<p style="text-align: center;">Análise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e mais fosca no PO/CAI.

PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • A superfície lixada apresentou-se lisa e mais fosca que no PO/CAI e PO/CAIM.

Fonte: Autora.

Observou-se que os compósitos permaneceram íntegros durante o processo de lixamento manual, com o uso de lixas de várias granulações (120, 220, 360 e 600). As superfícies dos compósitos (PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM) apresentaram-se lisas e foscas em comparação com a superfície não lixada, contudo, a superfície do PO/CAI, apresentou-se menos fosca em relação ao PO/CAIM e PO/CAM.

f) Lixadeira automática:

No Quadro 14 podem ser observados os compósitos que passaram primeiramente pelo lixamento com lixadeira automática, e após, pelo lixamento manual com as lixas de grão 120, 220, 360 e 600, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

Quadro 14: Resultado do lixamento com lixadeira automática e lixamento automático.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada com lixadeira apresentou-se com marcas da lixa; • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.

PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada apresentou-se com marcas da lixa. • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após o lixamento; • O arredondamento foi realizado com facilidade; • A superfície lixada apresentou-se com marcas da lixa e esbranquiçada. • A superfície lixada manualmente apresentou-se lisa.

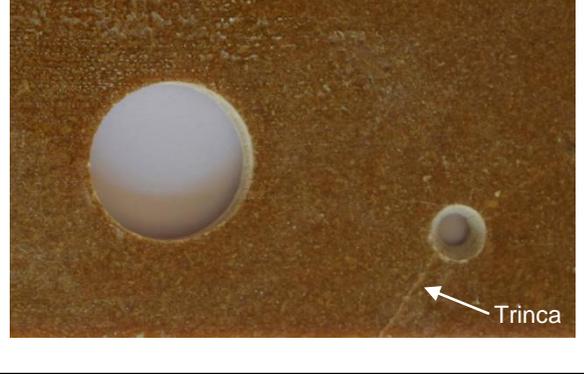
Fonte: Autora.

Observou-se que os compósitos permaneceram íntegros durante o processo de lixamento automático, com uso de lixadeira. Esse processo foi realizado com facilidade e precisão, pois permitiu que o operador do equipamento controlasse o arredondamento do canto. Percebeu-se que a superfície da borda lixada apresentou-se com marcas da lixa, mais evidentes no compósito PO/CAM, as quais foram retiradas com o lixamento manual, com lixas de granulação variada (120, 220, 360 e 600), o que proporcionou uma superfície lisa em todos os compósitos.

f) Furação:

No Quadro 15 podem ser observados os compósitos que passaram pela furação com broca forstner (10 mm) e broca de 4 mm, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

Quadro 15: Resultado da furação com broca forstner (10 mm) e broca de 4 mm.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação; • Geração de rebarbas; • Não foram observadas lascas e trincas.
PO/CAIM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação; • Não foram observadas, rebarbas, trincas e lascas.
PO/CAM	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a furação com broca forstner, o que não ocorreu com a broca de 4 mm; • Não foram observadas rebarbas e lascas; • Foram observadas trincas no furo com a broca de 4 mm.

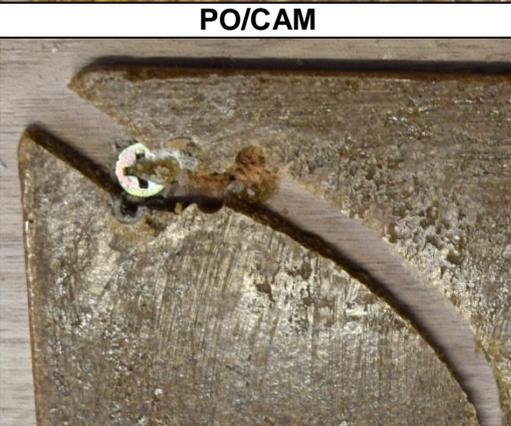
Fonte: Autora.

Observou-se que os compósitos puderam ser perfurados por meio da broca forstner (10 mm) e da broca de 4 mm, sem dificuldade e com boa integridade dos materiais durante e após a furação, com exceção do PO/CAM, o qual trincou durante o processo de furação com a broca de 4mm. Dessa forma, o PO/CAM não é adequado para receber furação com brocas de diâmetro de 4mm, podendo ocasionar trincas no material. Em relação ao acabamento, somente no PO/CAI foram observadas rebarbas, nos outros compósitos (PO/CAIM e PO/CAM) o acabamento, aparentemente, foi semelhante ao corte com usinagem convencional.

g) Fixação de parafuso:

No Quadro 16 podem ser observados os compósitos com a fixação do parafuso, e as observações realizadas referentes ao comportamento e acabamento dos compósitos.

Quadro 16: Resultado da fixação de parafuso.

PO/CAI	Análise
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a inserção do parafuso. • Não foram observadas, rebarbas, lascas e trincas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Boa integridade do compósito durante e após a inserção do parafuso; • Não foram observadas rebarbas, lascas e trincas.
	<ul style="list-style-type: none"> • O compósito desintegrou-se durante a fixação do parafuso; • Foram observadas trincas durante a fixação do parafuso que originou uma rachadura no material.

Fonte: Autora.

Observou-se que os compósitos PO/CAI e PO/CAIM permaneceram íntegros no processo de fixação do parafuso, o que não ocorreu com o PO/CAM, esse último trincou e rachou à medida que o parafuso foi fixado. De acordo com os resultados do ensaio de impacto, já realizado, o PO/CAIM absorveu maior energia ao impacto, e o PO/CAM absorveu menor energia ao impacto, o que pode justificar a geração de trinca e posterior rachadura do PO/CAM com a fixação do parafuso. Em relação ao acabamento, considera-se que se obteve bom acabamento com a fixação do parafuso nos compósitos que permaneceram íntegros (PO/CAI e PO/CAIM), pois não foram observadas rebarbas, lascas e trincas.

4.5 Atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos com casca de arroz

Na Tabela 11 compilaram-se os atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos (PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM), além do comportamento dos compósitos frente à experimentação com processos de fabricação.

Tabela 11: Atributos tangíveis e intangíveis dos compósitos com casca de arroz e experimentação com processos de fabricação.

Atributos		PO/CAI	PO/CAIM	PO/CAM
Tangíveis	Resistência à tração (MPa)	5,1 ± 1,11	7,0 ± 0,66	15,8 ± 1,99
	Módulo de elasticidade (GPa)	1,5 ± 0,40	3,8 ± 0,78	4,9 ± 0,42
	Resistência à flexão (MPa)	6,4 ± 1,90	26,8 ± 4,40	35,1 ± 3,60
	Resistência ao impacto (KJ/m ²)	0,98 ± 0,13	1,97 ± 0,06	0,83 ± 0,06
	Dureza Shore D	83 ± 1	81 ± 1	83 ± 1
	Absorção de água (%)	10,3	8,1	3,9
Tangíveis (após o ensaio de intemperismo)	Resistência à tração (MPa)	5,7 ± 0,64	9,7 ± 2,20	12,4 ± 2,17
	Módulo de elasticidade	2,9 ± 0,53	3,6 ± 0,49	4 ± 0,65
	Resistência à flexão (MPa)	15,3 ± 3,6	17,2 ± 2,6	27,4 ± 2,5
	Resistência ao impacto (KJ/m ²)	2,59 ± 0,30	2,33 ± 0,58	0,99 ± 0,10
	Dureza Shore D	75 ± 1	81 ± 1	87 ± 1

Atributos		PO/CAI	PO/CAIM	PO/CAM
Intangíveis	Cor	Marrom com tom amarelo claro	Marrom com tom amarelo médio	Marrom amarelo escuro
	Transparência	Opaco	Opaco	Opaco
	Brilho	Brilho leve	Brilho Leve	Brilho Leve
	Textura	Lisa	Lisa	Lisa
	Padrão de superfície	Heterogêneo (casca de arroz inteira)	Heterogêneo (casca de arroz inteira)	Homogêneo (casca de arroz particulada)
	Significados	<ul style="list-style-type: none"> • Natural • Sustentável • Apelo ecológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Natural • Sustentável • Apelo ecológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Natural • Sustentável • Apelo ecológico
Processos de fabricação	Corte com serrote	Sim	Sim	Sim
	Corte com serra de fita	Sim	Sim	Sim
	Corte com esquadrejadeira	Sim	Sim	Sim
	Usinagem convencional	Sim	Sim	Sim
	Lixamento manual	Sim	Sim	Sim
	Lixamento automático	Sim	Sim	Sim
	Furação	Sim	Sim	Sim para furo com 10 mm de diâmetro
	Inserção de parafuso	Sim	Sim	Não

Fonte: Autora.

Em relação aos atributos tangíveis dos compósitos com casca de arroz, que compreendem as propriedades mecânicas verificadas nesta pesquisa (resistência à tração, módulo de elasticidade, resistência à flexão, resistência ao impacto e dureza), em geral, com a inserção da casca de arroz na matriz obteve-se leve aumento das propriedades. Entre os compósitos estudados, o PO/CAM resultou nos melhores resultados. Assim, a casca de arroz moída foi mais eficaz para os resultados das propriedades mecânicas. No que diz respeito à absorção de água, foi menos acentuada no compósito PO/CAM, assim, esse compósito possui maior potencial para ser utilizado em aplicações que estarão em contato com a umidade. No que diz respeito ao resultado do ensaio de intemperismo, constatou-se que o efeito combinado da chuva, temperatura e da radiação solar, durante o período

avaliado (6 meses), não provocou alterações significativas nos compósitos, conforme apontaram os resultados das propriedades mecânicas e dos aspectos visuais.

Conforme apontou a análise de materiais com atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz, as madeiras são os materiais com propriedades próximas. Os atributos estéticos dos compósitos compartilham aspectos com as madeiras utilizadas para fabricação de móveis, como cor, padrões de superfície, textura. Esses atributos estéticos estão associados à naturalidade, a qual remete ao apelo ecológico e a sustentabilidade. Assim, os aspectos estéticos dos compósitos com casca de arroz se inserem em uma tendência de apelo ecológico e sustentabilidade, muito valorizada na atualidade e relacionada com a preocupação com os impactos ambientais.

A experimentação com processos de fabricação apontou que podem ser empregados processos utilizados na indústria moveleira nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento principalmente para os compósitos PO/CAIM e PO/CAM. Assim, os compósitos com casca de arroz oferecem uma oportunidade de inovação para o design aplicado ao setor de móveis. Assim, com base nos resultados dessa pesquisa, móveis são possibilidades de aplicação para os compósitos com casca de arroz.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como ponto de partida responder as seguintes questões: qual é a viabilidade de utilização da casca de arroz em compósitos com poliéster? É possível empregar compósitos à base de poliéster com 80% (fração volumétrica) de casca de arroz no design de produto?

Desse modo, para responder a primeira questão, foram produzidos compósitos utilizando poliéster insaturado e resíduo agrícola de casca de arroz, a partir de moldagem por compressão, assim, foram desenvolvidos três tipos de compósitos: PO/CAI, PO/CAIM e PO/CAM. Em todos os compósitos empregou-se a casca de arroz com alta proporção (80% fração volumétrica) que possibilitou a produção de uma placa de qualidade visual adequada, para o maior aproveitamento do resíduo, e a redução da quantidade de resina poliéster na produção dos compósitos. A partir disso, foi avaliado o desempenho mecânico e a absorção de água dos compósitos em função do emprego de casca de arroz inteira, moída e a mistura dessas. Ainda, foi verificado o efeito do intemperismo natural nas propriedades dos compósitos com casca de arroz expostos a diferentes condições climáticas.

Em relação ao desempenho mecânico, obteve-se uma leve melhora nas propriedades dos compósitos em relação à matriz. Observou-se o aumento do módulo de elasticidade nos compósitos com partículas menores (PO/CAIM e PO/CAM), tal comportamento também foi verificado na resistência à tração. Assim, verificou-se que o PO/CAM obteve os melhores resultados das propriedades mecânicas. Os resultados de absorção de água revelaram que a adição de casca de arroz aumentou a absorção de água, provavelmente pela presença da celulose na casca de arroz. Para o PO/CAI, PO/CAIM e o PO/CAM, a absorção de água foi aproximadamente de 7, 5.5 e 2.6 vezes maior em relação à matriz, respectivamente. Assim, o PO/CAM absorveu menos água em relação aos outros compósitos (PO/CAI e PO/CAIM). Dessa forma, em relação ao ensaio de absorção de água, o PO/CAM possui maior potencial para ser utilizado em aplicações que estarão em contato com a umidade.

Em relação ao intemperismo, as condições climáticas durante o período avaliado (6 meses), não provocaram modificações significativas nos compósitos. Em

relação aos aspectos visuais, a principal característica observada foi à modificação da cor da casca de arroz inteira, que compõe o PO/CAI e o PO/CAIM. Em relação às propriedades mecânicas, de maneira geral, não ocorreram mudanças significativas nos valores, o que torna interessante o uso dos compósitos com casca de arroz em ambientes externos.

Desse modo, o resíduo agrícola de casca de arroz pode ser utilizado como matéria-prima para carga em compósitos poliméricos. A disponibilidade dessa matéria-prima é abundante, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, um dos maiores produtores de arroz do Brasil. Em relação ao custo, por ser um resíduo agrícola a casca de arroz pode ser adquirida gratuitamente ou por um preço baixo. A resina poliéster insaturada ortoftálica também possui baixo custo, quando comparada a outras resinas poliméricas com desempenho semelhante. Apesar da resina poliéster não permitir a reciclagem, por ser um polímero termorrígido, apresenta boas propriedades físicas e mecânicas que garantem a sua durabilidade.

Em relação à segunda parte do problema de pesquisa, a partir da caracterização dos compósitos com casca de arroz, foi realizado o estudo das possibilidades de aplicação dos compósitos no design de produto. Para isso, verificaram-se os materiais que possuem atributos tangíveis similares aos dos compósitos com casca de arroz, e em seguida, foram verificadas as aplicações dos materiais selecionados. Dessa etapa, resultaram materiais utilizados na indústria moveleira, ou seja, madeiras. Assim, foram analisados os atributos estéticos dos principais materiais utilizados na indústria moveleira e comparados com os atributos estéticos dos compósitos com casca de arroz. Verificou-se que os compósitos com casca de arroz, compartilham atributos estéticos, como cor, textura, padrões de superfície, com os materiais utilizados para a fabricação de móveis, como madeiras e derivados.

Os significados que os compósitos com casca de arroz podem remeter por meio de seus atributos estéticos estão associados à naturalidade, a qual remete ao apelo ecológico e a sustentabilidade. Desse modo, além dos compósitos com casca de arroz possuírem aparência que remete ao apelo ecológico, também são interessantes do ponto de vista ecológico na medida em que são produzidos com 80% (fração volumétrica) do resíduo agrícola de casca de arroz. Assim, a casca de arroz pode ser eficiente para compósitos direcionados para determinadas

aplicações, como móveis, e uma alternativa mais econômica e favorável ao meio ambiente, além de economizar recursos petrolíferos.

Além disso, foi realizada a experimentação com processos de fabricação da indústria moveleira para verificar o comportamento e o acabamento dos compósitos desenvolvidos nesta pesquisa. Nessa etapa, constatou-se que podem ser empregados processos de fabricação utilizados na produção de móveis nos compósitos com casca de arroz, com bons resultados de acabamento, principalmente, para o PO/CAIM e PO/CAM.

Neste sentido, os compósitos com casca de arroz são promissores para serem utilizados na indústria moveleira. A matéria-prima para a fabricação, ou seja, a casca de arroz pode ser encontrada em abundância no estado do Rio Grande do Sul, podendo haver mercado para os compósitos nesse mesmo local, pois o estado é considerado um dos maiores polos moveleiros do Brasil. Além disso, os compósitos com casca de arroz podem ser promissores para mercados de outros países produtores de arroz, como China, Índia, Indonésia, Vietnã, Tailândia, Filipinas, Japão e outros. Ainda, a introdução de materiais alternativos na indústria moveleira, como os compósitos com casca de arroz, pode substituir o uso da madeira de lei, já que esse tipo de madeira é considerada escassa e a sua extração provoca danos ambientais, pois, em geral, é retirada de florestas nativas. Assim, o desenvolvimento de compósitos com casca de arroz torna-se relevante, na medida em que se pode empregar um resíduo agrícola para a produção de compósitos com características estéticas específicas, agregando valor a esses resíduos, e assim, oportunizar novas possibilidades para o design de móveis.

Neste trabalho, pode-se constatar a importância da interdisciplinaridade entre design e outras áreas do conhecimento, em que foram necessários principalmente, conhecimentos da área de engenharia de materiais para a realização dessa pesquisa. Assim, essa pesquisa demonstra a importância do designer conhecer e envolver-se com as outras áreas do conhecimento para melhor desempenhar sua função no desenvolvimento de produtos inovadores com vistas à sustentabilidade. Além disso, esse trabalho demonstra a relação entre design e materiais, e a dependência de ambos, ou seja, o design depende dos atributos tangíveis e intangíveis dos materiais e esses dependem do design para que possam fazer parte de produtos utilizados pelas pessoas.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Por fim, como sugestões para pesquisas futuras, envolvendo o desenvolvimento de compósitos poliméricos com casca de arroz, pode-se avaliar diferentes tipos de tratamentos superficiais na casca de arroz, e agentes de acoplamento na matriz polimérica para aumentar a adesão das partículas e da matriz, visando à melhoria das propriedades mecânicas, e assim, ampliar o leque de aplicações no design de produto. Além disso, sugere-se a produção de compósitos poliméricos com outros tipos de matrizes, com 80% (fração volumétrica) de casca de arroz, até mesmo matrizes de materiais poliméricos reciclados para aumentar o caráter ecológico dos compósitos, uma vez que já possuem matéria-prima proveniente de resíduo agrícola (casca de arroz).

Em relação à aplicação no setor moveleiro, sugere-se a produção do protótipo de um móvel em que sejam realizadas experimentações com processos de união, como a colagem, e a inserção de ferragens utilizadas em móveis. Sugere-se ainda que seja realizada uma pesquisa com usuários para avaliar a percepção e impressões destes em relação aos compósitos com casca de arroz.

REFERÊNCIAS

- ABBASCHIAN, R.; MARSHALL, L. M. Material information for the design community. **Advanced Materials & Processes**, v. 164, n. 6, p. 30–1, 2006.
- ABRAHAM, A.; KURUVILLA, A. M.; SINDHU, R.; PANDEY, A.; BINOD, P. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. **Bioresource Technology**, v. 215, p. 29-36, 2016.
- ABU-SHARKH, B. F.; HAMID, H. Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 85, n. 3, p. 967-973, 2004.
- AESPECIALISTA. **Móveis**. Disponível: <<http://www.aespecialista.com/produtos-a-especialista>> Acesso em: 14 de março de 2018.
- AFFZAN, M. H., AKIL, H. M., ISHAK, Z. A. M.; BAKAR, A. A. The effects of natural weathering exposure on the properties of pultruded natural fibre reinforced unsaturated polyester composites. **Materials Characterisation**, 2013.
- AHANKARI, S.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) green composites: A comparison with traditional polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, p. 653–657, 2011.
- AISSLINGER. **Hemp Chair**. 2012. Disponível em: <<http://www.aisslinger.de/>> Acesso em: 10 de outubro de 2017.
- ALBERTSSON, A.C., KARLSSON, S. The three stages in degradation of polymers – polyethylene as a model substance. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 35, 1289-1302, 2003.
- ALMEIDA JR, G. **Avaliação dos aspectos subjetivos relacionados aos materiais: proposição de método e escalas de mensuração aplicadas ao setor moveleiro**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- ALVAREZ, V. A.; FRAGA, A. N.; VÁZQUEZ, A. Effects of moisture and fiber content on mechanical properties of biodegradable polymer-sisal fiber biocomposite. **Journal Applied Polymer Science**, v. 91, p. 4007-4016, 2004.
- ANDRADY, A.L., HAMID, S.H., HU, X., TORIKAI, A. Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 46, p. 96-103, 1998.
- ANDRADE, S. **Compósitos: Materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências**. São Paulo: ABMACO, 2008.
- ANGRIZANI, C. C. **Compósitos laminados híbridos de curauá/vidro: análise mecânica experimental e teórica**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-

Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ANTEQUERA, P.; JIMENES, L.; MIRAVETE, A. **Los Materiales Compuestos de fibra de vidro**. Universidad de Zaragoza, Espana, 1991.

ARANDES, J. M., ERENA, J., AZKOITI, M. J., OLAZAR, M., BILBAO, J. Thermal recycling of polystyrene and polystyrene e ebutadiene dissolved in a light cycle oil. **Journal of Analytic Applied Pyrolysis**, v. 20, n. 2, p. 747-60, 2003.

ARJMANDI, R.; HASSAN, A.; MAJEED, K.; ZAKARIA, Z. Review Article: Rice Husk Filled Polymer Composites. **International Journal of Polymer Science**, p. 1-32, 2015.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design**. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.

ASHORI, A.; NOURBAKHS, A. Bio-based composites from waste agricultural residues. **Waste Management**, p. 680–684, 2010.

ASTM D3039. **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**. USA, 2000.

ASTM D 256. **Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics**. USA, 2008.

ASTM D2240. **Standard test method for rubber property – Durometer**. EUA, 2010.

ASTM D570. **Standard Test Methods: Water absorption of plastics**. EUA, 1998.

ASTM D1435. **Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics**. EUA, 2013.

ASTM D790. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**. EUA, 2003.

AQUINO, E. M. F., ANDRADE, R. J. B. G. Propriedades Mecânicas e Mecanismos de Dano em Compósitos Fibrosos Tipo Sanduíche. **XV COBEM – Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**. São Paulo, 1999.

ATHIJAYAMANI, A.; THIRUCHITRAMBALAM, M.; NATARAJAN, U.; PAZHANIVEL, B. **Effect of moisture absorption on the mechanical properties of randomly oriented natural fibers/polyester hybrid composite**. **Materials Science and Engineering: A**, v. 517, n. 1–2, p. 344-353, 2009.

AZEVEDO, J. B.; VIANA, J. D.; CARVALHO, L. H. de; CANEDO, E. L. Caracterização de compósitos obtidos a partir de polímero biodegradável e casca de arroz utilizando duas técnicas de processamento. **Revista Matéria**, n. 2, p.391-406, 2016.

AZIZ, S. H.; ANSEL, M. P.; CLARKE, S. J.; PANTENYA, S. R. Modified polyester resins for natural fibre composites. **Composites Science and Technology**, v. 65, n. 3–4, p. 525-535, 2005.

AZWA, Z.N.; YOUSIF, B.F.; MANALO, A.C.; KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials and Design**, v. 47, p. 424–442, 2013.

BADJI, C.; BEIGBEDER, J.; GARAY, H.; BERGERET, A.; BÉNÉZET, J.C.; DESAUZIERS, V. Exterior and under glass natural weathering of hemp fibers reinforced polypropylene biocomposites: Impact on mechanical, chemical, microstructural and visual aspect properties. **Polymer Degradation and Stability**, v. 148, p. 104-116, 2018.

BASSYOUNI, M.; TAHA, I.; SHEREEN, M. S.; STEUERNAGEL, L. Physico-mechanical properties of chemically treated polypropylene rice straw bio-composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 31, n. 5, p. 303-312, 2012.

BASSYOUNI, M.; HASAN, S. W. The use of rice straw and husk fibers as reinforcements in composites. **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**, v. 51, p. 385-422, 2015.

BAVAN, S.; KUMAR, D. M. Potential Use of Natural Fiber Composite Materials in India. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, p. 3600-3613, 2010.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. 1o Ed. São Paulo:Blücher, 1998.

BCOMP. **Superior products from natural fibres**. Disponível em: <<http://www.bcomp.ch/en>> Acesso em: 10 de dezembro de 2017.

BEDIN, M. G. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco in natura e modificada**. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

BEZOOYEN, A. **Material explorer**: selection support tool for designers. A workavailable in Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology website, 2002.

BILAL, A.; LIN, R.J.T.; JAYARAMA, K.; ZHANG, C. Evaluation of Mechanical Properties on Rice Husk and Expanded Rice Husk Filled Polyethylene Composites. **Internacional Journal of the Institute of Materials Malaysia (IJIMM)**, n. 2, p. 165–170, 2014.

BISHT, N.; GOPE, P. C. Mechanical properties of rice husk flour reinforced epoxy bio-composite. **Journal of Engineering Research and Applications**, v. 5, n. 6, p.123-128, 2015.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. 2 a ed., Editora da UFSC, 1988.

BLACKBIRD. **El capitan**: the first guitar made of ekoa. 2017. Disponível em: <https://www.blackbirdguitar.com/>> Acesso em: 12 de outubro de 2017.

Bledzki AK, Mamun AA, Volk J. Physical, chemical and surface properties of wheat husk, rye husk and soft wood and their polypropylene composites. **Composites A**; v. 41, p. 480–488, 2009.

BOMFIM, G. A. **Metodologia para desenvolvimento de projetos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1995.

BONSIEPE, G. **Metodologia experimental**: desenho industrial. Brasília: CNPq/Coordenação editorial; 82 p. 1984.

BOOBAM. **Aparador em carvalho**. Disponível em: <<https://boobam.com.br/produto/aparador-bloco-carvalho-e-laca-190cm-4168>> Acesso em: 13 de março de 2018.

BROUWER, W. D. Natural fibre composites: Where can flax compete with glass? **Sampe Journal**, v. 36, n. 6, p. 18-23, 2000.

BRIASSOULIS, D. Analysis of the mechanical and degradation performances of optimised agricultural biodegradable films. **Polymer Degradation and Stability**, v. 92, p. 1115-1132, 2007.

BUDINSKI, K. G. **Engineering materials**: properties and selection. 5th ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall; 1996.

BÜRDEK, E. B. **Design**: história, teoria e prática do design de produtos. Tradução Freddy Van Camp. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

BUTYLINA, S.; HYVARINEN, M.; KARKI, T. Weathering of wood-polypropylene composites containing pigments. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 719-726, 2012.

BYKO, M. Materials library: exploring the tactile pleasures of materials. **JOM**, v. 57, n. 6, p. 1- 64, 2005.

CHATTERJEE, C.; ATHAWALE, V. M.; CHAKRABORTY, S. Selection of materials using compromise ranking and outranking methods. **Materials & Design**, v. 30, n. 10, p. 4043-4053, 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma Introdução. São Paulo: LTC, 2007.

CAMARGO, A. S. **Compósitos de Polipropileno reforçado com farinha da madeira para aplicações em produtos moldados por injeção**. 2006, 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade São Francisco, Itatiba, São Paulo, 2006.

CÂNDIDO, L. H. A. **Estudo do ciclo de reciclagem de materiais em blendas acrilonitrila-butadieno-estireno/policarbonato**. Doutorado (Tese). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais –Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CANEVAROLO, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Editora Artliber, 2004.

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2aed. São Paulo: Artlieber, 2006.

CARVALHO, L. F. M. **Tratamentos de fibras de carnaúba [copernicia prunífera (miller) H. E. moore] para o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato**. Doutorado (Tese). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN. Natal, 2011.

CASTRO, B. F. M. **Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais**. Instituto Superior em Engenharia do Porto, 2013.
CATTO, A. L. **Resistência ao intemperismo natural e ataque fúngico de compósitos polímero-madeira**. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, Porto Alegre, 2015.

CATTO, A. L., MONTAGNA, L.S., SANTAN, R. M. C. **Abiotic and biotic degradation of post-consumer polypropylene/ethylene vinyl acetate**: Wood flour composites exposed to natural weathering. *Polymer Composites*, 2015.

CENBIO. **Resíduos no Brasil**.2012. Disponível em:
<http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_residuos.asp>. Acesso em: 24 janeiro de 2017

CEPRA. **Lixas e processos de lixagem**. 2005. Disponível em: <
portal.iefp.pt/xeobd/attachfileu.jsp?look_parentBoui=16268500&att_display=n&att_do_wload=y> Acesso em: 12 de julho de 2017.

CHANDRASEKHAR, S., SATYANARAYANA, K. G., PRAMADA, P. N. Review: Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview. *Journal of Materials Science*, v. 38, p. 3159–3168, 2003.

CHARLES, J. A.; CRANE, F. A. A.; FURNESS, J. A. G. **Selection and use of engineering materials**. 3ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

CHEN, R. S.; AHMAD, S.; GAN, S. Characterization of Rice Husk Biofibre-Reinforced Recycled Thermoplastic Blend Biocomposite. *Bio Resources*, v. 11, n. 4, p. 8470-8482, 2016.

CHOI, N. W.; MORI, I.; OHAMA, Y. Development of rice husks-plastics composites for building materials. *Journal of waste management*, v. 26, n. 2, p. 189-194, 2006.

CIABISTRO. **Cadeira em madeira maciça cerejeira**. Disponível em: <<http://www.ciabistro.com.br/cadeira-perola-madeira-macica-cerejeira-com-estofado-corano.html>> Acesso em: 11 de março de 2018.

CLOUGH, R. Radiation-resistant polymers. **Wiley-Interscience, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**, v. 13, p. 667-708, 1988.

COELHO, M. B. **Compósitos de polietileno de ultra alto peso molecular (peuapm) com casca de arroz**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGE3M, Porto Alegre, 2016.

CORREIA, A. Z. **Métodos e Processos para Fabricação de Materiais Compósitos**. EMBRAER, São Paulo, 1988.

COSTA, D. S.; BANNA, W. R.; COSTA, D. S.; SOUZA, J. A. S. Laminados de matriz polimérica e fibras de bambu contínuas e alinhadas. **Congresso Brasileiro De Engenharia Química**, São Paulo: Blucher, p. 14234-14241, 2015.

COZA. **Linha organic**. 2006. Disponível em: <<https://www.coza.com.br/>> Acesso em: 13 de outubro de 2017.

CULTURE DESIGN. **Estilos de design**. Disponível em: <<https://designculture.com.br/>> Acesso em: 12 de maio de 2018.

DA SILVA, L. J.; PANZERA, T. H.; VELLOSO, V. R.; CHRISTOFORO, A. L.; SCARPA, F. Hybrid polymeric composites reinforced with sisal fibres and silica microparticles. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 8, p. 3436-3444, 2012.

DECORSALTEADO. **Madeira teca na decoração**. Disponível em: <<http://decorsalteado.com/2016/04/madeira-teca-na-decoracao-veja.html>> Acesso em: 10 de março de 2018.

DEFONSEKA, C. **Introduction to Polymeric Composites with Rice Hulls**. Smithers Rapra Technology Ltd, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR, UK, 2014.

DELLA, V. P., HOTZA, D., JUNKES, J. A., OLIVEIRA, A. P. N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, p.1175-1179, 2006.

DEL CARPIO, D. C. F. **Degradação físico-química do PVC causada por derivados do petróleo**. 2009. 25f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

DELLA, V. P.; KUNH, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para usocomo matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2005.

DELLA, V. P.; HOTZA, D.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p.1175-1179, 2006.

DENG, Y.M.; EDWARDS, K. L. The role of materials identification and selection in engineering design. **Materials & Design**, v. 28, n. 1, p. 131-139, 2007.

DE VASCONCELLOS, D. S.; SARASINI, F.; TOUCHARD, F.; CHOCINSKI-ARNAULT, L.; PUCCI, M.; SANTULLI, C.; TIRILLÓ, J.; IANNACE, S.; SORRENTINO, L. Influence of low velocity impact on fatigue behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 66, p. 46-57, 2014.

DIAS, M. R. A. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius**. Doutorado (Tese). Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIAS, M. R. A; ALMEIDA, G. Escala de mensuração subjetiva: estudo com foco na percepção dos materiais em cadeiras de jantar. **Anais do 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, São Paulo: Blucher, 2014.

DIMZOSKI, B; BOGOEVA-GACEVA, G. GENTILE, G.; AVELLA, M.; ERRICO, M. E.; SREBRENKOSKA, V. Preparation and characterization of poly (lactic acid)/rice hulls based biodegradable composites. **Journal of Polymer Engineering**, v. 28, n. 6-7, p. 369 - 383, 2009a.

DIMZOSKI, B; BOGOEVA-GACEVA, G. GENTILE, G.; AVELLA, M. E.; SREBRENKOSKA, V. Polypropylene-based Eco-composites Filled with Agricultural Rice Hulls Waste. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, v. 23, n. 2, 2009b.

DOAN, T. T. L.; BRODOWSKY, H. M.; MADER, E. Polyolefine Composites Reinforced by Rice Husk and Saw Dust. In: **Composites from Renewable and Sustainable Materials**, InTechOpen, p. 1-24, 2016.

DOORDAN, D. P. On Materials. **Design Issues**, n. 19, p. 3-8, 2003.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2012. Disponível em:<<http://www.cnpt.embrapa.br>> Acesso em 06 de agosto de 2017.

FAO. **FAO no Brasil**. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/pt/>> Acesso em: 02 de maio de 2017.

ESIN, A. **Properties of materials for design**. Thesis (PhD). Turkey: METU Printing Office; 1980.

FARUK, O. BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FAVARO, S. L.; LOPES, M. S.; VIEIRA, de C. N. A. G.; SANTANA, R. R.; RADOVANOVIC, E. Chemical, morphological, and mechanical analysis of rice husk/post-consumer polyethylene composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, p. 154–160, 2010.

FÁVARO, S. L. **Preparação e caracterização química, morfológica e de propriedades mecânicas de compósitos polietileno pós-consumo com fibras de sisal e com cascas de arroz**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2007.

FÁVARO, S. L.; LOPES, M. S.; NETO, A. G. V. DE C.; SANTANA, R. R. DE; RADOVANOVIC, E. Chemical, morphological, and mechanical analysis of rice husk/post-consumer polyethylene composites. **Composites: Part A**, v. 41, 154–160, 2010.

FELIPE, R. C. T. S. **Envelhecimento Ambiental Acelerado em PRF a Base de Tecidos Híbridos Kevlar/Vidro: Propriedades e Instabilidade Estrutural**. Tese de doutorado, UFRN, Natal-RN, 2012.

FENABRAVE. **Automóveis mais vendidos em 2012**. 2012. Disponível em: < <http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/> > Acesso em: 24 de novembro de 2017.

FERRANTE, M; SANTOS, S.; CASTRO, J. Materials selection as an interdisciplinary technical activity: basic methodology and case studies. **Materials Research**, v. 3, n. 2, p. 1-9, 2000.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

FERREIRA, F. C. M. **Comportamento sob abrasão em polietileno de ultra-alto peso molecular (UHMWPE) irradiado**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, 2007.

FERNANDES, I. J. **Desenvolvimento e Caracterização de compósitos de cinza de casca de arroz em matriz epóxi**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, 2015.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C.C; CUNHA, A.H.N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n.1, p.1-11, 2008.

FILSON, P.; DAWSON-ANDOH, B.E; MATUANA, L. Colorimetric and vibrational spectroscopic characterization of weathered surfaces of wood and rigid polyvinyl chloride/wood flour composite lumber. **Wood Science and Technology**, v. 43, 2009.

FISHER, T. What we touch, touches us: materials, affects, and affordances. **Design Issues**, v. 20, n. 4, p. 20-31, 2004.

FONTOURA, A. M. A interdisciplinaridade e o ensino do design. **Projética: Revista Científica de Design**, v. 2, n. 2, 2011.

FORTY, A. **Objetos de desejo: design e sociedade desde 1750**. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

FRANCCINO. **Rack Coda**. Disponível em: <<http://www.franccino.com.br/casabr/products/rack-coda/>> Acesso em: 10 de março de 2018.

IKEA. **Odger chair**. 2017. Disponível em: <<https://www.ikea.com/gb/en/products/chairs-stools-benches/chairs/odger-chair-brown-art-50364149/>> Acesso em: 20 de novembro de 2017.

FUAD-LUKE, A. **Slow Design: A paradigm shift in design philosophy? Development by Design**, Bangalore, 2002.

FULCRUM. **Natural fiber composite chair**. 2017. Disponível em: <<http://fulcrumpd.com/portfolio/natural-fiber-chair/>> Acesso em: 16 de outubro de 2017.

GANT, N. Plastics design: the unlikely pioneer of product relationships. **International Conference on the Art of Plastics Design**, 2005.

GLOBAL HEMP. **Automotive Composites**. 2011. Disponível em: <<http://www.globalhemp.com/2011/02/automotive-composites.html>> Acesso em: 02 de outubro de 2017.

GONZÁLEZ, A.V.; VELEVA, L. Mineral filler influence on the photo-oxidation mechanism degradation of high density polyethylene. **Polymer Degradation and Stability**, v. 83, n. 1, p. 139–148, 2004.

GOVINDARAO, V. M. H. Utilization of rice husk: a preliminary analysis. **Journal of Science and Industrial Research**, v. 39, n. 6, p. 495-515, 1980.

GOODMAN, T. Measurement of naturalness: physics and perception. **Predicting Perceptions: Proceedings of the 3rd International Conference on Appearance**, p. 21 e 24. Edinburgh, UK, 2012.

GOODMAN, T; MONTGOMERY, R.; BIALEK, A.; FORBES, A.; RIDES, M.; WHITAKER, T. A.; OVERVLIET, K. E.; MCGLONE, F.; VAN DER HEIJDEN, G. The measurement of naturalness (MONAT). **12th IMEKO TC1 & TC7 Joint Symposium on Man Science & Measurement**, 2008.

GUIA DO MARCENEIRO. **Tutorial projeto serra esquadrejadeira**. 2012. Disponível em: <http://www.guiadomarceneiro.com/?dir=serr_arq&gdm=inicial>. Acesso em: 23 de outubro de 2012.

GRASSIE, N.; SCOTT, G. **Polymer degradation and stabilisation**. New York: Cambridge University Press, 1985.

GRYCZAK, M. **Compósito sustentável casca de arroz/resina de óleo de mamona de baixa densidade**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

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

HADALA, K.; YAMAMOTO, R. The Current Status of Research and Development on Ecomaterials around the World. **MRS Bulletin**, p.871-879, 2001.

HARDINNAWIRDA, K.; SITIRABIATULL, I.A. Effect of rice husks as filler in polymer matrix composites. **Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)**, n. 2, p. 181-186, 2012.

HAPUARACHCHI, T. D.; REN, G.; FAN, M.; HOGG, P. J.; PEIJS, T. Fire retardancy of natural fibre reinforced sheet moulding compound. **Applied Composite Materials**, v. 14, n. 4, p. 251-264, 2007.

HEMPEYERWEAR. **Sunglasses**. 2017. Disponível em: <<https://hempeyewear.com/>> Acesso em: 03 de outubro de 2017.

HODGSON, S. N. B.; HARPER, J. F. Effective use of materials in the design process—more than a selection problem. **International engineering and product design education conference**, Delft, The Netherlands; 2004.

HOMKHIEW, C., RATANAWILAI, T.; THONGRUANG, W. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced with rubberwood flour. **Industrial Crops and Products**, v. 56, p. 52–59, 2014.

HOMIFY. **Móveis**. Disponível em: <<https://www.homify.com.br>> Acesso em: 12 de março de 2018.

HOORNWEG, D., BHADA-TATA, P. **What a waste**: a global review of solid waste management. 2012. Disponível em: <https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf> Acesso em: 10 de agosto de 2016.

HOSEY, L. **The Shape of Green**. Aesthetics, Ecology, and Design. Island Press, USA, 2012.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. de. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Língua Portuguesa, Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HWANG, C. L., CHANDRA, S. The use of Rice Husk Ash in Concrete. In: CHANDRA, S. (Ed.). **Waste Materials Used in Concrete Manufacturing**. Nova Delhi: Standard Publishers, 2002.

ICSID. **Definition of design**. Disponível em: <<http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>> Acesso em: 20 maio de 2017.

IMAGINARIUM. **Criado mudo**. Disponível em: <<https://loja.imaginarium.com.br/>> Acesso em: 13 de março de 2018.

INMET. **Estação meteorológica localizada na cidade Porto Alegre**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em: 10 de março de 2017.

INSECTA SHOES. **Sapatos**. Disponível em: <<https://www.insectashoes.com/>> Acesso em: 12 de fevereiro de 2018.

IRMÃOS CAMPANA. **Poltrona vermelha**. Disponível em: <<http://campanas.com.br/pt>> Acesso em: 4 de maio de 2018.

JOHN, M. J., B. FRANCIS, K. T. VARUGHESE, S. THOMAS. Effect of chemical modification on properties of hybrid fiber biocomposites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 39, n. 2, p. 352-363, 2008.

JOSEPH, P.V.; RABELLO, M.S.; MATTOSO, L.H.C.; JOSEPH; K.; THOMAS, S. Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, v. 62, n. 10–11, p. 1357-1372, 2002.

KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. **Material considerations in product design: a survey on crucial material aspects used by product designers**. **Materials & Design**, v. 29, n. 6, p. 1081–1089, 2008.

KARANA, E. **Meanings of materials**. Doctoral (Dissertation). Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 2009.

KARANA, E. Meanings of Materials: Findings and Implications. **The International Conference on Tools and Methods in Competitive Engineering (TMCE)**, Ancona, Italy, 2010.

KARANA, E.; HEKKERT, P. User material product interrelationships in attributing meanings. **International Journal of Design**, v. 4, n. 3, 2010.

KARANA, E. Characterization of ‘natural’ and ‘high-quality’ materials to improve perception of bio-plastics. **Journal of Cleaner Production**, n. 37, p. 316-325, 2012.

KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. **Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design**. Butterworth-Heinemann: Oxford, 2014.

KARANA, E.; NIJKAMP, N. Fiberness, reflectiveness and roughness in the characterization of natural and high quality materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 252-260, 2014.

KARMARKAR, A.; CHAUHAN, S. S.; MODAK J. M.; CHANDA, M. Mechanical properties of wood–fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel

compatibilizer with isocyanate functional group. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, p. 227–233, 2007.

KELEN, T. **Polymer degradation**. New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1983.

KESTEREN, I. V.; STAPPERS, P.; BUIJN, C. Materials in product selection. **International Journal of Design**, v. 1, n. 3, p. 41–55, 2007.

KWON, J. H.; AYRILMIS, N.; HAN, T. H. Combined effect of thermoplastic and thermosetting adhesives on properties of particleboard with rice husk core. **Materials Research**, v. 17, n. 5, p. 1309–1315, 2014.

KRIPPENDORFF, K.; BUTTER, R. Semantics: Meanings and Contexts of Artifacts. In **Product Experience**, Hendrik, N. J. S.; Hekkert, P., 2008.

KRISTA, E. O.; KARANA, E.; SOTO-FARACO, S. Perception of naturalness in textiles. **Materials & Design**, v. 90, p. 1192-1199, 2016.

KUPILKA. **Kupilka Eco Dishware & Knives**. 2017. Disponível em: <<https://kupilka.fi/>> Acesso em: 25 de outubro de 2017.

LAI, S. M.; HAN, J. L.; YU, Y. F. Properties of Rice Husk/Epoxy Composites Under Different Interfacial Treatments. **Polymer Composites**, n. 9, p. 1992- 2000, 2017.

LAUFENBERG, G. Transformation of vegetable waste into added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, p. 167-198, 2003.

LEFTERI, C. The branding of plastics: how important is the branding of a material and how far do plastics go in helping to define brands. **International conference on the art of plastics design**, Berlin, Germany; 2005.

LIM, J. S.; MANAN, Z. A.; ALWI, S. R. W.; HASHIM, H. A review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 3084–3094, 2012.

LIMA, M. A. M. **Introdução aos Materiais e Processos para Designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

LINDBECK, J. R. **Product design and manufacture**. New Jersey: Simon and Schuster Company, 1995.

LINEA BRASIL. **Tipos de madeira para móveis**: como escolher para o sucesso da revenda. Disponível em: <<http://blog.lineabrasil.com.br/tipos-de-madeira-para-moveis-como-escolher-para-o-sucesso-da-revenda/>> Acesso em: 10 de maio de 2018.

LINEAMOBILI. **Móveis**. Disponível em: <<http://www.lineamobili.com.br/>> Acesso em: 14 de março de 2018.

LOBACH, B. **Design Industrial**: bases para a configuração dos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

LOJASKD. **Móveis**. Disponível em: <<https://www.lojaskd.com.br/>> Acesso em: 12 de março de 2018.

LOPES, E. ; PICCOLI, M. Projetando com reutilização: uma alternativa para o descarte de cortinas persianas. **Projetica**, v. 6, p. 110-121, 2015.

LUBIN, G. **Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites** . New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne: Van Nostrand Reinhold Company, 1969.

LUYI, S.; KECHENG, G. Silicon-Based Materials from Rice Husk and Their Applications. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 40, p. 5861-5877, 2001.

MACHADO, M. L. C.; PEREIRA, N. C.; MIRANDA, L. F. de; TERENCE, M. C. T. Estudo das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Polímero Poli-3-Hidroxitirato (PHB) e de Compósitos PHB/Pó de Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 1, p. 65- 71, 2010.

MANGONON, P. L. **The principles of material selection for engineering design**. New Jersey: Prentice- Hall, p. 430–35, 1999.

MALLICK, P. K. **Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing and design**. New York, Marcel Dekker, 312p, 1988.

MANO, E. B. **Polímeros com Materiais de Engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1991.

MANTIA, F. P. La; MORREALE, M. Accelerated weathering of polypropylene/wood flour composites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, n. 7, p. 1252-1258, 2008.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade**. Cadernos do Grupo de Altos Estudos, Programa de Engenharia de Produção da Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

MATÉRIA. **Materioteca**. Disponível em: <<https://materia.nl/>> Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

MATÉRIA BRASIL. **Materioteca**. Disponível em: < materiabrasil.com.br > Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

MAPA. **Projeções do Agronegócio**: Brasil 2016/2017 a 2026/2026. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2017-a-2027-versao-preliminar-25-07-17.pdf>> Acesso em: 15 de novembro de 2017.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: Fundamentos e tecnologia**, 1ed. São Paulo, Editora Artliber, 2011.

MAZUMDAR, S. K. **Composites manufacturing materials, product, and process engineering**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2002.

MCDONAGH, D.; BRUSEBERG, A.; HASLAM, C. Visual product evaluation: exploring users' emotional relationship with products. **Applied Ergonomics**, v. 33, n. 3, p. 231-240, 2002.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. **XIII SIMPEP** - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

MARVELBUILDING. **Unique Chair Like Puzzle from Natural Fibers – Pallares**. 2015. Disponível em: < <http://www.marvelbuilding.com/unique-chair-puzzle-natural-fibers-pallares.html> > Acesso em: 20 de outubro de 2017.

MEDINA, L.; SCHLEDJEWSKI, R.; SCHLARB, A. K. Process related mechanical properties of press molded natural fiber reinforced polymers. **Composites Science and Technology**, v. 69, p. 1404–1411, 2009.

MELO, N. S. DE. **Comportamento mecânico do policarbonato exposto à radiação gama**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, 2004.

MELLO, A. K. da S. **Design de tecnologia social: Reaproveitamento do ouriço da castanha do Brasil no desenvolvimento de novos materiais**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Design do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2013.

MENDONÇA, P. de T. R. **Materiais Compósitos & Estruturas - Sanduíche: Projeto e Análise**. Barueri, SP: Manole, 2005.

MEINDERTSMA, C. **Flax Chair**. 2017. Disponível em: <<http://www.christienmeindertsma.com/index.php?/projects/label-breed/>> Acesso em: 10 de novembro de 2017.

MOBLY. **Móveis de MDF**. Disponível em: <<https://www.mobly.com.br/>> Acesso em: 10 de maio de 2018.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T.; SELKE, S. E.; HARTE, B. R.; HINRICHEN, H. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction**. Taylor & Francis, 2005.

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

MONTEIRO, S. N.; DE DEUS, J. F.; D'ALMEIDA, J. R. M. Mechanical and Structural Characterization of Curaua Fibers. **Characterization of Minerals, Metals & Materials - TMS Conference**, San Antonio, USA, p. 369 - 375, 2006.

MOTA, M. K. F. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz Polimérica com carga de bucha vegetal (luffa cylindrica)**. Doutorado (Tese). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MÜLLER, C.; HOELZEL, C. G. M. The Sustainability on Jewelry Design: Development Process from Reuse of Electronic Components. **ISWA World Solid Waste Congress**, Congress, Firenze: Sportello Infiormambiente, p. 297-306, 2012.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 378 p. 1981.

MUSTAPA, M. S. E.; HASSAN, A.; RAHMAT, A. R. Preliminary study on the mechanical properties of polypropylene rice husk composites. **Symposium Polimer Kebangsaan**, p. 23-24, 2005.

NAGUIB, H. M.; KANDIL, U. F.; HASHEM, A. I.; BOGHDADI, Y. M. Effect of fiber loading on the mechanical and physical properties of “green” bagasse epolyester composite. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 8, p. 544-548, 2015.

NAKSHINIEV, B.; BIDDINIKA, M. K.; GONZALES, H. B.; SUMIDA, H.; YOSHIKAWA, K. Evaluation of hydrothermal treatment in enhancing rice straw compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 151, p. 306-313, 2014.

NAVARRO, R. F. A Evolução dos Materiais. Parte1: da Pré-história ao Início da Era Moderna. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.1, 1, 01-11, 2006.

NDAZI, B.S.; KARLSSON, S.; TESHAI, J.V.; NYAHUMWA, C.W. Chemical and physical modifications of rice husks for use as composite panels. **Composites: Part A**, v. 38, p. 925–935, 2007.

NDAZI, B. Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Polylactide/Rice Hull Filled Composite Plates. **Polymers from Renewable Resources**, v. 3, n. 3, p. 101-116, 2012.

NETO, F. L.; PARDINI, L.C. **Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia**. Editora Edgard Blucher Ltda, 2006.

Nguyen, X. H.; Honda, T.; Wang, Y.; Yamamoto, R. **Module H: Eco-materials**, 2009.

NIEMEYER, L. **Elementos de Semiótica Aplicados ao Design**. 2 ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2007.

ODLARE, M., ARTHURSON, V., PELL, M., SVENSSON, K., NEHRENHEIM, E., ABUBAKER, J. Land application of organic waste: effects on the soil ecosystem. **Applied Energy**, v. 88, n. 6, p. 2210–2218, 2011.

OLIVEIRA, A. K. F. de. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos**. Doutorado (Tese). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica (PUC), Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, F. H. de. **Avaliação comparativa de compósitos unidirecionais de poliéster com fibras de vidro ou de curauá**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

OLIVEIRA, J. L. **Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana**. Mestrado (Dissertação). Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, Volta Redonda, 2015.

OVERVLIET, K. E.; MAYER, K. M.; SMEETS, J. B. J.; BRENNER, E. Haptic search is more efficient when the stimulus can be interpreted as consisting of fewer items. **Acta Psychologica**, v. 127, n. 1, p. 51–56, 2008.

OVERVLIET, K. E.; SOTO-FARACO, S. I can't believe this isn't wood! An investigation in the perception of naturalness. **Acta Psychologica**, v. 136, n. 1, p. 95-111, 2011.

PANTHAPULAKKAL, S.; SAIN, M.; LAW, S. Effect of coupling agents on rice-husk-filled HDPE extruded profiles. **Polymer International**, v. 54, n. 1, p. 137–142, 2005.

DE PAOLI, M. A. DE. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2º versão online. São Paulo: Chemkeys, 2008.

PAULOALVES. **Móveis em mogno**. Disponível em: <<https://pauloalves.com.br/produtos/aparadores-bares-buffets/aparador-mogno/>> Acesso em: 12 de março de 2018.

PAPANEK, V. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições 70, 2002.

PATTON, W.J. **Materials in industry**. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1968.

PENCZEK, P.; CZUB, P.; PIELICHOWSKI, J. Unsaturated polyester resins: chemistry and technology. **Advances in Polymer Science**, v. 184, p. 1-95, 2005.

PENG, Y., LIU, R., CAO, J; CHEN, Y. Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin, and cellulose. **Applied Surface Science**, v. 317, p. 385–392, 2014.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. de O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 2, p. 118-127, 2007.

PETCHWATTANA , N.; COVAVISARUCH , S. Effects of rice hull particle size and

content on the mechanical properties and visual appearance of wood plastic composites prepared from poly(vinyl chloride). **Journal of Bionic Engineering**, v. 10, p. 110 – 117, 2013.

PICCOLI, M.; ROMANO, F. V. Proposta de processo projetual para projetos de produtos baseados em reutilização de resíduos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produto**, Porto Alegre, 2011.

PIVA, R. D. **Processos de fabricação de móveis sob encomenda**. 2007. Disponível em: < <http://sbrc.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTE> => Acesso em: 23 de outubro de 2017.

POTHAN L. A.; THOMAS S. Effect of hybridization and chemical modification on the water- absorption behavior of banana fiber-reinforced polyester composites. **Composites, Science and Technology, Barking**, v. 63, p. 203-293, 2004.

PRABU, V. A; JOHNSON, R. D. J.; AMUTHAKKANNAN, P.; MANIKANDAN, V. Usage of industrial wastes as particulate composite for environment management: Hardness, Tensile and Impact studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, p. 1289–1301, 2017.

PREMALAL, H. G. B.; ISMAIL, H.; BAHARIN, A. Comparison of the mechanical properties of rice husk powder filled polypropylene composites with talc filled polypropylene composites. **Polymer Testing**, v. 21, n. 7, p. 833–839, 2002.

RAHMAN, M. R.; ISLAM, M. N.; HUQUE, M. M.; HAMDAN, S.; AHMED, A. S. Effect of chemical treatment on rice husk (rh) reinforced polyethylene (pe) composites. **Bio Resources**, v. 5, n. 2, p. 854-869, 2010a.

RAHMAN, W.A.W.A.; SIN, L.T.; RAHMAT, A.R.; ISA, N.M.; SALLEH, M.S.N.; MOKHTAR, M. Comparison of rice husk-filled polyethylene composite and natural wood under weathering effects. **Journal of Composite Materials**, v. 45, n. 13, p. 1403–1410, 2010b.

RAHMAN, F. N. A., ROMLI, A. Z.; ABIDIN, M. H. Effect of Rice Husk Particle Size on Tensile and Density of Recycled PPVC Composite. **Advanced Materials Research**, n. 812, p. 145-150, 2013.

RAMALHETE, P.S.; SENOS, A.M.R.; AGUIAR, A. Digital tools for material selection in product design. **Materials and Design**, v. 31, p. 2275–2287, 2010.

RAMÍREZ, M. G. L. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados com fibra de coco verde**. Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor Ciências Agrárias, UFPR. Curitiba, 2011.

RASSIAH, K.; SIHOMBING, H.; YUHAZRI, M. Y., PRABHU, C. M. R. Influence of Rice Husk and Composition Ratio on Mechanical Performance of Polypropylene Composite. **Journal of Engineering and Technology**, v. 1, 2016.

RATNA, D. **Handbook of Thermoset Resins**. SY4 4NR, United Kingdom, 2009.

RAZAVI-NOURI, M.; JAFARZADEH-DOGOURI, F.; OROMIEHIE, A.; LANGROUDI, A. E. Mechanical Properties and Water Absorption Behaviour of Chopped Rice Husk Filled Polypropylene Composites. **Iranian Polymer Journal**, v. 15, n. 9, p. 757-766, 2006.

REDDY, N.; YANG, Y. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from cornhusks. **Green Chemistry**, p. 190-195, 2005.

REDDY, J. **Mechanics of laminated composite plates and shells: theory and analysis**. Boca Raton, USA: CRC press, 2004.

REDIG, J. **Sobre Desenho Industrial**. Rio de Janeiro: ESDI, 1977.

REMADE. **Madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/madeiras-exoticas/393/madeiras-brasileiras-e-exoticas/jacaranda>> Acesso em: março de 2018.

ROBROEK, L. M. J. **The development of rubber forming as a rapid thermoforming technique for continuous fibre reinforced thermoplastic composites**. Tese de Doutorado, Delft University of Technology, Holanda, 1994.

RODRIGUES, L. P. S. **Efeitos do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

ROGNOLI, V.; KARANA, E. Towards a New Materials Aesthetic Based on Imperfection and Graceful Ageing. In: E. Karana, O. Pedgley, V. Rognoli (Eds.), **Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design**, first ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier, UK, 2014.

ROSA, S. M. L. R. **Estudo das propriedades de Compósitos de Polipropileno com Casca de Arroz**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica, e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ROSA, S. M. L.; SANTOS, E. F.; FERREIRA, C. A.; NACHTIGALL, S. M. B. Studies on the Properties of Rice-Husk-Filled-PP Composites – Effect of Maleated PP. **Materials Research**, v. 12, n. 3, p. 333-338, 2009.

ROSA, S. E. S. DA; CORREA, A. R.; LEMOS, M. L. F.; BARROSO, D. V. **O setor de móveis na atualidade: uma análise preliminar**. 2007. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2469/1/BS%2025_O%20setor%20de%20m%C3%B3veis%20na%20atualidade_P.pdf> Acesso em: 10 de maio de 2018.

ROZIN, P. The Meaning of “Natura”l: Process More Important Than Content. **Psychological Science**, v. 16, n. 8, p. 652-658, 2005.

ROWELL, R.M.; SANADI, A.R.; CAULFIED, D.F.; JACOBSON, R.E. Utilization of natural fibers in plastic composites: Problems and Opportunities. **Lignocellulosic – Plastics Composites**, p. 23 – 51, 1997.

ROYAL. **Botina de couro**. Disponível em: <<https://www.royalmaquinas.com.br/botina-de-couro-com-elastico-e-sem-biqueira-de-aco-12.html>> Acesso em: 10 de março de 2018.

ROZMAN, H.D.; YEO, Y.S.; TAY, G.S.; ABUBAKAR, A. The mechanical and physical properties of polyurethane composites based on rice husk and polyethylene glycol. **Polymer Testing**, n. 22, p. 617–623, 2003.

RUDNIK, E. **Compostable Polymer Materials**. Oxford: Elsevier, 2008.

SAJITH, S.; ARUMUGAM, V.; DHAKAL, H. N. Comparison on mechanical properties of lignocellulosic flour epoxy composites prepared by using coconut shell, rice husk and teakwood as fillers. **Polymer Testing**, v. 58, p. 60-69, 2017.

SALÃO DO MÓVEL DE MILÃO. **Tendências para móveis e interiores em 2018**. Disponível em: <<https://www.salonemilano.it/>> Acesso em: 01 de maio de 2018.

SAITO, Y. **Everyday Aesthetics**. Oxford University Press, New York, 2007.

SALES, R. B. C.; MOTTA, S.; AGUILAR, M. T. **O papel da seleção de materiais na criação da identidade do produto pelo design**. Cadernos de estudos avançados em design: identidade. Organização: Dijon De Moraes, Lia Krucken, Paulo Reyes. EdUEMG: Belo Horizonte, 2010.

SANTOS, A. S. **Estudo da viabilidade de aplicação de fibras da pupunheira (bactris gaspaes h. B.k) como alternativa à fibra de vidro no desenvolvimento de produtos**. Mestrado (Dissertação). Programa de Mestrado em Saúde e Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville, 2007.

SANTULLI, C.; CARUSO, A. P. Effect of fibre architecture on the falling weight impact properties of hemp/epoxy composites. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**, v. 3, n. 3, p. 291-297, 2009.

SATO, T.; HIRATA, T.; TAKAHASHI, S.; SHISHIDO, M.; LIZUKA, H. Preparation and Mechanical Properties of Recycled Thermoplastic Composites with Rice Hull Particles. **Transactions of the Materials Research Society of Japan**, n. 35, p. 929-932, 2010.

SATYANARAYANA, K. G. Biodegradable polymer composites based on Brazilian lignocellulosic. **Revista Matéria**, v.15, n. 2, p. 088-095, 2010.

SCANDINAVIA DESIGN. **Blow longe chair**. Disponível em: <https://www.scandinavia-design.fr/blow-lounge-chair-hay_en.html> Acesso em: 2 de maio de 2018.

SCANDOLA, E. Z. M. **Green composites**: an overview. *Polymer Composites*, 1906-1915, 2011.

SCHNEIDER, B. **Design – uma introdução**: o design no contexto social, cultural e econômico. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

SHOKRIEH, M. M.; BAYAT, A. Effects of Ultraviolet Radiation on Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites. **Journal of Composite Materials**, v. 41, n. 20, p. 2443-2455, 2007.

SHUBHRA, Q.T.H.; ALAM, A.K.M.M.; KHAN, M.A.; SAHA M.; SAHA, D.; GAFUR, M.A. Study on the mechanical properties, environmental effect, degradation characteristics and ionizing radiation effect on silk reinforced polypropylene/natural rubber composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 41, n. 11, p. 1587–1596, 2010.

SILAEX. **Poliéster insaturado**. 2015. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/poli%E9ster.htm>> Acesso em: janeiro de 2016.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. Mestrado (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2010.

SILVA, R.V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Doutorado (Tese). Área de Inter unidades em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. Curaua/Glass Hybrid Composite: The Effect of Water Aging on the Mechanical Properties. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 28, p. 1857-1868, 2009.

SILVA, C.B.DA; MARTINS, A.B; CATTO, A.L; SANTANA, R.M.C. Effect of natural ageing on the properties of recycled polypropylene/ethylene vinyl acetate/wood flour composites. **Revista Matéria**, v. 22, n. 2, 2017.

SILVA, R.L. **Influência dos agentes de acoplamento na degradação ambiental de compósitos de polipropileno-fibra de curauá**. Programa de Pós-Graduação em biotecnologia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2014.

SILVA, F. P. **Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para pessoas com deficiência**. Doutorado (Tese). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SINGH, B., SHARMA, M. Mechanistic implications of plastic degradation. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, p. 561-584, 2008.

SINHA, E.; PANIGRAHI, S. Effect of Plasma Treatment on Structure, Wettability of Jute Fiber and Flexural Strength of its Composite. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 43, p. 1791-1802, 2009.

SMITH, W. F. **Princípios de Ciências Engenharia dos Materiais**. Ed. McGraw-Hill, v.II, 1998.

SÖRENSEN, C. A.; JAGTAP, S.; WARELL, A. Material selection in industrial design education: a literature review. **International Conference on Engineering and Product Design Education**, 8 & 9, Aalborg University, Denmark, 2016.

SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006.

SREEKALA, M. S.; Jayamol, G.; THOMAS, S. Water sorption kinetics in oil palm fibers. **Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics**, New York, v. 39, n. 11, p. 1215-1223, 2002.

SOCALINGAME, L.; PERRINA, D.; BÉNÉZETA, J.C.; MANIB, S.; COIFFIER, F.; RICHAUD, E.; BERGERETA, A. **Reprocessing of artificial UV-weathered wood flour reinforced polypropylene composites**. **Polymer Degradation and Stability**, v. 120, p. 313-327, 2015.

SONITE. **Husk**. 2016. Disponível em: <<http://sonitesurfaces.com/galleries?s=husk>> Acesso em: 12 de maio de 2018.

SOUZA, M.F., YAMAMOTO, J. Mulita a partir de hidróxido de alumínio e de sílica da casca de arroz. **Cerâmica**, v. 45, n. 291, p. 34-37, 1999.

STARCK, P. **Zartan Basic**. 2012. Disponível em: <<http://www.starck.com/en?i=zartan&q=zartan>> Acesso em: 15 de nov. de 2017.

STARK, N.M.; MUELLER, S.A. Improving the color stability of wood-plastic composites through fiber pre-treatment. **Wood and Fiber Science**, v. 40, n. 2, p. 271–278, 2008.

STRONG, A. B. **Fundamentals of Composites Manufacturing, Second Edition: Materials, Methods and Applications**. 2. ed. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2008.

SURATA, W; SURIADI, G. A. K.; ARNIS, K. Mechanical Properties of Rice Husks Fiber Reinforced Polyester Composites. **International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing**, v. 2, n. 2, 2014.

TEÓFILO, E.T., MELO, R.N., SILVA, S.M.L., RABELLO, M.S. Stress Cracking e Ataque Químico do PET em Diferentes Agentes Químicos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 3, p. 202-211, 2009.

TEAKSTORE. **Móveis**. Disponível em: <<http://www.teakstore.com.br/index.php>> Acesso em: 10 de março de 2018.

TERRA DE ARROZ. **O grão de arroz**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/alimentus1/terradearroz/index.htm>> Acesso em: 10 de julho de 2015.

TINÔ, S. R. T. **Laminados comp ósitos de prfv: efeitos da descontinuidade geométrica e do envelhecimento ambiental acelerado.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal, 2014.

TWE, M. M.; LIAO, K. Durability of bamboo-glass fiber reingorced polymer matrix hybrid composites. **Composites Science and Tecnology**, v. 63, p. 375-387, 2003.

UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinase: aplicações e perspectivas. **Revista Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.

UFP Technologies. **Natural Fibers**. 2017. Disponível em: <<https://www.ufpt.com/materials/natural-fibers.html>> Acesso em: 02 de out. de 2017.

VLACK, L. H. V. **Princípios de Ciências e Tecnologia dos Materiais**. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Campus, 1984.

VASILE, C.; SEYMOUR, R. B. **Handbook of polyolefins**. Synthesis and properties. New York: Marcel Dekker Inc., 1993.

VELHABAHIA. **Cadeira**. Disponível em: <<http://www.velhabahia.com.br/>> Acesso em: 10 de março de 2018.

VANEKO. **The Be.e electric style**. 2017. Disponível em: < <https://www.vaneko.com/>. > Acesso em: 10 de outubro de 2017.

VÄISÄNEN, T.; BATELLO, P.; LAPPALAINEN, R.; TOMPPOA, L. Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L.) for composite applications. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 422-429, 2018.

VEPADDLES. **Prototype Flax VE Paddles**. 2013. Disponível em: <<https://vepaddles.com/news/prototype-flax-ve-paddles/>> Acesso em: 06 de novembro de 2017.

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. **IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Cruz das Almas, Bahia, 2016.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Fibras de Curauá e de Juta**. 2012. Disponível em: < <http://vwbr.com.br/ImprensaVW/Release.aspx?id=3a3d789f-10da-4ebc-a796-69ad18ae27a7> > Acesso em: 23 de novembro de 2017.

Yousif BF, Ku H. Suitability of using coir fiber/polymeric composite for the design of liquid storage tanks. **Materials and Design**, v. 36, p. 847–53, 2012.

YANG, H. S.; KIM, H. J; SON, J; PARK, H. P.; LEE; B. J.; HWANG, T. S. Rice-husk flour filled polypropylene composites: mechanical and morphological study. **Composite Structures**, v. 63, p. 305–312, 2004.

YANG, H. S.; KIM, H. J.; PARK, H. J.; LEE, B. J.; HWANG, T. S. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. **Composite Structures**, v. 77, p. 45-55, 2007.

YANG, T.H.; YANG, T.H; CHAO, W.C; LEU, S.Y. Characterization of the property changes of extruded wood plastic composites during year round subtropical weathering. **Construction and Building Materials**, v. 88, p. 159-168, 2015.

YAN, H. S. **Creative Design of Mechanical Devices**. Singapore: Springer, 1998.

YILMAZ, N. D. Agro-Residual Fibers as Potential Reinforcement Elements for Biocomposites. In: THAKUR, V. K. **Lignocellulosic Polymer Composites: Processing, Characterization, and Properties**, Co-published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2015.

WALKER, S. **Sustainable by Design**. Earthscan, UK, 2006.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p.1184-1192, 2008.

WOODSECONDCHANCE. **Móveis**. Disponível em:
<<http://woodsecondchance.blogspot.com>> Acesso em: 10 de março de 2018.

WRIGHT, D.C. **Environmental Stress Cracking of Plastics**. Rapra, Shawbury, 1996.

ZAHA-HADID. **Flames shoes for united nude**. 2015. Disponível em:
<<http://www.zaha-hadid.com/2015/04/12/flames-shoes-for-united-nude-2/>> Acesso em: 11 de março de 2018.

ZAPWIZARD. **The real wood iPod**. 2005. Disponível em:
<<http://www.zapwizard.com/blog/projects/the-real-wood-ipod/>> Acesso em: 12 de maio de 2018.

ZEMAD. **Principais tipos de madeira para móveis**. Disponível em:
<<http://www.zemad.com.br/principais-tipos-de-madeira-para-moveis/>> Acesso em: 21 de maio de 2018.

ZINI, E.; SCANDOLA, M. Green composites: An overview. **Polymer composites**, v. 32, n. 12, p. 1905–1915, 2011.