



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Escola Superior de Desenho Industrial

Pedro Zöhner Rodrigues da Costa

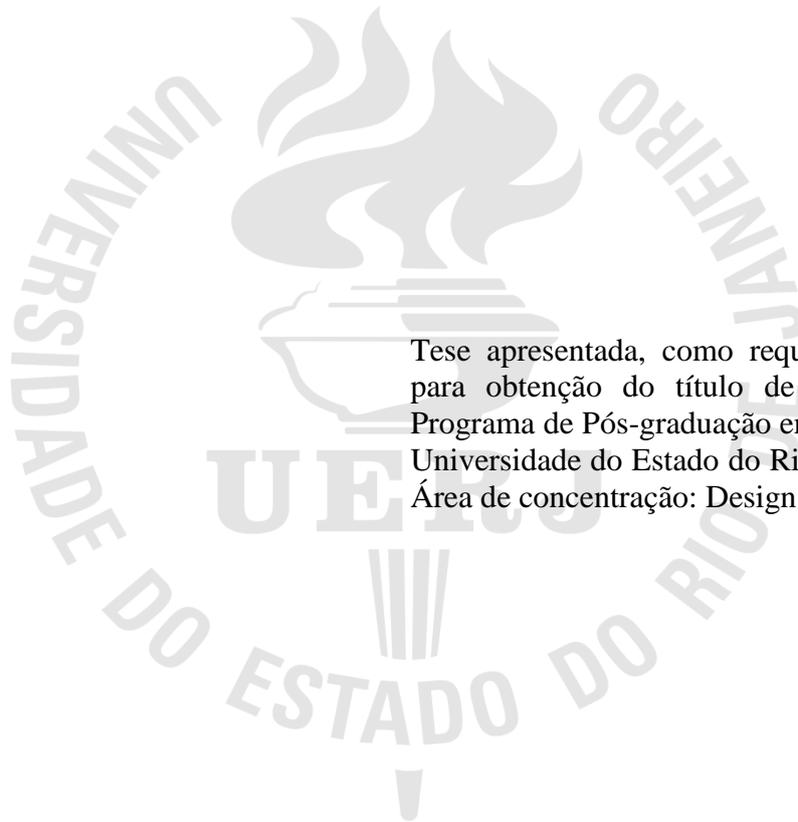
**Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos
artesanais e protótipos em plantas mínimas**

Rio de Janeiro

2018

Pedro Zöhner Rodrigues da Costa

Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e protótipos em plantas mínimas



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-graduação em Design, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Design.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reiszal Pereira

Rio de Janeiro

2018

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CTC/G

C837

Costa, Pedro Zöhler Rodrigues da.

Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e protótipos em plantas mínimas / Pedro Zöhler Rodrigues da Costa. – 2018.

181 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Reizzel Pereira.

Tese (Doutorado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Escola Superior de Desenho Industrial.

1. Ecodesign - Teses. 2. Desenho industrial – Aspectos ambientais - Teses. 3. Reciclagem - Teses. 4. Eco- compósito - Teses. 5. Ecologia industrial – Teses. I. Pereira, Fernando Reizzel. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Escola Superior de Desenho Industrial. III. Título.

CDU 7.05:504

Bibliotecária: Marianna Lopes Bezerra CRB7/6386

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Pedro Zöhner Rodrigues da Costa

**Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e
protótipos em plantas mínimas**

Tese apresentada, como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor, ao
Programa de Pós-graduação em Design, da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Área de concentração: Design.

Aprovada em: 20 de dezembro de 2018

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Reiszal Pereira (Orientador)
Escola de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Lígia Maria Sampaio de Medeiros
Escola de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. Andre Ribeiro de Oliveira
Escola de Desenho Industrial - UERJ

Prof. Dr. João Carlos Lutz Barbosa
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Julio César Augusto da Silva
Instituto Nacional de Tecnologia

Rio de Janeiro

2018

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo amor imenso, apoio incondicional e por acreditarem em mim.

Ao Prof. Dr. Fernando Reiszal Pereira, meu orientador, por todo o ensinamento e por toda a dedicação e, por mais uma vez, estar ao meu lado nesta importante etapa de minha jornada acadêmica.

Ao Prof. Dr. Andre Ribeiro, Prof^a Dr^a Lygia Medeiros, Prof. Dr. João Lutz e ao Prof. Dr. Júlio César da Silva, pelos quais tenho profunda admiração, por aceitarem o convite para compor a banca da minha dissertação.

Ao Prof. Dr. Sydney Freitas e ao Prof. Dr. Luiz Vidal Gomes pelo apoio e incentivo.

Ao amigo Prof. Dr. Ricardo Michel, pela disponibilidade de sanar com imensa boa vontade, dúvidas que surgiram ao longo do caminho.

Ao meu irmão Prof. Dr. Rafael Costa pela ajuda na revisão da tese.

Aos amigos de turma Pedro Biz, Gil Brito, Jocely, Silvia e Cleber. Essa jornada foi melhor com vocês.

À CAPES por conceder a bolsa de estudos do Doutorado.

Aos funcionários da ESDI-UERJ, principalmente Anna Teresa e Carlinhos, por tudo o que fizeram para que nós pudéssemos usufruir do melhor ambiente possível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar
o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.

Arthur Schopenhauer

RESUMO

COSTA, Pedro Zohrer Rodrigues da. **Tecnologia de fabricação de Eco-compósitos aplicados a produtos artesanais e protótipos em plantas mínimas**. 2018. 181 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

O uso de eco-compósitos como alternativa de um material voltado para as estratégias do ecodesign não são novas, mas as limitações técnicas dos atuais processos de fabricação e reciclagem envolvem em geral maquinário ou ferramental caro ou complexo para os de natureza reciclável e custo alto dos insumos quando de natureza biodegradável, o que dificulta sua popularização e difusão em plantas mínimas e em produções artesanais. Além disso, nos compósitos que podem ser reciclados, existem limitações técnicas em seus processos decorrentes ou da difícil separação dos materiais que os constituem ou da deterioração dos mesmos em razão dos próprios processos, isso acaba por reduzir muito suas propriedades técnicas e estéticas e consequente utilidade quando pensados para uma economia circular onde os recursos são continuamente reintroduzidos no tecnociclo. Essa tese tem como objetivo principal apresentar novos métodos e processos de fabricação e reciclagem de eco-compósitos para a aplicação em ecoprodutos. São apresentados a fundamentação teórica base do desenvolvimento dos novos métodos de fabricação e reciclagem, os critérios de seleção dos insumos, os testes preliminares e suas avaliações. As amostras de teste e os ecoprodutos foram fabricados com o mínimo de infraestrutura, ferramentas e máquinas, de forma a permitir a produção artesanal de ecoprodutos cujas partes, ou matérias primas, foram pensadas para recircular no tecnociclo como remanufatura, reuso, reciclagem, ou apenas como descarte com baixo impacto ambiental. Os Eco-compósitos desenvolvidos usam matérias primas virgens abundantes e renováveis, ou oriundas de pré e pós-consumo, assim como resíduos não renováveis de pré e pós-consumo. Nos processos de fabricação apresentados, uma das fases do compósito se apresenta na forma de dispersão coloidal, permitindo sua fácil combinação a outra fase, o que viabiliza uma conformação manual. O processo emprega a avaliação sensorial como forma de controle do processo de produção e para a formulação das proporções entre as matrizes e o material de reforço. Como exemplos de material Eco-compósitos resultantes dessa técnica, listam-se os que usavam como material de reforço o papel, a celulose bacteriana, as fibras de sisal, as fibras de piaçava, as fibras de coco, os feltros de curauá e juta e as fibras de madeira /farinha de madeira. Como exemplos de materiais usados na matriz, há o silicato de sódio, a carnaúba, o breu, o colágeno, a policaprolactona, o poli(acetato de vinila), a caseína, o acetato de celulose, o poliestireno, o poliestireno expandido, o poliestireno de alto impacto e o ABS. Os processos desenvolvidos não só consomem o mínimo de energia e água, mas também apresentam baixa ou nenhuma emissão de poluentes. Os resíduos, quando produzidos, foram reincorporados aos processos. O resultado dessa pesquisa contribui de forma a tornar a produção de ecoprodutos e a tecnologia de fabricação de eco-compósitos mais acessível a população em geral, aos artesãos, designers e estudantes, assim como pequenos empreendedores, permitindo que um maior número de pessoas possa tomar a iniciativa de reciclar seus próprios resíduos ou os encontrados no meio ambiente onde vivem, ajudamos a desenvolver a cultura da economia circular e a visão dos resíduos como recurso e não mais como problema ambiental.

Palavras-chave: Eco-compósito. Materiais e processos de fabricação. Resíduos. Reciclagem por solubilização. Avaliação sensorial. Ecodesign. Economia circular. Ecologia industrial. Tecnologia social.

ABSTRACT

COSTA, Pedro Zohrer Rodrigues da. **Eco-composite manufacturing technology applied to craft products and prototypes in minimal plants**. 2018. 181 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Desenho Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

The use of eco-composites as an alternative to ecodesign strategies is not new, but the technical limitations of current manufacturing and recycling processes often involve expensive or complex machinery or tooling for those of recyclable nature and high cost of inputs that are of a biodegradable nature, which makes it difficult to be popularized and disseminated in minimal plants and in artisanal products. In addition, in composites that can be recycled, there are technical limitations in their processes resulting from the difficult separation of the materials that constitute them or their deterioration due to the processes themselves, this ends up greatly reducing their technical and aesthetic properties and consequent utility when thought for a circular economy where resources are continually reintroduced into the technocycle. This thesis has as main objective to present new methods and processes of manufacture and recycling of eco-composites for the application in eco products. The theoretical basis of the development of the new manufacturing and recycling methods, the selection criteria of the inputs, the preliminary tests and their evaluations are presented. The test samples and the eco products were manufactured with the minimum infrastructure, tools and machines, so as to allow the artisanal production of eco products whose parts, or raw materials, were thought to recycle in the technocycle as remanufacturing, reuse, recycling, or only low environmental impact. Eco-composites use abundant and renewable raw materials obtained from pre and/or post consumption, as well as non-renewable pre and/or post-consumer waste. In the manufacturing processes presented, one of the phases of the composite is in the form of a colloidal dispersion, allowing its easy combination with the other phase, which allows a manual conformation. The process uses sensorial evaluation as a form of production control of the process and for the formulation of the proportions between the matrices and the reinforcement material. As examples of eco-composite materials resulting from this technique we can list those that use paper as a reinforcing material, bacterial cellulose, sisal fibers, *piçava* fibers, coconut fiber, *curauá* and jute felts, wood fiber/wood flour. Examples of materials used in the matrix are sodium silicate, *carnaúba*, pich, collagen, polycaprolactone, poly (vinyl acetate), casein, cellulose acetate, polystyrene, expanded polystyrene, high impact polystyrene and ABS. The processes developed not only consume the minimum energy and water, but also have low or no emission of pollutants. The waste, when produced, was reincorporated into the processes. The result of this research contributes to making the production of eco products and eco-composite manufacturing technology more accessible to the general population, artisans, designers and students, as well as small entrepreneurs, allowing a greater number of people to take the initiative to recycle their own waste or those found in the environment where they live, we help develop the culture of the circular economy and the vision of waste as a resource and no longer as an environmental problem.

Keywords: Eco-composite. Materials and manufacturing processes. Waste. Recycling by solubilization. Sensory evaluation. Ecodesign. Circular economy. Industrial ecology. Social technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Organograma dos tipos de matriz para compósito.....	30
Figura 2-	Origem das Fibras Naturais.....	31
Figura 3-	Simbologias de identificação para coleta seletiva e reciclagem de materiais.....	35
Figura 4-	Cores para identificação dos containers destinados aos diferentes materiais na coleta seletiva e no descarte de materiais especiais....	36
Figura 5-	Símbolos de material oriundos da reciclagem.....	36
Figura 6-	Polímeros segundo sua natureza biodegradável e não biodegradável.....	41
Figura 7-	Tipos de reciclagem.....	45
Figura 8-	Métodos de processamento para a reciclagem de polímeros.....	46
Figura 9-	Poliestireno expandido (PSE) dissolvido por <i>d</i> -limoneno.....	47
Figura 10-	Comparação da emissão de COv.....	48
Figura 11-	Impacto ambiental dos solventes.....	73
Figura 12-	Velocidade de evaporação dos solventes puros.....	74
Figura 13-	Diferentes resultados para a celulose bacteriana em função do meio de cultura e pós-tratamentos.....	77
Figura 14-	Formas de apresentação do sisal.....	79
Figura 15-	Piaçava.....	80
Figura 16-	Fibras de coco.....	82
Figura 17-	Manta de Curauá.....	83
Figura 18-	Manta de Sisal.....	83
Figura 19-	Papel colocado de molho.....	91
Figura 20-	Papel rasgado em pedaços menores para a despolpa.....	91
Figura 21-	Despolpa do papel usando um misturador de tintas.....	92
Figura 22-	Retirada do excesso de água e Adição de ligantes.....	93
Figura 23-	Moldagem e conformação com formas e moldes.....	94
Figura 24-	Processo polpa moldado usado para produção de painéis acústicos e embalagens.....	95
Figura 25-	Secagem em local coberto e bem ventilado.....	95

Figura 26-	Processos de Separação, união e melhoramento antes de receber a matriz.....	96
Figura 27-	Luminária moldada livremente com polpa pigmentada em diferentes cores.....	96
Figura 28-	Poltrona de PET e Eco-compósito tipo 1 A.....	97
Figura 29-	Relógio de parede feito com molde de forma de pizza em alumínio com desmoldante e adição de caulim à massa para tornar mais branco e resistente a água.....	97
Figura 30-	Mesa disco pronta e o molde usado para confecção do tampo.....	98
Figura 31-	Mesa arco em Eco-compósito tipo 1 ^a	101
Figura 32-	Cadeira de Eco-compósito tipo 1C.	101
Figura 33-	Testes de pigmentação de Eco-compósito 1B.....	101
Figura 34-	Impregnação, secagem, preparo e acabamento das partes da cadeira.....	102
Figura 35-	Aplicação de matriz solubilizada ao substrato de cartão couro.....	102
Figura 36-	Conformação a quente de uma chapa de Eco-compósito 1 C.....	102
Figura 37-	Eco-compósito tipo 2.....	104
Figura 38-	Amostra de Eco-compósito tipo 2 com reforço de piaçava.....	106
Figura 39-	Peças da amostra de Eco-compósito tipo 2 com diferentes acabamentos.....	106
Figura 40-	Peça de PCL sendo moldada.....	108
Figura 41-	Reciclagem de peça em PCL.....	109
Figura 42-	Fabricação do Eco-compósito tipo 2 (poliprolactona - piaçava) processo por fusão da matriz.....	110
Figura 43-	PCL sendo dissolvida em acetona.....	110
Figura 44-	Sequência de moldagem do Eco-compósito tipo 1 matriz PCL....	111
Figura 45-	PCL em estado coloidal.....	112
Figura 46-	Compósito PCL-Piaçava em estado coloidal.....	112
Figura 47-	Sequência de conformação em molde aberto do coloide de PCL e piaçava.....	113
Figura 48-	Amostras de diferentes processos de fabricação do Eco-compósito com matriz de PCL.....	114
Figura 49-	Material usado para obtenção de caseína do leite.....	118

Figura 50-	Reação de precipitação da caseína do leite.....	119
Figura 51-	Filtragem da caseína.....	119
Figura 52-	Purificação da caseína.....	120
Figura 53-	Sequencia na adição de bicarbonato de sódio à caseína úmida.....	120
Figura 54-	Conformação e secagem da caseína pura.....	121
Figura 55-	Caseína pigmentada com corante alimentar azul.....	122
Figura 56-	Mistura caseína extraída do leite com piaçava picada.....	123
Figura 57-	Peça compósita com matriz de caseína coloidal e serragem fina..	123
Figura 58-	Peça compósita com matriz solubilizada de caseína e serragem fina.....	124
Figura 59-	Eco-compósito tipo 3 reforço com manta e com fibras contínuas.....	124
Figura 60-	Moldagens da caseína coloidal com piaçava e serragem fina.....	125
Figura 61-	Peças lixadas e polidas de caseína e piaçava e caseína e serragem	126
Figura 62-	Matriz PVAc base cola branca (PVA) e base álcool polivinílico.	128
Figura 63-	Massa compósita coloidal em matriz PVA e de álcool polivinílico.....	128
Figura 64-	Conformação das peças em Eco-compósito de PVAc e piaçava picada.....	129
Figura 65-	Conformação serragem fina e matriz coloidal de PVAc.....	130
Figura 66-	Problemas na proporção matriz reforço.....	131
Figura 67-	PVAc e celulose em pó com corante alimentar, e PVAc com sisal	131
Figura 68-	PVAc e carga de talco em diferentes concentrações.....	131
Figura 69-	Dissolução do PSE.....	134
Figura 70-	Peça em PSAI moldada por dissolução parcial dos grãos.....	135
Figura 71-	Separação e conformação em estado semi- seco.....	136
Figura 72-	Testes PSAI, PSAI com PS cristal, PS cristal, solvente acetato de etila..	137
Figura 73-	Dissolução de PSE por solvente e anti-solvente e por solvente puro.....	137
Figura 74-	Conformação de acetato de celulose com serragem grossa de madeira.....	138
Figura 75-	Comparação Eco-compósito tipo 4 em diferentes solubilizações...	139

Figura 76-	Proporções diferentes em compósitos com solventes puros.....	140
Figura 77-	Porta copos de PS com piaçava, serragem grossa e sisal.....	140
Figura 78-	Eco-compósito tipo 4 fibras contínuas unidirecionais de piaçava..	141
Figura 79-	Eco-compósito tipo 4 fibras contínuas multidirecionais sisal e curauá.....	142
Figura 80-	Testes de separação por corte.....	142
Figura 81-	Testes de separação por desbaste.....	143
Figura 82-	Teste de união por colagem.....	144
Figura 83-	Teste de melhoramento por abrasão.....	145
Figura 84-	Teste de melhoramento polimento.....	146
Figura 85-	Panorama das matrizes, solventes e reforços usados no Eco-compósito 4.....	146
Figura 86-	Testes produção de protótipos por conformação.....	147
Figura 87-	Caracterização, dissolução, mistura e homogeneização da massa de Eco-compósito com uso de maquinário industrial.....	150
Figura 88-	Protótipo banco tampo Eco-compósito PS-Serragem grossa e PS piaçava fina.....	151
Figura 89-	Protótipo vaso de plantas em Eco-compósito PS-Seragem grossa..	151
Figura 90-	Cultivo de Kombucha (Biorreator estático).....	155
Figura 91-	Retirada da CB do meio de cultivo e posta para secar.....	156
Figura 92-	Purificação e pigmentação da CB.....	158
Figura 93-	Conformação durante a secagem da CB.....	159
Figura 94-	Separação, união e laminação com CB.....	160
Figura 95-	Testes com alteração do meio de cultivo e processos de fabricação.....	161
Figura 96-	Carteira de CB não purificada.....	162
Figura 97-	Porta cartões de CB não purificada.....	162
Figura 98-	Mini carteira de CB purificada.....	162
Figura 99-	Mobiliário em Eco-compósito tipo 1 na Feira de móveis de Milão	164
Figura 100-	Manutenção de uma peça em Eco-compósito tipo 1 c.....	167
Figura 101-	Testes de caracterização e conformidade.....	168

Figura 102-	Testes diversos com fixações mecânicas e acabamentos com laminados e compósitos tipo sanduíche.....	168
Figura 103-	Workshop "Cozinha de compósito"	169
Figura 104-	Exposição na UNIVERCIDADE unidade Ipanema	170
Figura 105-	Fluxograma geral da metodologia aplicada no processo de fabricação dos Eco-compósitos.....	179
Figura 106	Quadro ampliado dos códigos para materiais recicláveis, com base na lista de códigos de identificação de resina (RIC) e códigos definidos pela Comissão Européia.....	180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-	Propriedades sensoriais dos polímeros termoplásticos em diferentes testes.....	38
Quadro 2-	Solubilidade de polímeros.....	70
Quadro 3-	Origem, riscos, acesso, restrições e custos.....	72
Quadro 4-	Comparativo entre métodos da produção de CB em biorreatores estáticos.....	152
Quadro 5-	Ensaio de resistência à compressão do Eco-compósito 1A.....	180
Quadro 6-	Dimensões dos corpos de prova para Eco-compósitos.....	180

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	20
1.	OBJETIVOS	25
1.1	Objetivos Gerais	25
1.2	Objetivos específicos	25
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Compósitos	27
2.1.1	<u>Propriedades dos compósitos</u>	30
2.1.2	<u>Eco-compósitos</u>	31
2.2	Polímeros	32
2.2.1	<u>Identificação dos plásticos na prática</u>	33
2.2.1.1	Testes de avaliação sensorial.....	37
2.2.2	<u>Degradação físico-químico de polímeros</u>	39
2.2.3	<u>Biodegradação e compostagem</u>	40
2.2.4	<u>Reciclagem, Upcycling e Downcycling</u>	42
2.2.4.1	Tipos e métodos de processamento para reciclagem de polímeros.....	44
2.2.4.2	Plantas mínimas para reciclagem.....	51
3.	METODOLOGIA	54
3.1	Critérios de seleção dos materiais	54
3.1.1	<u>Seleção do material da matriz</u>	55
3.1.2	<u>Materiais adotados como matriz</u>	56
3.1.2.1	Cerâmicos.....	56
3.1.2.2	Polímeros-termoplásticos naturais renováveis biodegradáveis.....	57
3.1.2.2.1	Breu.....	57
3.1.2.2.2	Cera de Carnaúba.....	57
3.1.2.2.3	Óleo de linhaça.....	57
3.1.2.2.4	Gelatina técnica/Colágeno.....	60
3.1.2.2.5	Acetato de celulose (AC).....	61
3.1.2.3	Polímeros termofixos de origem renovável e biodegradável (Caseína).....	61
3.1.2.4	Polímeros termofixos de origem não renovável e biodegradável	

PVAc)	62
3.1.2.5 Polímeros termoplásticos sintéticos não renováveis e biodegradáveis(PCL).....	63
3.1.2.6 Polímeros termoplásticos sintéticos não renováveis (PS, PSE, PSE, PSX ,PSAI e ABS).....	64
3.1.3 <u>Solventes</u>	65
3.1.3.1 Etanol.....	65
3.1.3.2 Limoneno.....	66
3.1.3.3 Acetato de etila.....	67
3.1.3.4 Acetona.....	67
3.1.3.5 Redutor de tintas THINNER 2002.....	68
3.1.3.6 Toluol.....	68
3.1.3.7 Gasolina comum.....	69
3.1.3.8 Seleção dos solventes.....	69
3.1.3.8.1 Solventes e sua capacidade de solubilizar diferentes polímeros.....	71
3.1.3.8.2 Grau de sustentabilidade.....	71
3.1.3.8.3 Velocidades de evaporação dos solventes.....	73
3.1.3.8.4 Misturas de solventes e não solventes.....	73
3.1.4 <u>Materiais usados para o reforço ou carga</u>	74
3.1.4.1 Celulose e lignocelulose.....	74
3.1.4.1.1 Celulose bacteriana.....	74
3.1.4.1.2 Papel.....	76
3.1.4.1.3 Fibras Lignocelulósicas (sisal, piaçava, fibra de curauá, fibra de coco).....	77
3.1.4.1.4 Mantas/ nãotecidos.....	79
3.2 Nomenclatura	82
3.2.1 <u>Eco-compósito tipo 1</u>	83
3.2.1.1 Subgrupo A	83
3.2.1.2 Subgrupo B.....	84
3.2.1.3 Subgrupo C	84
3.2.2 <u>Eco-compósitos tipo 2</u>	85
3.2.3 <u>Eco-compósitos tipo 3</u>	85
3.2.4 <u>Eco-compósitos do tipo 4</u>	86

3.2.5	<u>Eco-compósitos do tipo 5</u>	86
4	MATERIAIS E MÉTODOS	88
4.1	Máquinas, equipamentos e ferramentas	88
4.2	Processo Base Eco-compósito 1	89
4.2.1	<u>Preparação do material de reforço celulósico</u>	89
4.2.1.1	Resultados Parciais.....	97
4.2.2	<u>Preparação dos materiais usados na matriz</u>	97
4.2.2.1	Solubilização do silicato de sódio.....	98
4.2.2.2	Solubilização do breu e óleo de linhaça.....	98
4.2.2.3	Aplicação da matriz solúvel sobre os substratos celulósicos.....	98
4.2.3	<u>Exemplos de fabricação de protótipos em Eco-compósito tipo 1</u>	99
4.3	Processo base Eco-compósito 2	102
4.3.1	<u>Preparação dos materiais usados como reforço e carga</u>	102
4.3.2	<u>Preparação do compósito com matriz de proteína animal (colágeno)</u>	103
4.3.2.1	Resultados parciais.....	104
4.3.3	<u>Testes preliminares com PCL fundido</u>	104
4.3.3.1	Reciclagem.....	107
4.3.3.2	Testes com PCL fundido combinado ao material de reforço.....	108
4.3.3.3	Teste da matriz de PCL solubilizada com os reforços.....	109
4.3.3.4	Resultados parciais.....	110
4.3.3.5	Teste da matriz coloidal de PCL com reforços	111
4.3.3.6	Resultados parciais.....	112
4.3.3.7	Discussão dos resultados parciais.....	113
4.4	Processo base Eco-compósito 3	115
4.4.1	<u>Preparação dos materiais usados como reforço e carga</u>	116
4.4.2	<u>Preparação do compósito com matriz de caseína</u>	116
4.4.2.1	1º Teste preliminar- Extração da caseína do leite.....	117
4.4.2.2	2º Teste preliminar- Preparação de caseína a partir do caseinato de cálcio	120
4.4.2.3	Teste preliminar 1 conformação- Compósito de piaçava com matriz coloidal de caseína extraída.....	121
4.4.2.4	Teste preliminar 2 conformação- Compósito de serragem fina com	

	matriz de caseína solubilizada.....	122
4.4.2.5	Teste preliminar 3 conformação -Compósito de matriz de caseína solubilizada com mantas e feixes contínuos de fibras.....	123
4.4.2.5.1	Testes de separação e união.....	125
4.4.2.5.2	Testes de melhoramento.....	125
4.4.2.6	Resultados parciais.....	126
4.4.3	<u>Preparação de compósitos com matriz de PVAc com cola PVA e álcool polivinílico.....</u>	126
4.4.3.1	1º Teste -Compósito com reforço adicionado antes da reticulação...	127
4.4.3.2	2º Teste - Compósito com reforço adicionado depois da reticulação	128
4.4.3.3	Resultados parciais.....	129
4.5	Processo base Eco-compósito 4.....	131
4.5.1	<u>Testes preliminares com o material da matriz</u>	133
4.5.2	<u>Teste comparativo matriz coloidal e solubilizada, reforço tipo partícula</u>	137
4.5.3	<u>Teste comparativo matriz coloidal e solubilizada, reforço tipo fibra contínua.....</u>	139
4.5.4	<u>Testes com processo de fabricação por separação.....</u>	141
4.5.4.1	Corte com serra circular e serra de fita corte laser.....	141
4.5.4.2	Desbaste com desgrosso, plaina elétrica e fresa CNC.....	142
4.5.5	<u>Testes com processo de fabricação por união.....</u>	143
4.5.5.1	Colagem.....	143
4.5.6	<u>Testes com processo de fabricação por melhoramento.....</u>	144
4.5.6.1	Abrasão por lixa.....	144
4.5.6.2	Polimento.....	145
4.5.7	<u>Testes na fabricação de protótipos.....</u>	146
4.5.7.1	Testes na Conformação de pequenos objetos.....	146
4.5.7.2	Testes na fabricação de objetos de maior dimensão.....	148
4.6	Processo base Eco-compósito Tipo 5.....	151
4.6.1	<u>Testes preliminares com o cultivo do material de reforço.....</u>	153
4.6.1.1	Cultivo base para produção da CB (celulose bacteriana).....	154
4.6.2	<u>Testes com processo de fabricação por melhoramento.....</u>	155
4.6.2.1	Purificação da CB.....	156

4.6.2.2	Pigmentação da CB.....	156
4.6.3	<u>Testes com processo de fabricação por conformação.....</u>	157
4.6.3.1	Conformação pós cultivo.....	157
4.6.4	<u>Testes com processo de fabricação por separação, união, laminação</u>	158
4.6.5	<u>Testes com alteração do meio de cultivo.....</u>	159
4.6.6	<u>Teste com a fabricação de protótipos.....</u>	160
4.6.6.1	Carteira de documento CB não purificada.....	160
4.6.6.2	Mini carteira de documento CB purificada com pigmento de bactéria.....	161
5.	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	162
	CONCLUSÃO.....	168
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
	APÊNDICE - Fluxograma geral da metodologia aplicada no processo de fabricação dos Eco-compósitos.....	179
	ANEXO A - Tabela de materiais recicláveis.....	180
	ANEXO B - Testes de caracterização de Eco-compósitos.....	181

INTRODUÇÃO

Não é de hoje que o homem convive com uma série de gravíssimos problemas decorrentes de seu modo de vida insustentável baseado, sobretudo na exploração irracional e predatória dos recursos naturais para a produção de bens de consumo. Apesar disso, as sociedades capitalistas pós-industriais não pouparam esforços nestas últimas décadas para tornar o consumismo o vício que movimenta as engrenagens da grande máquina da produção, que trabalha inexoravelmente sob a tênue promessa de uma vida futura melhor, mais próspera e com crescimento econômico assegurado.

Todavia, enquanto o futuro não chega trazendo consigo esta vida melhor, o ser humano lentamente se afoga em pilhas de lixo produzidas pela exploração irresponsável dos recursos da terra, que despreza os ciclos naturais e super-explora as riquezas finitas do planeta.

No passado, iniciativas de minimizar alguns desses problemas se mostraram paliativas, pois não consideravam o problema como um todo, isto é, não levaram em conta que, de todas as etapas da cadeia produtiva, da extração, transporte e fabricação, passando pela venda e o consumo, é no descarte de um produto que se percebem os efeitos de toda a destruição causada ao longo do processo produtivo.

O descarte de resíduos gerados pelos processos de extração e produção, seja de componentes e produtos industriais ou agrícolas, é um problema visível em todo o planeta e compromete a estabilidade econômica e social também de forma planetária. Portanto, a necessidade urgente de se adotarem alternativas que considerem aspectos como ecodesign, ecologia industrial e economia circular na concepção de novos produtos, sistemas produtivos e economia de recursos, uma vez que é essencial conciliar, de forma equilibrada, tanto as necessidades humanas quanto as do meio ambiente.

Dentro das chamadas tecnologias verdes, se destacam os Eco-compósitos que são alternativas de novos materiais para a produção de produtos que visam atender a requisitos não só técnicos, mas também estéticos, culturais, ambientais, financeiros e que se relacionam diretamente à disponibilidade, seja pela abundância do recurso, sua facilidade de obtenção, seja por extração direta, fácil beneficiamento, acesso ou compra.

Com base na pesquisa realizada em bases de dados IBICT, CAPES, Google SCHOLAR identificou-se três linhas básicas de pesquisa de maior interesse no desenvolvimento dos Eco-compósitos, as quais se diferenciam pelo tipo de materiais utilizados no reforço, na matriz e também pelo processo de fabricação.

Em primeiro lugar, destacam-se as pesquisas acerca dos materiais de reforço do tipo particulado, também chamados de carga e do tipo fibroso. Os tipos de materiais particulados mais pesquisados são os resíduos de madeira, em geral combinados a plásticos ou material de concretagem. Dentre esses, os que usam cargas de resíduos de madeira combinados a plásticos constituem a grande maioria e por isso receberam designação própria de WPC (Wood Plastic Composite), que não deve ser confundido com o que chamamos informalmente de madeira plástica. O termo Madeira Plástica (MP) Plastic Lumber, de acordo com a American Society for Testing and Materials (ASTM D7568-17), se aplica aos produtos manufaturados com no mínimo 50% de plástico, sendo que o restante não pode ser composto por materiais celulósicos, mas por aditivos, enchimentos ou reforços de fibras sintéticas.

É pertinente esclarecer que, segundo a (ASTM D6662), o WPC (Compósitos de madeira e plástico) contém pelo menos 49% de fibras de origem madeireira ou lignocelulósica (ASTM 7031).

Os outros Eco-compósitos que usam material fibroso de origem natural são chamados de NFPCs (Natural Fiber Plastic Composities), ou seja, compósitos plásticos com reforço de fibras naturais que podem ser de origem animal, vegetal e mineral.

Em segundo lugar, estão as pesquisas relativas aos termoplásticos e aos polímeros termofixos. Esses polímeros podem ser ainda do tipo biodegradável ou não. Em geral os polímeros não biodegradáveis são sintéticos de origem não renovável. Os polímeros sintéticos, no entanto, são hoje fonte abundante, fruto do descarte de pré ou pós-consumo, e podem ser reutilizados como recurso pelos processos de reciclagem na obtenção de compósitos.

O terceiro e último grupo seriam dos materiais de origem biotecnológica, onde o compósito é cultivado, a exemplo da celulose bacteriana (COSTA e BIZ, 2017) e o micélio de algumas espécies de fungos (TAVARES et al., 2013) .

Na primeira linha de pesquisa, os processos mais empregados envolvem conformação a quente com uso de prensas ou extrusoras, sendo que as temperaturas do processo são limitadas a duzentos grau Celsius em função da queima ou degradação das cargas ou reforços utilizados (SILVA, 2003).

Nos Eco-compósitos com fibras vegetais, Silva (2003) ainda relata o problema da falta de uniformidade das propriedades mecânicas das fibras que variam muito em relação ao local de origem, época da colheita, condições de extração, etc. Isso torna os testes de caracterização mecânica um problema, pois os dados obtidos sempre se apresentarão em faixas muito amplas de trabalho e não de forma pontual e bem definida como com materiais mais homogêneos.

Outro problema se relaciona à adesão ou acoplamento entre a matriz polimérica hidrofóbica e apolar, com as fibras naturais polares e hidrofílicas (CARVALHO, 1997; CALLISTER, 2009). As soluções em geral implicam em modificação da superfície das fibras do reforço com tratamentos químicos e/ou físicos. A eficácia desses tratamentos são relatadas em vários trabalhos: Fengel & Wegener (1984), Satyanarayana et al. (1990), Belgagem et al. (1994), Spinacé; de Paula (1996), Joseph et al. (1996), Carvalho (1997), Bisanda (2000), Rong et al. (2001), Spinger et al. (2001), D'almeida et al. (2005), Baltazar-Y-Jimenez et al. (2009), Lopes et al. (2010). No entanto, esses tratamentos dificultam a futura reciclagem desses Eco-compósitos, sendo que a própria degradação do Eco-compósito no ambiente onde ele é usado também contribui para o não interesse em sua reciclagem (WINANDY et al. 2004). Estes também afirmam que os Eco-compósitos feitos com matriz de polímeros termofixos, como resinas fenólicas, são mais caros que os que usam termoplásticos, além de serem mais difíceis de serem reciclados. Isso levou ao desenvolvimento de pesquisas de Eco-compósitos que utilizam matrizes biodegradáveis e de origem renovável.

Naturalmente a questão dos custos de um Eco-compósito e do seu processo de fabricação, quando comparados entre si, devem considerar além dos custos ambientais, o volume de produção e a forma como os insumos são disponibilizados. De acordo com Carvalho (2003), os compósitos com uso de matriz termofixa trazem as vantagens dos processos de fabricação de baixo custo, com facilidade de fabricação pelo uso de ferramentas simples, com moldagens a frio, estando o polímero na forma líquida, o que melhora a adesão ao material de reforço ou carga.

Uma diferença, no entanto, deve ser considerada: os processos de conformação a frio, como o da laminação da fibra de vidro com resina de poliéster, que são comumente usados em compósitos, são processos de fabricação mais artesanais, não sendo adequados a grande escala, mas permitem a fabricação de peças de tamanhos variados com uso de técnicas que vão da moldagem com moldes abertos e fechados com baixa pressão à alta pressão de conformação.

Existem muitos trabalhos de Eco-compósitos que usam matrizes em polímeros termorrígidos de origem vegetal e biodegradáveis, como o poliuretano de mamona, que podem ser vistos nos trabalhos de: Araújo et al. (2002), Silva (2003), Carvalho (2005), Miranda (2007), Costa e Barbosa (2007), Freire (2011), Barreto et al. (2013), Souza (2013), Rebelo (2016), Silva (2015).

Silva (2003) relata como uma restrição ao uso do Poliuretano (PU) de mamona bicomponente, onde as reações paralelas e a reação do isocianato com a água libera dióxido de carbono e podendo promover a expansão do polímero, criando imperfeições nas peças. Isso limita o uso do PU de mamona bicomponente às plantas artesanais onde a umidade relativa do ar deverá ser baixa, havendo também necessidade de maior controle no processo de fabricação principalmente no que se refere à umidade presente tanto nas fibras naturais usadas como reforço, como dos recipientes e moldes usados no processo.

Uma alternativa pouco estudada na criação de Eco-compósitos e objeto dessa tese, é o uso de matrizes que se encontram em forma coloidal no momento de se combinarem aos seus materiais de reforço ou cargas. Alguns materiais desse tipo são certos tipos de cerâmica e polímeros tanto termoplásticos como termorrígidos. Nesses processos, o agente de dispersão (que pode ser um solvente) tem o papel de manter o polímero em situação semelhante a um líquido ou coloide, o que facilita a mistura e moldagem do Eco-compósito.

A vantagem em se usar um polímero termoplástico solubilizado seria o uso de polímeros termoplásticos de origem de descarte que tem baixo custo e baixo valor econômico que acabam por se tornar pelo descarte, um problema ambiental. Os polímeros em suspensão podem usar processos de fabricação semelhantes aos baratos e acessíveis processos de fabricação usados com os polímeros termofixos.

Apesar da tecnologia de polímeros na forma dispersa ser amplamente explorada pela indústria de tintas, vernizes e colas, na reciclagem de polímeros é pouco relatada e menos ainda em compósitos. Nos trabalhos encontrados que abordam esse tema objetivando a reciclagem de polímeros por solubilização, encontramos para o Poliestireno expandido (PSE) o trabalho de Cella 2012 e para tintas e vernizes encontramos Schneider et al. (2013), Contreras e Diaz (2013) e Domingez et al. (2015). Dos poucos trabalhos encontrados sobre Eco-compósitos feitos por solubilização de polímeros, podemos citar os de: Cortez e Cunha (2013) que trabalharam com serragem de madeira e Poliestireno (PS) dissolvido em acetona e fizeram testes de caracterização. Costa e Pereira (2016) testaram cerâmicas, resinas naturais, polímeros sintéticos de origem de descarte como: Poliestireno (PS), Poliestireno expandido

(PSE), Poliestireno extrudado (PSX), Poliestireno de alto impacto (PSAI) e Acrilonitrila butadieno estireno (ABS) dissolvido em diferentes solventes combinados às serragens, fibras vegetais e papel, aplicados aos modelos e protótipos de ecoprodutos. Já Tavares et al. (2017) trabalhou com gravação a laser de texturas de madeiras sobre a superfície de um Eco-compósito feito com serragem e PS dissolvido em acetona.

Para que a tecnologia de Eco-compósito se difunda, é necessário que um maior número de pessoas, instituições de ensino e pequenas empresas tenham acesso. Essas novas alternativas de materiais e processos de fabricação devem ser desenvolvidas focando na flexibilização do uso de matérias primas de preferência locais e na facilidade técnica para sua produção. Junto a isso os conceitos de produto sustentáveis do tipo de berço ao berço, com a recirculação de matérias primas, remanufatura dos produtos e/ou partes, devem se tornar a principal fonte de matérias primas, evitando assim o seu descarte ao máximo. Quando esse descarte não puder ser evitado, o material do produto deve ser biodegradável e preferencialmente compostável. Essas medidas permitirão a redução dos custos de produção, possibilitando que esses materiais compósitos se tornem um produto ecológico de fácil acesso. Vale lembrar que a fácil criação de produtos em Eco-compósitos respeita a disponibilidade dos recursos locais e agrega valores não só ambientais, mas também culturais endêmicos.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivos Gerais

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um método produtivo, voltado para a tecnologia de Eco-compósitos com o mínimo de infraestrutura, de forma a permitir uma produção artesanal de ecoprodutos.

1.2 Objetivos específicos

- 1- Propor critérios de seleção para os recursos a serem utilizados nos Eco-compósitos;
- 2- Definir quais matrizes e cargas (reforços), e agentes de dispersão, atendem aos critérios propostos;
- 3- Testar combinação de matrizes e cargas a fim de verificar a adequação do material a um dado processo produtivo, por exemplo, sua capacidade de reproduzir detalhes de um molde (conformação) ou a necessidade de outros processos de fabricação complementares do tipo separação, união e melhoramentos;
- 4- Buscar na avaliação qualitativa pelo método organoléptico, uma ferramenta de controle das diversas etapas dos processos;
- 5- Desenvolver processos de fabricação simples, de baixo custo e com uso de moldes e gabaritos feitos de material ou produtos reaproveitados, fazendo uso de ferramentas manuais ou de maquinário conhecido e de fácil operação e manutenção, buscando sempre reduzir ao máximo os resíduos e impactos na produção e etapas de fabricação para viabilizar uma planta produtiva mínima;

6- Propor alternativas simplificadas de avaliação das características mecânicas dos materiais desenvolvidos e de conformidade de produtos, com base em avaliação organoléptica;

7- Verificar as alternativas de recuperação dos resíduos no ciclo de produção por reuso, remanufatura ou reciclagem dos materiais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compósitos

Segundo a Norma ASTM D3878-95, compósito é uma substância, consistindo 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. A denominação destes materiais é bastante diversificada, podendo ser tratada na literatura como: compostos, conjugados ou compósitos (MANO, 1991).

Para Callister (2002), de forma geral, um compósito é qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades. Muitos materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases: uma chamada matriz, que é contínua e envolve a outra fase denominada reforço.

Para Mendonça (2005) o material compósito é um sistema combinado por dois ou mais materiais a nível macroscópico que trabalham simultaneamente, funcionando como uma unidade visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresentaria, sendo formado por um reforço caracterizado objetivando influenciar na resistência mecânica do material, e a matriz que é responsável por transmitir os esforços ao reforço e dá a forma ao elemento estrutural.

Podemos dizer então que um material compósito é formado por dois ou mais materiais ou fases, onde o material que envolve todo o compósito de forma contínua é chamado de matriz e o material que está na forma dispersa ou descontínua é chamado de reforço ou carga. A função principal da composição ou combinação de materiais é a de se obter um novo material heterogêneo que tenha as características de seus componentes para melhor atender uma demanda técnica específica.

O sistema compósito funciona com a interface entre dois materiais com a transferência ou distribuição de cargas e sollicitação mecânica da matriz para a carga ou reforço.

A principal função da matriz é manter as fibras, partículas e estruturas juntas, sendo também responsável pela proteção das mesmas, garantindo sua integridade quando da exposição ao ambiente, seja pelas ações mecânicas superficiais como abrasão, seja pela ação

de agentes químicos e físicos externos que podem degradar prematuramente o reforço (LION, 2013).

Segundo López (2004) a natureza trabalha há muito tempo com compósitos, pois todos os materiais biológicos são organizados segundo este conceito. O compósito está presente, por exemplo, na madeira, onde a matriz é a lignina, e o reforço são as fibras de celulose, e no osso os minerais formam a matriz, e as fibras de colágeno o reforço, e assim por diante.

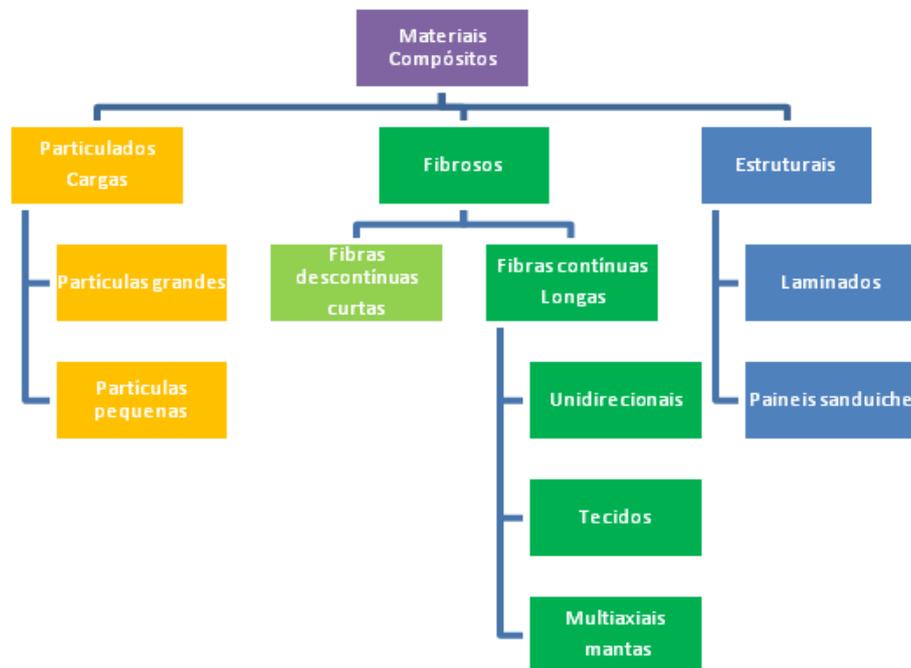
Os compósitos segundo Callister 2002 podem ser classificados segundo a natureza dos constituintes em: naturais (ossos, músculos, madeira) e sintéticos (plásticos reforçados, concreto armado, ligas de alumínio com fibras de boro).

No caso dos sintéticos as matrizes utilizadas podem ser:

- Poliméricas (látex, caseína e PU de mamona, breu, gelatina, acetato de celulose, PS, PSE, PSAI, ABS etc.);
- Cerâmicas (barro, vidro, cimento, gesso, silicatos etc.);
- Metálicas (alumínio, magnésio, cobre etc.).

Os compósitos, de acordo com Jones (1975)(Fig. 1), podem ser classificados em três classes de acordo com a geometria do reforço (fica subentendido que a forma das partículas, seu tamanho, sua distribuição e sua orientação afetam as propriedades do compósito): compósitos com fibras, constituídos de fibras sintéticas ou de origem vegetal dispersas (fibras curtas) ou alinhados dentro de uma matriz (fibras longas); compósitos laminados (estruturais ou tipo sanduíche), que são constituídos de camadas de diferentes materiais, e os compósitos particulados (cargas/ reforço), que são partículas de determinado material inserido dentro de uma matriz que podem ser grandes ou pequenas.

Figura 1 - Organograma dos tipos de matriz para compósito



Fonte: O autor, 2018 adaptado de JONES, 1975 e CALISTER, 2002.

Para Manzini (1993), a busca da leveza no setor dos compósitos está centrada nas fibras. Curtas ou compridas, orientadas ou não, em feixe ou tecidas, feitas dos mais diferentes materiais, as fibras são o impulsionador de quase tudo o que se fabrica neste campo. Um exemplo disso é o polipropileno que, quando prensado em forma de fibra, quadruplica a sua resistência, o mesmo se passando com uma grande variedade de fibras, desde as vulgares fibras têxteis até as fibras nano cristalinas mais sofisticadas (whiskers nanocelulose).

Os Compósitos de fibras descontinuas apresentam como reforço pequenas fibras. Estas fibras, consideradas largas quando o comprimento é comparado com seu diâmetro, podem ser dispostas aleatoriamente ou ao longo de uma direção.

Os Compósitos de fibras contínuas são reforçados por longas fibras contínuas e são mais eficientes do ponto de vista de rigidez e resistência mecânica. As fibras podem ser todas paralelas (unidirecional), dispostas perpendicularmente (bidirecional como em tecidos) ou orientadas em vários ângulos (multiaxiais como em mantas/feltros).

2.1.1 Propriedades dos compósitos

As propriedades de um compósito dependem das características da matriz e em como ela adere ao material de reforço, ou seja, a qualidade das interfaces dos seus componentes. A transmissão dos esforços efetua-se nesta interface. A matriz, que possui certo grau de plasticidade, é sujeita a uma deformação.

Os polímeros sintéticos ou artificiais são amplamente usados em compósitos. Os polímeros tem historicamente contribuído imensamente para o desenvolvimento tecnológico mundial, aumentando a qualidade de vida do homem moderno. No entanto, o uso continuado destes materiais tem trazido preocupações para a sociedade. A razão para isso, é que em sua grande maioria, esses plásticos apresentam baixa reciclabilidade e grande poder cumulativo na biosfera, quando descartados de forma inapropriada, e isso somado a sua baixa biodegradabilidade e origem não renovável (petróleo).

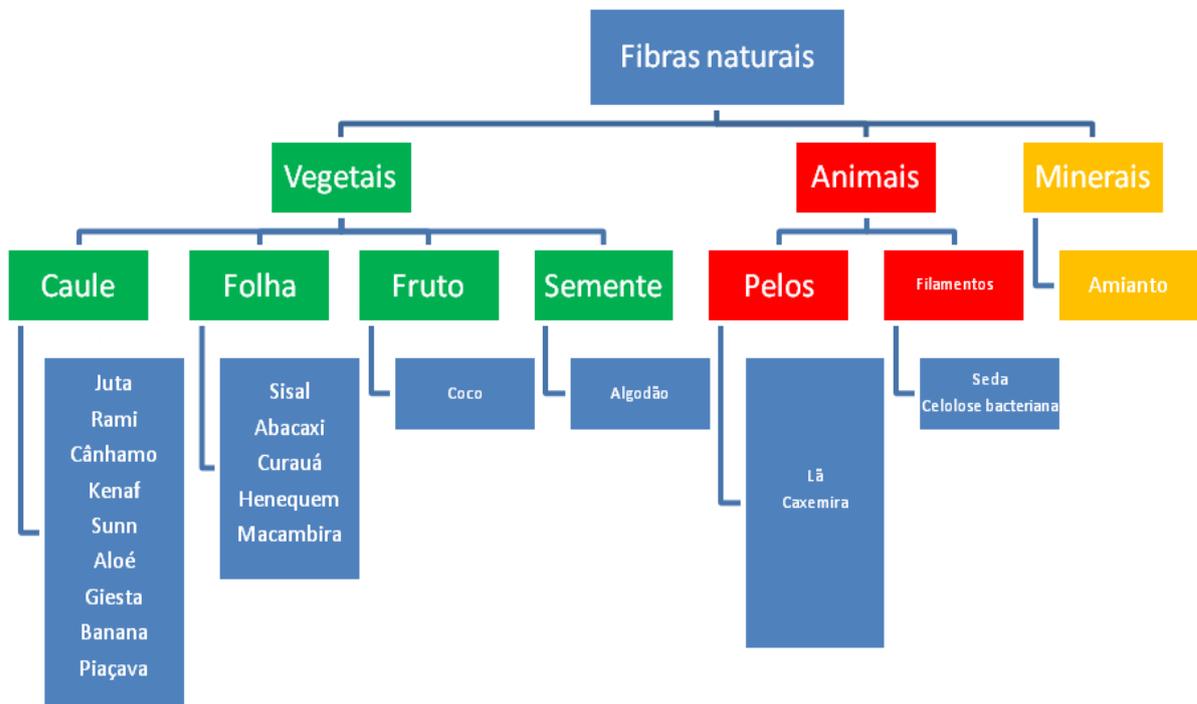
Apesar de existir uma ampla gama de estudos, tecnologias e produtos que usam compósitos formados a partir dos plásticos descartados e de fibras naturais, os mesmos ainda carecem de mais estudos, principalmente no quesito reciclagem do compósito. No entanto, a matriz polimérica, apesar de limitada para ciclos em novas reciclagens, traz benefícios ambientais quando usados em produtos compósitos do tipo duráveis, merecendo, por isso, a denominação de Eco-compósito.

A utilização de fibras convencionais vem sendo substituída pela utilização de fibras vegetais, visto que, estas apresentam muitas vantagens, dentre as quais podemos destacar: São biodegradáveis; mais leves; são produzidas por fontes renováveis; possuem melhor capacidade no isolamento térmico e acústico; sua produção pode ocorrer no local em que serão utilizadas, garantindo assim economia no transporte.

Para Tolêdo Filho et al. (1997), fibras naturais, como sisal, coco, juta, bambu e fibra de celulose, constituem excelente alternativa para uso como elemento de reforço de matrizes frágeis, devido a sua abundância, baixo custo e consumo de energia para sua produção.

As fibras naturais podem ser classificadas segundo sua origem em: vegetal, animal e mineral. Na figura 2 a seguir são apresentados de forma esquemática esses grupos com exemplos.

Figura 2 - Origem das Fibras Naturais



Fonte: O autor, 2018 adaptado de MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2005 e HERRERA-FRANCO e VALADEZ-GONZÁLES, 2005 e LADCHUMANANANDASIVAM, 2005.

2.1.2 Eco-compósitos

Do ponto de vista da sustentabilidade, os compósitos podem ser classificados em função do respeito às metas ambientais e à sua ecoeficiência. Os Eco-compósitos podem ser divididos em biocompósitos, nos quais os materiais usados para compor a matriz são de origem natural renovável, ou abundantes, sendo atóxicos e biodegradáveis (SCHU e GAYER, 1997). Quando fazem uso de resíduos agro industriais, florestais, escória mineral e de plástico descartado, aumentam mais ainda sua ecoeficiência e são chamados de compósitos verdes (SILVA, 2002).

2.2 Polímeros

Um polímero pode ser orgânico ou inorgânico, natural ou sintético. A borracha da seringueira, a lã de carneiro e a celulose são exemplos de polímeros orgânicos naturais. O poliestireno, PSAl e o ABS são exemplos de polímeros orgânicos sintéticos. Já o grafite é um polímero inorgânico natural.

Os polímeros podem ser classificados segundo o tipo de cadeia polimérica que formam respectivamente cadeia linear e/ou ramificada, chamados de termoplásticos. Os de cadeia moleculares com ligação cruzada são denominados termorrígidos.

As características de um plástico/polímero do tipo termoplástico e termorrígido, ainda se inserem em outra classificação baseada no comportamento do polímero ao calor (MANO, 1991). Nos termofixos, termorrígidos ou termoendurecidos cuja rigidez não se altera com a temperatura, e nos termoplásticos, amolecem e se fundem.

Já pelos comportamentos mecânicos, indicam-se se ele são:

- Elastômeros- quando na temperatura ambiente podem ser estirados inúmeras vezes sem comprometer sua elasticidade;
- Fibras- quando têm alta relação comprimento diâmetro;
- Espumas- quando os polímeros sob ação, mecânica, térmica ou química, podem ser expandidas formando estruturas alveolares.

No processamento de um polímero termoplástico, seu comportamento geral é influenciado diretamente pelo nível de cristalinidade. Os polímeros predominantemente cristalinos tendem a ser mais elásticos e opacos, apresentando boa resistência química e menor estabilidade dimensional. Os polímeros predominantemente amorfos, são menos elásticos, são transparentes, e apresentam maior estabilidade dimensional com baixo índice de contração em moldagens (GUEDES, 1997).

Os plásticos podem ser encontrados com a designação completa por extenso como poliestireno que na maioria das vezes não correspondem à nomenclatura química correta, mas que são aceitos e reconhecidos comercialmente. É mais comum usarmos siglas com letras maiúsculas para designar os plásticos, como por exemplo: polietileno de alta densidade PEAD, tomando cuidado com as siglas internacionais que se referem a esses polímeros, em geral no idioma inglês como HDPE (High Density Polyethylene) que equivale ao nosso

PEAD. Para a reciclagem, a identificação correta dos plásticos colabora para facilitar nas etapas de triagem, assim como para a coleta seletiva, a identificação por cores aceita internacionalmente colabora para o destino e tratamento correto para cada material que é depositado em seu receptáculo.

Conforme demonstrado, existe uma infinidade de tipos de plástico, mas nem todos são recicláveis. Apenas os polímeros termoplásticos podem ser novamente conformados para a produção de novos produtos, mas em geral poucas vezes antes de perder suas características técnicas e estéticas.

Em função das políticas de resíduos sólidos no país e no mundo, o tema tem estado em alta, e geram grandes discussões, a palavra reciclagem no Brasil recebe diversas conceituações por parte dos pesquisadores, da indústria e do governo, o que torna cada vez mais confuso o seu entendimento pela sociedade e a utilização correta desta palavra.

Um aspecto importante quando se desenvolvem compósitos é o entendimento dos efeitos de degradação que ocorrem principalmente nos compósitos de matriz polimérica.

Nos polímeros, a degradação se configura como uma ação deletéria que muda a estrutura química de um polímero, alterando suas propriedades físicas ou sua aparência.

2.2.1 Identificação dos polímeros na prática

Todos os plásticos devem receber o símbolo do material com qual foram fabricados a fim de facilitar sua destinação final. Porém não é raro acontecer casos em que os materiais não apresentam o símbolo, pois algumas indústrias não colocam em seus produtos a identificação da resina usada na sua fabricação. Também há o estado precário com que alguns materiais chegam às recicladoras. Só estas duas causas tornam impossível a determinação do tipo de resina com que o produto foi fabricado, independentemente da experiência do operador ou do profissional encarregado pela separação do material.

Os códigos de reciclagem são usados para identificar o material a partir do qual um item é feito, para facilitar a reciclagem ou outro reprocessamento. Ter uma codificação por cores, ou um logotipo com setas ou um código das iniciais da resina em um item, não é um indicador automático de que um material será reciclado, mas sim uma explicação da natureza do material sobre isso. A Comissão Europeia, por exemplo, usa tais símbolos como forma de

identificação de diferentes materiais com naturezas diferentes como: baterias, biomateriais / materiais orgânicos, vidro, metais, papel, plásticos, tecidos e compósitos (ANEXO A). Vários países adotaram códigos diferentes. Por exemplo, o sistema de identificação de polímero da China possui sete classificações diferentes de plástico, cinco símbolos diferentes para destinos pós-consumo e 140 códigos de identificação.

A falta de códigos em alguns países incentivou aqueles que podem fabricar seus próprios produtos, a adotar um código de reciclagem voluntário com base no sistema chinês que é mais abrangente. Os símbolos de reciclagem podem ser divididos em duas categorias distintas, os símbolos para materiais que podem ser reciclados e o que são feitos de material reciclado. Eles marcam produtos feitos de materiais específicos que são adequados para a reciclagem como: aço, vidro, alumínio, papel e plásticos. Lembrando que este material só será realmente reciclado se existirem mecanismos de coleta na comunidade local para eles. Caso contrário, as empresas ou cooperativas terão de fazer esse trabalho de coleta o que pode inviabilizar a reciclagem de muitos materiais pelo seu baixo interesse econômico.

O símbolo universal de reciclagem, com as três setas dobradas que formam um triângulo com a cabeça de uma flecha apontando para a cauda da próxima flecha foi criado em 1970 pelo estudante da Universidade da Califórnia do Sul, Gary Anderson, como parte de um concurso. As setas representam as três etapas do processo de reciclagem que formam um loop fechado.

A primeira etapa representa a coleta de materiais a serem reciclados. Esta etapa ocorre quando os materiais recicláveis são colocados pelo consumidor no lixo de forma separada para a reciclagem, ou recolhido por catadores que levam para um centro de coleta local chamados de empresas recicladoras ou cooperativas de reciclagem. Lá os materiais coletados são limpos e classificados e separados para venda às empresas e indústrias que usaram esses materiais como matéria-prima para fabricação e processamento;

A segunda etapa se refere à fabricação ou processamento desses materiais em novos produtos para venda e comercialização ou como insumos transformados em retalhos ou *pellets*, para venda às outras indústrias;

A terceira etapa é a compra e uso desses produtos feitos a partir dos materiais reciclados que depois do fim de sua vida útil, fecham o loop retornando a primeira etapa.

A Sociedade Americana da Indústria de Plásticos começou a usar números dentro dos símbolos de reciclagem em recipientes de plástico em 1988 como forma de ajudá-los a classificá-los. O código de Identificação de Resinas plásticas usa sete números para

identificar o tipo de material sintético usado para fabricar o produto, onde os números mais altos representando os plásticos menos utilizados em volume de produção sendo também chamados de *commodities*.

No Brasil, conforme a Norma Técnica da ABNT publicada em 14/6/2013, NBR 16182:2013. Existe simbologia de orientação de descarte seletivo e de identificação de materiais (fig. 3). Esta norma estabelece que o descarte dos resíduos secos (embalagens e outros recicláveis) deve ficar em separado dos resíduos úmidos (restos de alimentos). Este processo atende aos parâmetros da regulamentação da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e deve ser harmonizado em todo o Brasil.

A simbologia pode ser aplicada com ou sem o termo "Descarte Seletivo" e esse deve ser acompanhado da simbologia de identificação do material. Esta simbologia, que passa a configurar o Pacto Setorial entre a ABRE e o MMA, deve constar das embalagens de produtos de bens de consumo, exceto daqueles que por força de lei requeiram uma coleta específica. A norma prevê prazo de adequação para as embalagens que empregam a simbologia original.

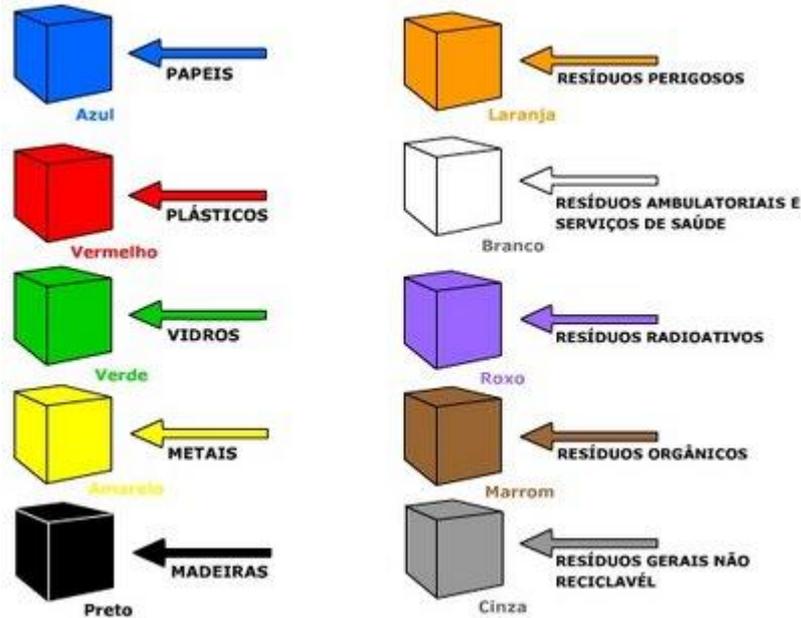
Figura 3 - Simbologias de identificação para coleta seletiva e reciclagem de materiais



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS, 2016.

Os receptáculos que recebem os materiais da coleta seletiva são identificados internacionalmente pelas cores apresentadas na figura 4.

Figura 4 - Cores para identificação dos contêineres destinados aos diferentes materiais na coleta seletiva e no descarte de materiais especiais



Fonte: SOBIOLOGIA, 2008-18.

A simbologia que identifica produtos feitos a partir de materiais reciclados tem um símbolo próprio apresentado por três setas largas torcidas acompanhadas da informação do índice percentual que representa o material reciclado usado para compor o produto. Quando esse percentual não aparece, significa que o material reciclado representa 100% do produto. Ele pode ainda ser representado pelo triângulo de setas finas (usados na identificação de material reciclável), mas que se encontra inscrito em um círculo, como apresentado na figura 5.

Figura 5 - Símbolos de material oriundos da reciclagem



Fonte: KLEIN, 2018.

O uso dos termos "reciclado" e "reciclável", entre outros e a exibição dos símbolos são regidos por padrão internacional para definição de reivindicações ambientais em produtos ou embalagens, e podem ser encontrados na norma ISO 14021: Etiquetas ambientais auto declaradas.

No entanto cada vez mais, o mercado tem disponibilizado novos materiais principalmente de natureza compósita, o que torna tudo mais complexo. Talvez uma alternativa para a identificação e rastreamento desses novos materiais em produtos, possa ser o uso de etiquetas identificadoras do tipo RFID que poderiam ser reaproveitadas de produtos que já a contêm como roupas e outros produtos, que de outra forma seriam descartados após a compra. Diferente da função de controle e antifurto, o uso dessas etiquetas poderia ser ampliadas, usadas para controle de origem e processos, assim como identificador de sua natureza e composição, como os RFID podem ser usados tanto para conter dados, como para inserir novos, é ideal para um acompanhamento do histórico do produto. Um site poderia conter os cadastros novos e suas atualizações para essas etiquetas poderem ser acessados livremente por pessoas e empresas como forma de acompanhar o produto. Essas etiquetas poderiam então fazer parte do produto e estarem encapsulados nas partes do mesmo como em móveis ou peças de artesanato.

Mas o que fazer quando não é possível identificar o plástico com o qual um material foi feito? Uma alternativa muito utilizada é fazer alguns testes qualitativos de natureza descritivas e discriminativas no auxílio à identificação desses polímeros. Esses testes são conhecidos como avaliação organoléptica ou sensorial.

2.2.1.1 Testes de avaliação sensorial

A técnica de avaliação sensorial é uma das técnicas mais antigas de investigação dedutivas e indutivas conhecidas. Segundo Costa, Pereira e Medeiros (2016), a avaliação sensorial ou organoléptica usa uma metodologia com base descritiva, discriminativa e por vezes também hedonista de avaliação de um produto ou material. Na avaliação organoléptica os órgãos dos sentidos são usados como instrumentos de investigação colhendo dados sobre o objeto a ser avaliado. Quando se recorre à descrição do produto, são reunidas informações sobre as propriedades sejam elas físicas, químicas e mecânicas desses produtos e seus

respectivos materiais a serem investigados, desta forma é possível depois por abordagem qualitativa caracterizar um material ou produto. Na etapa discriminativa, procura-se perceber as diferenças entre o comportamento do material frente a condições físicas, químicas e mecânicas ao qual ele é submetido, e desta forma separá-los por exclusão ou inclusão em determinado grupo ou perfil de qualidades associadas a uma determinada propriedade físico-química ou mecânica. A avaliação de propriedades hedonistas se refere a propriedades estéticas de um material ou produto quando nos referindo ao uso dos sentidos como forma de identificar aspectos de aceitabilidade e agrado aos sentidos como maciez, odor agradável, cor, gosto, etc; que são importantes no projeto de um produto principalmente do tipo alimentício, mas de pouco ou nenhum interesse para a engenharia de materiais.

Uma aplicação prática dessa técnica é no auxílio a identificação de plásticos sendo conhecida pela química como teste de propriedades físico-químicas.

Como exemplo, apresentamos os procedimentos usados para a identificação de polímeros.

Aspectos descritivos e discriminativos:

Os polímeros podem ser divididos em termoplásticos e termofixos, e uma qualidade dos termofixos é que não mudam de forma sob ação de calor ou chama, eles apenas queimam, liberam algum tipo de fumaça e odor com conseqüente perda de massa. Já os polímeros termoplásticos, quando sob a ação de calor e de uma chama, perdem sua forma até fundir e depois queimam gerando diferentes tipos cores de chama, odor e fumaça e ruídos durante a queima. Com essas informações é possível selecionar a classe e o tipo de diferentes polímeros. Quando os mesmos se apresentam muito parecidos, outras características físicas ou químicas são usadas para diferencia-los, como densidade e solubilidade.

No quadro a seguir, apresentam-se algumas propriedades de diferentes plásticos, cada polímero apresenta diferentes reações aos testes aplicados, e são essas reações manifestas que são percebidas pelos sentidos que auxiliam na identificação dos diferentes polímeros.

Quadro 1 - Propriedades sensoriais dos polímeros termoplásticos em diferentes testes (continua)

Resina	Cód.	Teste de Chama	Observação Visual	Odor	Ponto de Fusão	Densidade
PET	1	Chama amarela, fumaça mais centelha		Manteiga Rançosa	250-260	1,33 1.45

Quadro 1 - Propriedades sensoriais dos polímeros termoplásticos em diferentes testes (conclusão)

Polietileno de alta densidade	2	Chama Azul Vértice amarelo	Queima rápido Pinga como vela	Cheiro de Vela	130	0,94 0,97
PVC Rígido	3	Chama amarela, vértice verde	Chama auto Extinguível		127	1,34 1,39
PVC Flexível	3	Chama amarela, vértice verde	Chama auto Extinguível	Cheiro de Cloro	150	1,19 1,35
Polietileno de baixa densidade	4	Chama Azul Vértice amarelo	Queima rápido Pinga como vela	Cheiro de Vela	100	0,92 0,94
Polipropileno	5	Chama amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa	Pinga como vela	Cheiro Agressivo	165	0,90
Poliestireno	6	Chama amarela,alaranjada Fumaça densa com fuligem	Queima rápido Chama não extinguível		140	1,05 1,07

Fonte: O autor, 2018 adaptado de LIMA, 2006.

Outro uso para a avaliação sensorial é no controle de processos de produtos artesanais. Como a interação entre o material acontece de forma direta com uso de muitos sentidos de forma simultânea, as correções em tempo real são possíveis para garantir a qualidade do produto final. Isso pode ser facilmente percebido em processos artesanais na manufatura de produtos alimentícios como na ação de cozinhar. Costa e Pereira (2017) relatam o uso dessa técnica na confecção artesanal de protótipos feitos de Eco-compósitos onde a matriz e as cargas se encontravam misturadas formando um coloide semelhante a uma massa de pão, onde não só a proporção entre as partes era encontrada de forma organoléptica, assim como o ponto ideal para uma boa conformação seja manual, seja pelo uso de formas, era facilmente encontrado.

2.2.2 Degradação físico-químico de polímeros

Os polímeros apesar de muito versáteis, podem sofrer alterações em suas propriedades físico-químicas comprometendo seu desempenho técnico, nas suas diferentes aplicações. Podemos listar como principais processos de degradação de polímeros a:

- Degradação Térmica - Que ocorre durante o processamento ou uso em temperaturas elevadas que podem envolver oxidação.
- Degradação Mecânica - Que ocorre pela aplicação de força física, podendo envolver fratura do material e quebra de cadeias poliméricas.
- Degradação Ultrassônica - Na aplicação do som em certas frequências que podem induzir a vibração das cadeias poliméricas e a sua quebra.
- Degradação Química - Onde agentes químicos corrosivos ou certos gases (ex. Ozônio), podem atacar as funções estruturais básicas dos polímeros, causando quebra de cadeias e oxidação.
- Degradação por Radiação- quando o polímero é exposto à luz do sol ou radiação de alta energia, o polímero ou impurezas presentes nele, absorverá a radiação, induzindo reações que levam a perda de propriedades importantes da estrutura polimérica.

2.2.3 Biodegradação e compostagem

Degradação Biológica, ou biodegradação é o termo que define todos os materiais capazes de sofrerem decomposição gerando dióxido de carbono, água, metano, compostos inorgânicos ou biomassa, sendo a ação enzimática de microrganismos o mecanismo predominante de decomposição. Desta forma, a biodegradação pode ser definida como a degradação de um material orgânico causada por atividade biológica, principalmente pela ação enzimática de microrganismos. A biodegradação de um material ocorre quando o mesmo é usado como nutriente por um determinado conjunto de microrganismos (bactérias, fungo, algas), os quais devem possuir enzimas adequadas para romper algumas das ligações químicas da cadeia principal do polímero, sendo necessárias condições favoráveis de temperatura, umidade, PH e disponibilidade de oxigênio, para a atuação dos microrganismos.

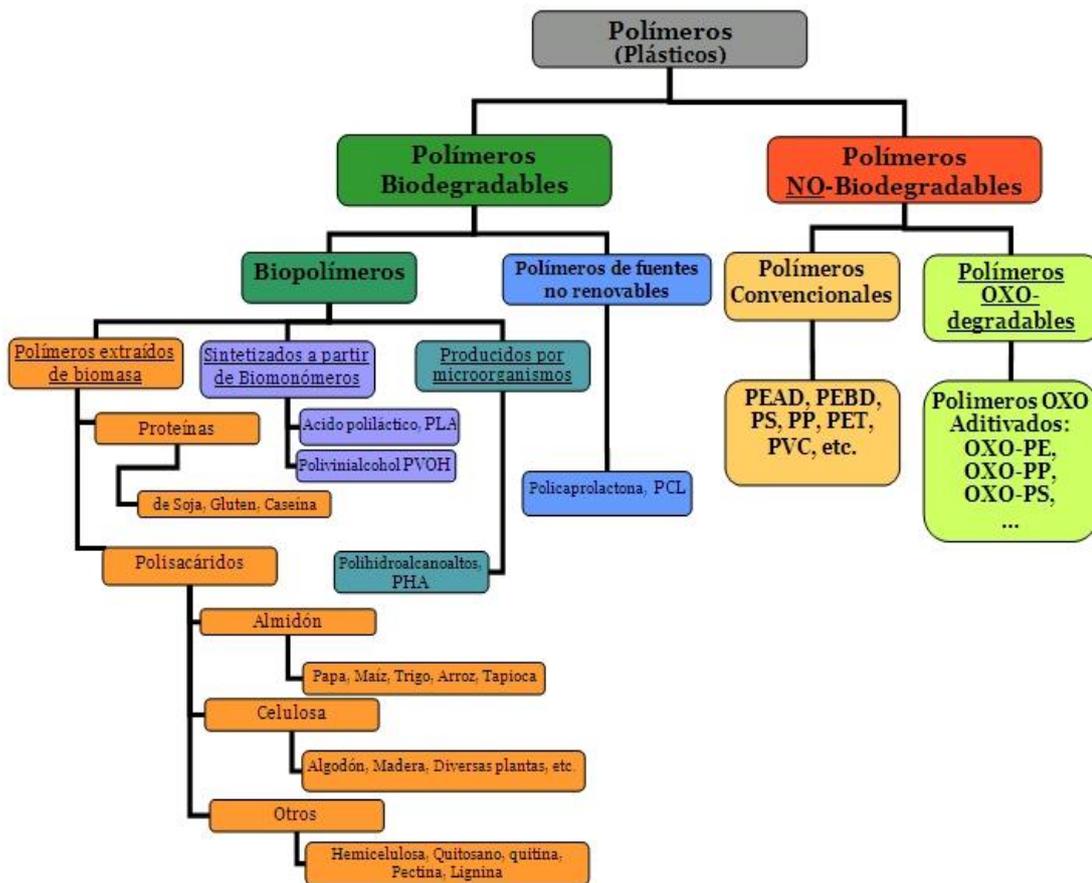
A biodegradação pode ocorrer tanto na presença como na ausência de oxigênio, biodegradação aeróbica e anaeróbica.

Compostagem é um tipo especial de biodegradação do tipo aeróbico, onde o processo controla a decomposição biológica transformando os materiais biodegradáveis em uma substância semelhante ao húmus chamado de composto: a decomposição do material

biodegradável resulta na produção de dióxido de carbono, água, minerais e matéria orgânica estabilizada (adubo ou húmus). Desta forma, polímeros compostáveis são aqueles que sofrem biodegradação durante a compostagem para ceder CO₂, água, compostos inorgânicos e biomassa à uma taxa consistente com outros materiais compostáveis conhecidos e não deixam resíduos visíveis, distinguíveis ou tóxicos. Os compostáveis são preferidos do ponto de vista ecológico, pois disponibilizam recursos para o biociclo com menos impactos que os obtidos pela biodegradação que podem gerar metano.

Na figura a seguir, a visão geral dos polímeros segundo sua natureza biodegradável ou não biodegradável, origem renovável ou não.

Figura 6 - Polímeros segundo sua natureza biodegradável e não biodegradável



Fonte: CAJAL, 2017.

2.2.4 Reciclagem, *Upcycling* e *Downcycling*

Segundo ENBRI 1994, a reciclagem é o reaproveitamento de resíduos sólidos gerados pelas indústrias, para uso como matérias-primas alternativas. Seu uso é antigo e faz parte da cultura de vários países. O que motiva a reciclagem e o reaproveitamento nesses países em geral é: *i*) o esgotamento das reservas confiáveis; *ii*) a conservação de fontes não renováveis; *iii*) a melhoria da saúde e segurança da população; *iv*) a preocupação com o meio ambiente; *v*) e a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta de preço de certas matérias-primas, como do petróleo, e minérios.

Bardini e Marchioro (2007) definem reciclagem como a reintrodução de resíduos em um processo produtivo, ou seja, o que até então era resíduo passa a ser matéria-prima. Segundo Mano, Pacheco e Bonelli (2009), a reciclagem é definida como todas as ações que tenham como objetivo permitir a reutilização de materiais e/ou produtos, de modo a estender seu ciclo de vida e diminuir os problemas com a forma de disposição dos resíduos ou de emissão de poluentes.

Se adotarmos a definição de reciclagem como sendo um processo em que existe a reintrodução de um material (resíduo) no seu ciclo produtivo, através de um processamento físico e/ou químico para transformação em matéria prima na fabricação de um mesmo produto ou outro com as mesmas características técnicas, só teremos reciclagem para produtos feitos de vidro, de metais e uns poucos polímeros que podem ser reciclados em processos avançados. Quando isto não é possível, teremos então, o reaproveitamento do resíduo, e não a reciclagem, para todas as outras formas de reutilização seja dos produtos e suas partes, assim como, de suas matérias primas, tendo os conceitos de *Downcycling* e *Upcycling*.

Upcycling é um conceito e não um processo, em que a transformação de um produto ou partes de um produto ou resíduo indesejável e sem valor se transforma em algo novo de maior valor pela intervenção do design e de novos processos de fabricação. Ou seja, o *Upcycling* não se limita a aceitar a simples possibilidade de reciclagem de um resíduo, e sim na conversão de produtos e partes de produtos em novos produtos com maior valor percebido, melhor qualidade e valor ambiental. Também é conhecido pelo nome de reutilização criativa. Esse termo foi usado pela primeira vez por Reine Piltz em 1994 durante uma entrevista, e

mais tarde por William Andrews McDonough e Michael Braungart em 2002 no livro “Cradle to Cradle”.

Um exemplo bem conhecido de *Upcycling* é a utilização de lona de caminhões usadas na fabricação de roupas, bolsas, chapéus, bonés e outros artigos com alto valor agregado. Também é *Upcycling*, quando os resíduos ou partes de produtos descartados são utilizados para o artesanato ou design de novos produtos. Como exemplos de processos envolvendo *Upcycling* de plásticos, temos o uso de garrafas de PET descartadas e reaproveitadas para a fabricação de fios de poliéster que viram tecido para o fabrico de camisetas. Apesar das perdas na qualidade técnica do polímero suas características ainda seriam de excelente qualidade para essa finalidade de uso. Naturalmente o impacto do descarte dessas camisetas no ambiente natural não tem sido considerado. Outro material que se relaciona a essa pesquisa são as chamadas CMP "Compósitos de madeira e plástico" ou WPC (Wood Plastic Composites) que são compósitos feitos do reaproveitamento de resíduos da indústria madeireira e do resíduo pré ou pós-consumo de plásticos.

Downcycling é o conceito de recuperação de um material para reuso em um produto com menor valor, ou seja, a integridade do material é de certa forma comprometida com o processo de recuperação na reciclagem afetando o produto final. Um exemplo de material que não pode ser reciclado e sim *downcycled* é o papel. O papel de boa qualidade para escrita não pode ser reciclado em papel do mesmo tipo, com as mesmas características. Ele é então *downcycled* em papéis para fotocópia, papel cartão e papel higiênico.

Segundo Manzini e Vezzoli (2002) a reciclagem em cascata, ou melhor, o reaproveitamento em cascata, é indicado nos casos em que a deterioração do material é inevitável e sua revalorização impossível. Nesse caso de reciclagem se assume que as características mecânicas e estéticas se degradarão a cada ciclo, terminando esses materiais na recuperação energética na forma de queima. Para esses produtos, a fase final em cascata deve ser pensada desde o início para que não sejam criadas combinações com outros materiais que resultem de queimas com produção de mais poluentes.

Atualmente vemos poucos exemplos na indústria da reciclagem em cascata, dentre os quais se pode citar na indústria automotiva o sistema FARE (Fiat Auto Recycling) onde componentes plásticos do carro como para-choques em PP depois de seu primeiro ciclo se transformam em canalizadores de ar e depois do segundo ciclo em carpetes com menor exigência técnica e estética que o uso original como para-choques.

2.2.4.1 Tipos e métodos de processamento para reciclagem de polímeros

A reciclagem de polímeros pode ser classificada em três tipos (SCHLISCHTING, 2003; OLIVEIRA, 2006; GRACH, 2006; CITADIN, 2007) (Fig. 7):

- **Reciclagem primária:** corresponde à reciclagem do material ainda na indústria geradora, sendo chamado de pré-consumo. Como não tem contato com o ambiente externo, apresentam-se isentos de contaminação por outros materiais ou sujeiras. Os resíduos destinados a essa recuperação são, em geral, produtos fora de especificação, aparas e rebarbas, e destinam-se à fabricação de produtos semelhantes aos fabricados com a matéria-prima virgem. A reciclagem desses materiais normalmente implica na mistura com a resina virgem, a fim de manter as características desejadas no produto final.
- **Reciclagem secundária:** corresponde à reciclagem de produtos pós-consumo, ou seja, após a utilização pelo consumidor final. Difere da reciclagem primária pelo local de geração do resíduo, o qual é proveniente, em sua maioria, de programas de coleta seletiva e do trabalho de catadores (individuais ou em regime de cooperativa). Os materiais plásticos têm que ser separados de outros materiais, e precisam ser separados entre os diferentes tipos de polímeros. A contaminação dos resíduos pode dificultar o processo de reciclagem e reduzir a qualidade do material reciclado.
- **Reciclagem terciária:** consiste na transformação de resíduos poliméricos em combustíveis e outros produtos químicos, através de processos termoquímicos. A pirólise é um exemplo desse processo que, ao contrário do processo de incineração, oferece a vantagem de gerar como produtos hidrocarbonetos leves e outros compostos de valor na indústria petroquímica. Além disso, a pirólise não necessita de aterros e gera menor quantidade de gases tóxicos do que a incineração, pois acontece na ausência de oxigênio. No entanto, são métodos que existem quase que exclusivamente em escala piloto ou semi-industrial, devido ao elevado custo. Para o caso da despolimerização do poliestireno são formados, como principais produtos desta degradação, o benzeno, tolueno, etilbenzeno, estireno e o α -metilestireno.

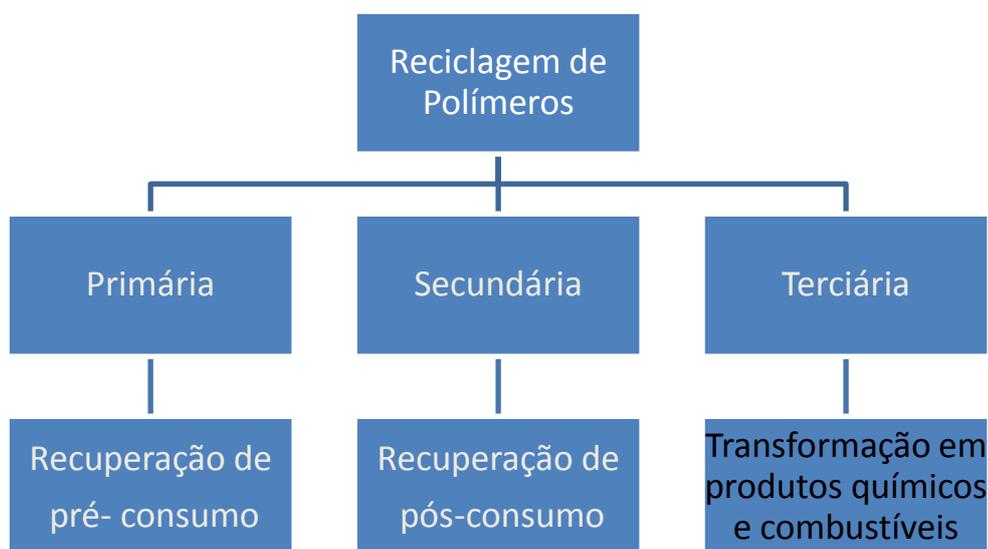
A recuperação de energia, ou revalorização energética, é, muitas vezes, definida como reciclagem quaternária. Porém, nesse método há a quebra de ligações moleculares, com o

intuito de recuperar a energia proveniente desse rompimento. Entretanto, cabe salientar que a recuperação de energia não é uma forma de reciclagem e, portanto, não pode ser definida como um tipo quaternário de reciclagem (SUBRAMANIAN, 2000; SCHLISCHTING, 2003).

A norma NBR 15.792:2010 reforça esta classificação, nela a revalorização energética não é considerada processo de reciclagem.

Considerando o elevado poder calorífico dos materiais poliméricos, sua utilização como fonte de energia é considerada uma alternativa possível de ser implementada, e é utilizada com frequência em países desenvolvidos. Já na simples incineração, as cadeias poliméricas são convertidas em produtos de combustão que, em presença do oxigênio levam à formação de compostos gasosos tóxicos, tornando-se um sério agravante desse processo (SCHLISCHTING, 2003; OLIVEIRA, 2006; GRACH, 2006).

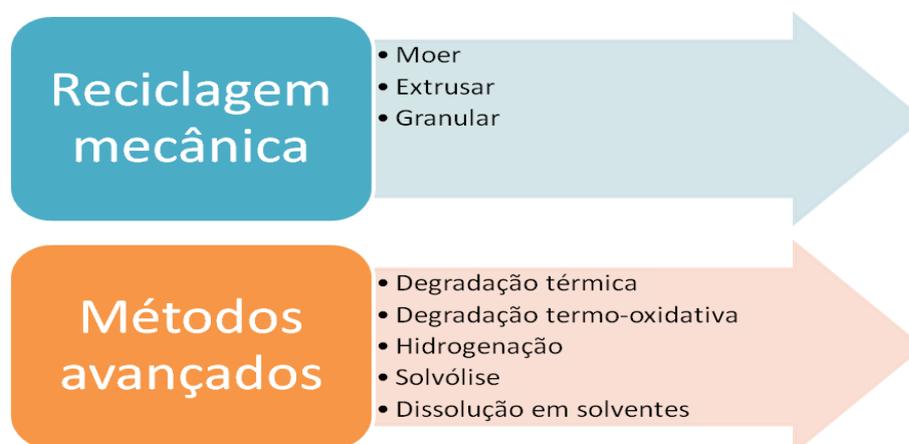
Figura 7 - Tipos de reciclagem



Fonte: O autor, 2018 adaptado de SCHLISCHTING, 2003; OLIVEIRA, 2006; GRACH, 2006.

Os métodos de processamento para a reciclagem de polímeros podem ser divididos basicamente em reciclagem mecânica e em métodos avançados (Fig.8). Entre os chamados métodos avançados destacam-se os baseados em degradação térmica, degradação termo-oxidativa, hidrogenação, solvólise e dissolução em solventes (SCHLISCHTING, 2003; KAMPOURIS et al., 1987).

Figura 8- Métodos de processamento para a reciclagem de polímeros



Fonte: O autor, 2018 adaptado de SCHLISCHTING, 2003 e KAMPOURIS et al., 1987.

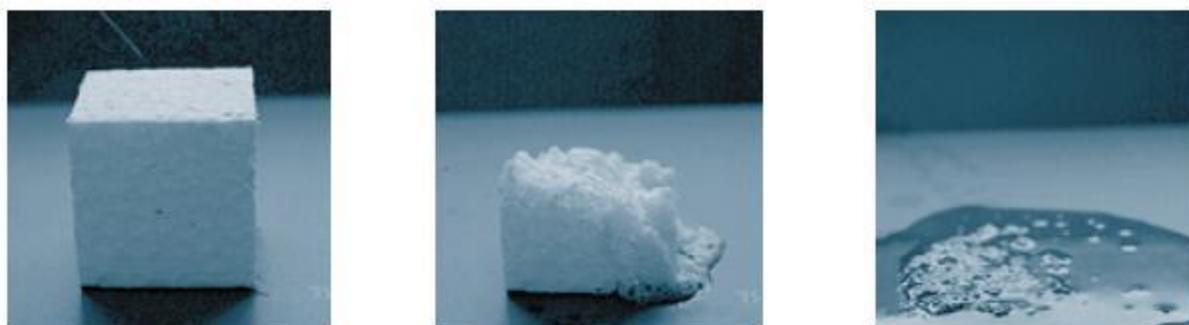
A reciclagem mecânica como pode ser visto no gráfico anterior, implica em processos que quebram em partes a cadeia polimérica de forma macroscópica (pelo uso de processos mecânicos envolvendo corte) ou Microscópica (pelo uso de conformação a quente que quebram partes da cadeia microscópica do polímero).

Essas quebras na continuidade da cadeia polimérica são responsáveis por uma degradação que afeta diretamente as propriedades mecânicas do polímero. Isso quer dizer que a reciclagem mecânica tira a cada ciclo parte da resistência desses materiais tornando o uso desses polímeros cada vez mais limitados e menos valiosos para usos industriais. Como exemplo, Stevens (2002) fala que o poliestireno depois de três ciclos passados por uma extrusora sofre uma redução de 9% em sua cadeia polimérica e 34% de redução em sua resistência ao impacto. Por isso, a reciclagem que é feita por métodos avançados como a dissolução apresenta vantagens por manter a integridade estrutural dos polímeros. Outra vantagem do método de reciclagem por dissolução é o fato de exigir menos mecanização com custos menores.

Talvez o exemplo mais conhecido de reciclagem por solubilização seja do PSE (poliestireno expandido). No Japão a empresa Sony mantém um projeto de reciclagem do poliestireno expandido chamado *Orange R-Net* que recicla espumas de poliestireno desde 1994 pela dissolução em limoneno. Nesse método de processamento, o volume de poliestireno que seria o maior problema no transporte, é resolvido pelo processo de dissolução

em limoneno no transporte. O veículo possui dois tanques de 270 litros de limoneno, que podem transportar cerca de 300 quilogramas de poliestireno na forma dissolvida (que corresponde a um volume de cerca de 25 m³ de PSE) (SONY, 2003). Na figura a seguir vemos uma amostra de PSE sendo dissolvida por D-limoneno em diferentes tempos (0,30 e 180 segundos) (SONY, 2003).

Figura 9- Poliestireno expandido (PSE) dissolvido por d-limoneno



Fonte: SONY, 2003.

Diversos fatores, como o transporte dos resíduos, perda de solvente e a energia necessária para a evaporação do solvente tem que ser levados em consideração para a operação otimizada do processo de reciclagem pela dissolução em solventes orgânicos (KAMPOURIS et al., 1987). Depois de dissolvido, o D limoneno pode ser recuperado por destilação, ou seja, a mistura é aquecida à baixa temperatura e no vácuo para que o limoneno evapore e em outra câmara, o limoneno é recuperado por condensação.

O poliestireno obtido por dissolução em terpenos e posterior destilação praticamente não sofre degradação da massa molar porque o solvente age como antioxidante durante o processo de aquecimento (NOGUCHI et al., 1998). No processo de destilação a vácuo, Garcia et al. (2009) verificou uma branda coloração no solvente devido aos pigmentos presentes no PSE.

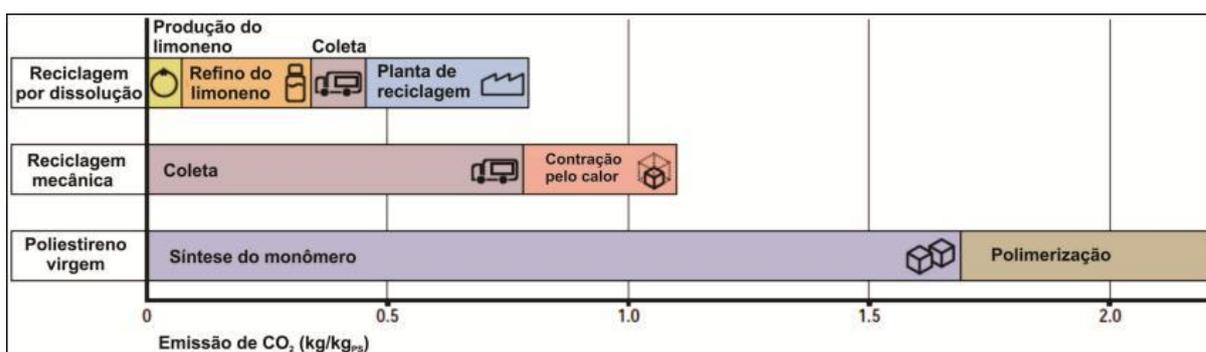
A destilação de soluções de PS dissolvido em terpeno recupera mais de 97% do poliestireno, $94,9 \pm 1,1\%$ do *d*-limoneno e $96,5 \pm 0,4\%$ do *p*-cimeno (HATTORI et al., 2010; HATTORI et al., 2008).

Segundo Noguchi et al. (2011), o poliestireno reciclado por dissolução em *d*-limoneno por cinco vezes contém ao menos $0,3 \times 10^{-2}$ mol/100 g (equivalente a 0,41 g/100g) de limoneno residual, porém mantém suas propriedades mecânicas originais porque há somente

12% de redução da massa molar do PS, enquanto o poliestireno obtido por reciclagem mecânica apresenta 35% de redução devido à degradação física e térmicas das cadeias do polímero. Hattori et al. (2010) relata na destilação de soluções de PS dissolvido em terpeno uma redução de 8% na massa molar do PS para a dissolução em *d*-limoneno, e redução de 2% na massa molar para a solubilização em *p*-cimeno.

A Sony (2003) elaborou também uma avaliação do ciclo de vida, que consiste em uma técnica de avaliação onde se soma o impacto ambiental de um produto em todas as etapas de sua existência. Na Figura 10 são apresentados dados publicados pela empresa comparando a emissão de CO² na reciclagem por dissolução, e na reciclagem mecânica utilizando compressão por aquecimento assim como na produção de poliestireno virgem.

Figura 10 - Comparação da emissão de CO²



Fonte: SONY, 2003.

O projeto de reciclagem por dissolução prova não só a viabilidade técnica e econômica, como demonstra que é possível reciclar polímeros sem perda das propriedades técnicas decorrente de um processo de fabricação sem deterioração da cadeia polimérica.

Segundo Pazzini (2015), a solubilização de polímeros é uma importante área de estudo no que se refere ao manuseio e observação das características de um polímero. Este processo é utilizado na produção e controle da qualidade de tintas e vernizes. Também possui aplicações importantes em fármacos, ciência das membranas, produção de tecidos humanos e na reciclagem de plásticos.

No contexto dessa pesquisa o conhecimento dos diferentes solventes capazes de solubilizar diferentes materiais poliméricos é importante, assim como a adequada seleção dos mesmos para cada caso e sua interação com o material de reforço, que acaba por influenciar a qualidade do compósito e seu processo de fabricação. Nas etapas finais de evaporação do solvente e estudos de como a evaporação acontece dentro do polímero são de vital

importância, pois afeta a qualidade final do material e seu tempo de secagem e formas de recuperação e reciclagem desses solventes.

No trabalho de Pazzine (2015), formulações de solventes e não solventes são testadas, objetivando a escolha para uso na dissolução do PS (poliestireno) e da PCL (policaprolactona), onde os anti-solventes são solventes com afinidade com o solvente, mas não com o polímero.

Quando uma solução de solvente e anti-solvente é usada na dissolução de um polímero há uma redução das forças de ligação do polímero com o solvente e simultâneo aumento das forças polímero-polímero, o que pode levar à sua precipitação. Dependendo da quantidade de anti-solvente usado, ele pode contribuir para mais solvatação, ou se em excesso de anti-solvente, levar a uma mudança do estado físico do polímero dissolvido, de líquido para coloidal gelificado.

Segundo Venceslau (2011), a velocidade de evaporação é, por regra, mais baixa para solventes com ponto de ebulição mais elevado. A velocidade pode ser expressa em gramas de solvente evaporado por metro quadrado de superfície exposta e por hora. Uma medida mais utilizada do que a velocidade de evaporação absoluta é a velocidade de vaporização relativa, que é o quociente entre as velocidades de evaporação de um determinado solvente e a velocidade de evaporação de um solvente considerado como referência (em geral o n-acetato de butilo ou o éter dietílico; ou éter comum).

Venceslau (2011), ainda relata que a evaporação da mistura ao longo do tempo e a relação que essa tem com a solvência pode evitar imperfeições no filme final, como esbranquiçamento da peça por *Blushing* (quando o solvente evapora muito rápido esfriando e absorvendo água), e outros problemas como o efeito casca de laranja, crateras etc.

Devem ser considerados outros fatores, como o grau de umidade atmosférica, a temperatura ambiente e o espaço envolvente onde decorre a secagem (espaço aberto, com boa renovação da atmosfera), natural ou forçada, ou espaço fechado, com deficiente renovação da atmosfera de trabalho ou em câmeras fechadas com uso de vácuo e condensação do solvente.

Como já apresentado em métodos de processos para reciclagem, a reciclagem de polímeros por dissolução é uma alternativa de reciclagem, que diferente dos processos chamados mecânicos, pode preservar a integridade das cadeias poliméricas que de outra forma seriam degradados reduzindo as propriedades técnicas desses polímeros. Outro fator a ser considerado, é que nos processos de reciclagem mecânica existe a necessidade de

máquinas para triturar os plásticos, aquecer, prensar ou injetar e extrudar, além das etapas anteriores de triagem, lavagem e secagem, que consomem energia e água.

Para a presente pesquisa, foram primeiramente selecionados uma série de solventes que atendessem minimamente as demandas na produção dos Eco-compósitos aqui desenvolvidos sempre observadas as respectivas fichas de segurança obtidas dos fabricantes e fornecedores.

Os solventes são compostos orgânicos voláteis COVs, e sua participação representativa na química da atmosfera (chuva ácida, ozônio troposférico, influência na capacidade oxidativa do ar) são motivos de pesquisa no mundo inteiro e motivos de debate e discussão no meio científico. Quando lançados na atmosfera, os COVs contribuem para a formação da camada de “Smog” (poluição) fotoquímico, que é uma mistura de hidrocarbonetos oxidados e outros compostos que se agravam com as radiações ultravioletas na superfície terrestre e formam uma espécie de névoa na atmosfera. Locais fechados ou abafados favorecem a concentração desses compostos por isso é sempre recomendável quando trabalhar com solventes fazê-lo em local aberto ou bem ventilado.

Os compostos orgânicos voláteis são constituídos por no mínimo um átomo de carbono, um de hidrogênio e possuem baixo ponto de ebulição. Podem ser encontrados em diversos tipos de produtos e apresentam sérios riscos à saúde humana, principalmente se a exposição for por um longo período de tempo e em concentrações elevadas, havendo por isso fichas de segurança que indicam não só as características físico-químicas desses produtos, mas os impactos à vida humana e às outras formas de vida no ambiente natural sejam na terra, na água e no ar. Essa ficha contém ainda as orientações necessárias quanto aos tempos e condições seguras de exposição e de uso ou contato com os produtos com indicação dos equipamentos de EPI necessários sejam eles produtos sólidos, líquidos solventes ou outras substâncias químicas.

Os COVs estão presentes, por exemplo, na composição de aditivos de pintura, destilados do petróleo, alguns pesticidas, vernizes, solventes de tintas, álcoois, cetonas, revestimentos como carpetes e papéis de parede, produtos industriais e de limpeza. A exposição ao formaldeído presente em desinfetantes antissépticos pode provocar vertigens, náuseas, redução da força física, irritação nos olhos, nariz e garganta, dentre outros sintomas.

Como foi visto, boa parte da emissão de smog é oriunda da queima de combustíveis fósseis (querosene, gasolina, diesel, etc.) e do uso de produtos para pinturas e solventes. Para se ter ideia, a tinta usada em móveis representa 80% do volume de tintas produzidas no Brasil,

segundo dados da Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas – Abrafati. Benzeno, tolueno e xilenos têm grande potencial tóxico e podem provocar câncer. O benzeno é utilizado na gasolina e representa pelo menos 1% do volume, estando presente também na fumaça do cigarro. Não existe uma lei específica para a proibição do uso de COVs no Brasil e sim somente uma autorregulação feita pela Abrafati.

Uma informação pouco difundida, é que esses compostos orgânicos voláteis não são emitidos exclusivamente pela nossa sociedade de consumo, a natureza também emite grandes quantidades de COVs no caso chamamos de COVs de origem biogênica.

Segundo Schirmer e Quadros (2010):

Compostos orgânicos voláteis biogênicos (COVB) emitidos a partir fontes naturais (tipicamente florestas e vegetação rasteira) desempenham um papel importante na química da atmosfera, particularmente na baixa atmosfera (troposfera). Tais compostos superam, muitas vezes, as emissões resultantes da atividade humana e compreendem tipicamente isoprenos e terpenos, além de outros compostos orgânicos em menor concentração (álcoois, ésteres, ácidos orgânicos, etc.).

2.2.4.2 Plantas mínimas para reciclagem

Apesar das políticas públicas direcionadas a questão dos resíduos sólidos, apenas os materiais de interesse comercial como nos exemplos do alumínio, papelão, vidro e uns poucos plásticos como o PET, tem despertado o interesse dos chamados catadores e recicladores. Os índices de recuperação desses materiais são proporcionais ao interesse da indústria e ao valor pago por esses recursos. Infelizmente, os materiais que tem pouco ou nenhum interesse comercial, acabam por serem despejados em aterros sanitários ou no meio ambiente sem nenhum cuidado ou tratamento adequado. Uma alternativa para a revalorização desses materiais pode acontecer pelo Upcycling, gerando alternativas tanto de novos produtos industriais como de produtos artesanais. A produção endêmica em pequeno porte nas chamadas plantas mínimas, apoiada por alternativas produtivas de baixo custo com uso de novas tecnologias, orientadas pelo Ecodesign tem crescido ao longo do tempo como forma sustentável de produção.

Como exemplos de plantas mínimas para reciclagem temos Dias (2014) com "Estudo do processo de recozimento na reciclagem de vidros para fabricação de produtos utilitários" e

para metais de baixo ponto de fusão temos Santana et al. (2015) com "Elaboração de um kit didático para aulas práticas de fundição".

Dos designers Alexander Groves & Azusa Murakami (2013) Da Studio Swine a "Can City" que é uma unidade móvel de reciclagem de latinhas de alumínio para os catadores de São Paulo onde os insumos são descartes da cidade. No processo idealizado por esses autores o óleo de cozinha de descarte, é o combustível para a fornalha de fundição, as latinhas de alumínio descartadas são a matéria- prima para a fabricação de produtos e a areia de construção insumo para a produção dos moldes de fundição.

Para o *Upcycling* de polímeros plásticos temos os exemplos dos designers Alexander Groves & Azusa Murakami (2012) da Studio Swine Sea Chair com a fabricação artesanal in loco de mesas de plástico reciclado fruto da coleta de plásticos recolhidos nas praias, ou dos mares por barcos pesqueiros. No trabalho de Dave Hakkens (2013) entitulado *Precious Plastic*, são propostas plantas artesanais de reciclagem de plásticos de descarte que incluem os projetos *opensource* de máquinas para triturar plásticos, injetoras, extrusoras e prensas quentes. E finalizando com Foteini Setaki, Panos Sakkas e Dano Radulovic (2015) "The New Raw" com o estudo de pequenas máquinas destinadas a produção de filamentos para impressoras 3D que reciclam os resíduos plásticos urbanos e domésticos.

Dentro do contexto dessa pesquisa, Zoch (2015) relata a importância do desenvolvimento de Eco-compósitos onde as matérias-primas sejam processadas o mínimo possível como forma de reduzir os custos de produção e assim baixar o custo total, tornando o produto mais acessível e ecológico tanto para a produção como para o consumo.

Vale lembrar que quando falamos em custo de um produto sob a ótica da sustentabilidade, não só os custos de produção devem ser observados, mas todos os custos presentes no ciclo de vida de um produto. Sob essa visão, muitos produtos fabricados hoje só são viáveis por não considerar, por exemplo, alguns desses custos, principalmente os custos associados ao impacto ambiental, seja na extração das matérias primas, na fabricação e no descarte ao fim da vida útil de um produto pelo usuário.

Assim percebemos que produtos sustentáveis arcam com todos os custos e os produtos não sustentáveis transferem esses custos e responsabilidades, tornando desleal uma comparação sob a ótica do preço final entre produtos sustentáveis e não sustentáveis.

Hoje, ao se fazer um plano de negócios para um novo produto ou sistema produto, não são considerados todos esses custos presentes no ciclo de vida, e se eles fossem levados em conta, somente os produtos sustentáveis seriam viáveis economicamente. No entanto, na

produção artesanal, o preço final não é formado predominantemente pelos custos, mas sim pelo valor percebido, caso contrário não conseguiria disputar com os produtos industrializados. Esta talvez seja uma alternativa aos produtos desenvolvidos visando à sustentabilidade.

O artesão que produz produtos sustentáveis deve então conhecer bem o ciclo de vida de seus produtos, a fim de evitar a superexploração de recursos naturais, deve conhecer as alternativas de reciclagem, reaproveitamento de materiais e remanufatura de produtos, além de ser capaz de informar melhor o consumidor final do seu papel para uma vida mais sustentável.

3. METODOLOGIA

O resumo teórico relatado na seção anterior fornece embasamento adequado para o desenvolvimento da metodologia usada nesse trabalho. Como base no que foi exposto, considerou-se adequado iniciar a fase experimental pela seleção dos materiais e insumos baseados em critérios ambientais. Os materiais de reforço usados foram o papel, a celulose bacteriana, as fibras de sisal, as fibras de piaçava, fibra de coco, feltros de curauá e sisal e farinha de madeira/ serragens e cavacos.

Os materiais usados nas matrizes foram o silicato de sódio, carnaúba, breu, colágeno, policaprolactona, caseína, acetato de celulose, poliestireno, poliestireno expandido, poliestireno de alto impacto e ABS.

Os processos usaram o mínimo de energia e água na produção com baixa ou nenhuma emissão de poluentes. Os resíduos quando produzidos foram reincorporados aos processos. Sendo que todas as matérias-primas adotadas cumpriram com os requisitos de serem: obtidas localmente, serem de preferência de origem renovável, e quando não renovável for abundantes ou de origem de descarte pré ou pós-consumo.

Os experimentos preliminares auxiliaram na criação dos métodos produtivos com base em avaliação organoléptica, que auxiliaram na obtenção de formulação dos Eco-compósitos com propriedades técnicas mínimas ao uso como produto artesanal em pequenas peças ou protótipos de mobiliário. A seleção dos materiais e meios de produção foram escolhidos com base em critérios ambientais apoiados pelo ecodesign.

3.1 Critérios de seleção dos materiais

Todos os materiais sejam da matriz sejam do reforço/carga seja insumo de processo, foram selecionados segundo:

- Sua origem e disponibilidade no ambiente como: abundantes, renováveis e não renováveis recicláveis;
- Facilidade de acesso: disponibilidade local, facilidade de compra (custo), restrições na compra, facilidade de síntese ou extração a partir de matéria prima in natura;

- Impacto na saúde humana e no ambiente natural: toxicidade, degradação, cuidados mínimos para proteção individual.

3.1.1 Seleção do material da matriz

Nos métodos apresentados nesse trabalho, um insumo que participa da maioria dos processos de fabricação são os veículos ou meios de dispersão ou solubilização dos materiais da matriz. A natureza físico-química dos materiais que compõe os Eco-compósitos determinou o método adotado para seu processamento. Para que dois materiais se combinem é necessário que pelo menos um deles esteja em estado líquido ou plástico. Tradicionalmente resinas termofixas são combinadas a suas cargas e reforço quando ainda em estado líquido como monômeros ou meros, recebendo um agente polimerizador que reticula a cadeia polimérica tornando o material sólido.

No caso das cerâmicas, podem acontecer reações químicas que são facilitadas pela presença de um veículo, normalmente água, que permite que estando em estado pastoso ou plástico, possa ser combinado ao reforço para posterior solidificação.

Nos polímeros termoplásticos, o caminho mais usado para compor um compósito é fundir o material em temperatura apropriada, e estando em estado plástico, forçar uma mistura sob pressão entre eles e as cargas ou reforço.

Como relatado no capítulo anterior no assunto reciclagem de polímeros, a prática dos ciclos térmicos e mecânicos do processo de reciclagem, gera degradação da cadeia polimérica e alteração das propriedades técnicas. Outro inconveniente desse processo é a necessidade de maquinário que no mínimo transforme o polímero usado em grão ou partículas (primeira degradação mecânica) para depois ser combinado ao reforço sob a forma fundida (degradação térmica) com uso de pressão. Quanto maior o volume de material plástico fundido a ser conformado, maiores serão as pressões necessárias e maior o custo do maquinário. A grande maioria das máquinas envolvidas nesses processos não está disponível para produções em pequena escala e quando elas existem são caras dificultando seu acesso por artesãos. De qualquer forma, mesmo com a disponibilidade dessas máquinas, problemas na combinação fibra/matriz levam ao desenvolvimento de novas tecnologias e estas são alvo de proteção por patentes ou sigilo tecnológico por parte das empresas.

Uma alternativa a esse problema é o uso da solubilização de polímeros, que é aqui desenvolvida para criação de alguns Eco-compósitos. Vale lembrar que não são todos os polímeros que podem ser facilmente solubilizados, principalmente frente aos critérios de seleção usados para essa pesquisa.

3.1.2 Materiais adotados como matriz

3.1.2.1 Cerâmicos

Foi utilizado nessa pesquisa o silicato de sódio que, apesar de ser uma cerâmica, pode ser dissolvido em água para reduzir sua viscosidade. Após a evaporação da água, apesar de se formar uma superfície sólida, o material só se estabiliza quimicamente após a reação com o gás carbônico, quando ocorre a reticulação e formação do dióxido de silício insolúvel e carbonato de sódio solúvel.

Também conhecido como *vidro líquido* e *água de vidro*, encontrável em solução aquosa e na forma sólida, é um composto de fórmula Na_2SiO_3 . O silicato de sódio é um sólido branco que é solúvel em água, produzindo uma solução alcalina. Existem muitos tipos deste composto, incluindo ortossilicato de sódio Na_4SiO_4 ; metassilicato de sódio, Na_2SiO_3 ; polissilicato de sódio $(\text{Na}_2\text{SiO}_3)_n$; pirossilicato de sódio, $\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$, e outros. Todos são vítreos, incolores e dissolvem-se em água. Silicato de sódio é estável em soluções neutras e alcalinas. Em soluções ácidas, o íon silicato reage com íons hidrogênio para formar ácido silícico, o qual quando aquecido e calcinado forma sílica gel, uma dura e vítrea substância.

Obtenção - É obtido pela reação em estado fundido do carbonato de sódio e do dióxido de silício, formando silicato de sódio e dióxido de carbono.

Usos - utilizado em cimentos, proteção passiva ao fogo, refratários, produção de têxteis e de papel, detergente, sabão e como aglutinante para moldes de areia para fundição de metais.

Facilidade de acesso - Pode ser facilmente comprado em lojas de produtos químicos com um valor de compra no balcão de R\$ 4,00/ litro para o silicato de sódio neutro.

3.1.2.2 Polímeros-termoplásticos naturais renováveis e biodegradáveis.

Os polímeros utilizados foram resina de breu com óleo de linhaça, e a gelatina técnica obtida de proteína animal e o acetato de celulose. A proteína animal (gelatina técnica) ou colágeno se dissolve em água a 60°C sendo vendida em pellets.

3.1.2.2.1 Breu

A resina de breu ou colofônio funde entre 80°C e 120°C e se solubiliza a frio em etanol, benzeno, éter etílico, clorofórmio, ácido acético, óleos fixos, óleos essenciais (limoneno), hidróxidos alcalinos. A dissolução é quase completa em: sulfeto de carbono e éter de petróleo deixando resíduo.

- **Usos**- Usado na fabricação de adesivos, tintas, vernizes, impermeabilizantes, cera de depilação e cosméticos.

- **Facilidade de acesso**- É vendida em escamas ou pedras em lojas de tintas, lojas de produtos químicos e feiras livres a um custo R\$ 6,00 kg, mas pode ser extraída in natura de diferentes árvores coníferas, tendo como alternativa nativa brasileira o Breu branco tirado das árvores da família das Burseráceas.

3.1.2.2.2 Cera de Carnaúba

A cera de carnaúba é uma cera retirada das folhas da palmeira Copernicia Prunifera, uma planta nativa do Brasil que cresce nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte. É utilizado principalmente na indústria alimentar e cosmética, em medicamentos e como ingrediente em ceras e esmaltes para automóveis.

- **Extração**- A cera de carnaúba é obtida de ambos os lados de uma folha da carnaubeira. Durante a secagem da folha, essa camada que recobre a superfície se esfarela em pó sendo facilmente recolhido, o resto é removido por escovagem, batida e raspagem das folhas

divididas longitudinalmente. Uma folha contém cerca de 5 gramas de cera de carnaúba. Uma palmeira madura tem cerca de 35 folhas, das quais 10 a 20 folhas são colhidas em uma a duas colheitas por ano. A cera é então derretida e as impurezas são removidas por decantação e peneirado. A cera pode ser branqueada e misturada com parafina. Outra forma de extração é ferver os brotos e folhas jovens na água e tirar a cera.

Propriedades- A cera de Carnaúba crua tem uma cor amarelada pálida, esverdeada a cinza escura, é intercalada com bolhas de ar, dura, frágil, facilmente friável e quase sem sabor. É a cera natural mais conhecida. Tem sobre a densidade da água; cerca de 0,98, seu alto ponto de fusão está entre 80 e 87 ° C se mantém estável mesmo em ambientes quentes e sob a luz solar. A cera purificada é amarela pálida podendo ser branqueada com terras de branqueamento e peróxido de hidrogênio (água oxigenada) ficando quase branca. A cera quando branca é uma mistura com cerasina. Existem três variedades, amarela ou amarelo médio, cinza cheio e cinza rajado. É insolúvel em água, solúvel em éter, benzeno, xileno, gasolina, clorofórmio, álcool quente e terebentina quente, sendo de difícil saponização.

A cera de carnaúba é indigesta e é excretada quando consumida (mesmo por animais). É considerada inofensiva para a saúde e é livre de fragrâncias, o que pode ser bom para os alérgicos.

Usos - A cera de carnaúba é frequentemente usada misturada com outras ceras. É usado principalmente na indústria de alimentos e cosméticos, bem como em medicamentos, entre outros como: agente anti aderente ou desmoldante para colas, resinas e goma de mascar, camada de proteção e preservação de frutas cítricas, agente de polimento para revestimentos, como agente espessante em pomadas, cremes e outros, como amaciante em medicamentos semi-sólidos, como plastificante na produção de gesso, agente de revestimento em produtos cosméticos. A cera de carnaúba também é usada em produtos para cuidados domésticos como: tratamento de superfície de móveis, pisos de madeira e pisos de alvenaria, cera para polimento de automóveis, graxa para polir sapatos e em vernizes.

Na indústria das tintas na forma micronizada como pó de lavagem ou na forma de dispersões em solventes orgânicos, ou suspensão, ou em emulsões com água como superfícies como aditivos utilizados para melhorar a resistência ao risco e reduzir a resistência ao atrito da superfície. O papel carbono é feito com cera de carnaúba. As primeiras gravações fonográficas foram feitas em blocos cilíndricos de papelão revestidos com cera de carnaúba. A maior parte da produção da cera de carnaúba é exportada para Japão, Alemanha e Estados

Unidos. Tendo na cera de candelila produzida no México, sua maior concorrente no mercado internacional.

Facilidade de acesso - Pode ser comprada pura em pedras por kg ou na forma já preparada de cera pastosa. Os valores variam de R\$ 25,00 - 50,00/kg.

3.1.2.2.3 Óleo de linhaça

O óleo de linhaça é extraído da linhaça que é a semente do linho (*Linus usitatissimum*). Sendo um importante antioxidante com propriedades medicinais. Devido ao alto teor de ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados, os óleos de linhaça endurecem, razão pela qual são adequados como aglutinantes de pigmentos para a produção de tintas (tintas a óleo). A cura é um processo de polimerização oxidativa que pode se prolongar por dias a décadas, dependendo do oxigênio, luz, temperatura, umidade e aditivos com propriedades catalíticas (secativos como o octoato de cobalto). Nesse processo, o oxigênio atmosférico se liga à ligação dupla dos ácidos graxos insaturados e, além disso, leva a um curso complexo de reações químicas, o que resulta na reticulação das moléculas individuais (polimerização). O produto final polimérico é chamado linoxina e é o produto inicial do linóleo. O volume do óleo de linhaça ligante aumenta por oxidação (absorção de oxigênio) e na polimerização subsequente. Este modo de reação é importante no uso adequado de tintas a óleo.

Usos- Usado no combate à halitose, na regulação do sistema digestivo e redução do colesterol, em cosméticos e sabonetes especiais. Na indústria de tintas a óleo, vernizes, impermeabilizantes, massa de vidraceiro (giz com óleo de linhaça) e na fabricação do linóleo.

Facilidade de acesso- O óleo de linhaça é obtido por vários processos, sendo o mais antigo a extração por prensagem a frio, Óleo de linhaça prensado a frio é amarelo dourado, óleo prensado a quente marrom amarelado. O óleo de linhaça refinado tem uma cor amarela clara a dourada. O óleo cheira a picante de feno, é descrito como herbáceo para maçante e ligeiramente torrado e pode ter uma nota de peixe. Fresco, o produto tem um leve sabor a nozes e feno, torna-se amargo e rançoso após o armazenamento. Pode ser encontrado em lojas de produtos naturais, lojas de tintas e produtos químicos. Valor varia de R\$ 10,00 até 15,00/L.

3.1.2.2.4 Gelatina técnica/Colágeno

O colágeno é o principal constituinte da derme, que conduz ao couro propriamente dito. A elastina é outra proteína que faz parte da derme e que se caracteriza por constituir algum tecido elástico aí existente.

A cola animal é um adesivo a base de água do qual o colágeno, um polímero natural, é o principal componente. Através da hidrólise do colágeno, ele é separado e processado até a transformação em cola, que depois de seca é moída, apresentando uma granulometria que varia de 10 a 20 mesh e também 30mesh. É talvez a cola mais antiga já descoberta pelo homem, e os egípcios já a usavam para colar seus móveis, isso há mais de quatro mil anos. Totalmente segura quanto ao seu manuseio, a cola animal é atóxica, reciclável, biodegradável e não poluente. Na realidade as indústrias que fabricam este tipo de cola contribuem de maneira efetiva para despoluição do meio ambiente vez que utilizam como matéria-prima restos e aparas de couro, produtos que, de outra forma, necessitariam de enormes áreas de despejo.

Usos - As aplicações da cola animal nos diversos ramos industriais são inúmeras como na: engomagem de tecidos e papéis; gráficas e encadernação de livros; na fabricação de fósforos; instrumentos musicais; listas telefônicas; abrasivos (lixas); móveis; etc. Os valores de Viscosidade (mps) e Resistência de Geleia (grs. bloom), que variam de 50mps/150grs bloom a 200mps/600grs bloom é que irão determinar os diversos usos industriais da cola animal. A temperatura apropriada (de preferência controlada) para uso da cola animal está entre 60° a 65°C; a cola não pode ser aquecida demais. Temperaturas altas (acima de 65°C) irão queimar a cola e destruir seu conteúdo proteico. A limpeza do material usado é fácil, bastando para tanto água quente. A viscosidade pode ser controlada pela adição de água quente. Geralmente aplica-se a cola animal a uma das superfícies a serem coladas que em seguida são juntas e comprimidas, a película adesiva esfria unindo as partes.

Facilidade de acesso - A cola de proteína animal pode ser obtida tanto na forma de gelatina técnica, como pode ser feita a partir da gelatina comum (mais pura), mesmo a de Agar Agar de origem vegetal poderia ser usada. Valor da gelatina técnica R\$ 28,00/kg

3.1.2.2.5 Acetato de celulose (AC)

O acetato de celulose é um dos mais antigos termoplásticos criados pelo homem com base em um polímero natural a celulose, sendo também um dos primeiros bioplásticos. O acetato de celulose é um éster obtido da reação da celulose com ácido acético glacial e anidrido acético na presença de ácido sulfúrico como catalisador. Ao longo do tempo em contato com a umidade sofre degradação por hidrólise gerando ácido acético.

Usos - O acetato de celulose é usado no fabrico de tecidos, filmes plásticos e filtros de cigarro, além de armações de óculos, chapas usadas em raios X e filmes fotográficos.

Obtenção - O acetato de celulose se dissolve em vários solventes o mais comum é a acetona e toluol. O custo é teoricamente R\$ 0,00, pois o material é obtido de resíduo pré-consumo (fábrica de armações para óculos) ou da reciclagem de antigas chapas de raios X, pós-consumo.

3.1.2.3 Polímeros termofixos de origem renovável e biodegradável (Caseína)

Existem muitos polímeros termofixos de origem renovável e biodegradáveis tanto de origem vegetal como animal, na pesquisa usamos a caseína de origem animal por formar uma suspensão (coloide) com soluções alcalinas e água.

A caseína é uma proteína, e pode ser retirada do leite. A caseína é insolúvel em água, mas pode ser dissolvida em meio alcalino como bórax diluído. Se a caseína reagir com o formol, reticula e se torna um polímero termofixo e insolúvel na maioria dos solventes.

A **caseína** (do latim "caseus", queijo) é uma proteína do tipo fosfoproteína encontrada no leite fresco. Estas proteínas encontram-se com frequência no leite de mamíferos, sendo cerca de 80% da proteína encontrada no leite de vaca e entre 20% e 45% das proteínas no leite humano. Quando coagulada com renina é chamada "paracaseína" (caseína de coalho) e, quando coagulada através da redução de pH (utilizando ácidos) é chamada "caseína ácida".

O percentual de caseína presente no leite de vaca é de cerca de 2,6 %, ou seja, 26g/litro de leite.

Usos - A caseína no passado foi responsável por toda uma indústria que produzia desde colas, tintas e vernizes até compósitos com cerâmicas, fibras celulósicas e lignocelulósicas além de formar blendas com outros polímeros naturais como amido, gelatinas e queratina. Era possível usá-la como impermeabilizante de tecidos e na fabricação de materiais emborrachados, assim como polímeros termofixos como o galalite e tecidos como o Lanital (SCHERER, 1906, tradução nossa).

Facilidade de acesso - A caseína pode ser facilmente extraída do leite, mas pode ser encontrada em sua forma purificada como suplemento alimentar proteico na forma hidrolisada ou como caseinatos. O valor médio de R\$ 85,00 kg para o caseinato de cálcio.

3.1.2.4 Polímeros termofixos de origem não renovável e biodegradável (PVAc).

O polímero sintético usado nessa pesquisa foi o PVAc - poli(acetato de vinila) na forma de cola branca Cascorez extra da marca Cascola. O PVAc que é um termoplástico atóxico e biodegradável que se funde entre 70 e 210 graus Celsius dependendo do seu grau de polimerização. O poli (acetato de polivinila) é um plástico amorfo, inodoro e insípido, com alta resistência à luz e ao clima. É um polímero de baixa inflamabilidade. As propriedades elétricas, mecânicas e térmicas são também amplamente dependentes do grau de polimerização O PVAc é insolúvel em água e solúvel em acetato de etila e etanol.

Usos- O poli (acetato de vinila) é processado na forma de soluções em solventes orgânicos como o etanol, ou como uma dispersão com água (forma coloidal). É usado como aglutinante em tintas e vernizes. O polímero está presente nas chamadas cola branca/cola de madeira ou como adesivo. Outros campos de aplicação são fabricação de papel e revestimento, impregnação têxtil, revestimento de carpete ou modificação de gesso e concreto. Além disso, muitas vezes é parte da goma de mascar e é usado para revestir queijo ou salsicha. O Pvac pode ser reticulado o que o torna um termofixo, o agente mais comum de reticulação é o bórax em solução. O Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), também conhecido como borato de sódio ou tetraborato de sódio é um composto importante do boro. Sofre hidrólise em meio aquoso, liberando íons borato. É utilizado na produção tecidos e madeiras à prova de fogo, vidro e bactericidas caseiros. (EVANGELISTA et al., 2010).

Facilidade de acesso- Pode ser produzido pela reação do gás etileno de origem não renovável (petróleo) ou a partir do metano renovável (digestão anaeróbica de biomassa), que reage com ácido acético na presença de sais de mercúrio como catalisador. O PVAc na forma de cola é facilmente encontrado em papelarias, lojas de tintas e lojas de ferragem por um valor médio de R\$17,00/Kg.

3.1.2.5 Polímeros termoplásticos sintéticos não renováveis e biodegradáveis (PCL)

O polímero termoplástico sintético não renovável que utilizamos na pesquisa foi a Poliprolactona (PCL) - Segundo Pazzini (2015), a policaprolactona, ou simplesmente PCL, é um polímero biodegradável formado a partir da polimerização da ϵ -caprolactona. A história deste polímero data do início da década de 30, onde os primeiros poliésteres sintéticos foram produzidos, sendo a PCL um dos primeiros. Foi sintetizado pelo químico americano Wallace Hume Carothers e sua equipe por meio da abertura do anel da ϵ -caprolactona, utilizando um catalisador na reação de polimerização. Wallace é também o responsável por uma das maiores descobertas de todos os tempos da indústria de polímeros: o nylon. É um polímero semicristalino e hidrofóbico, de baixo ponto de fusão ($T_m = 59-64^{\circ}\text{C}$), com alta compatibilidade de mistura, sendo um dos polímeros mais utilizados na indústria biomédica atual. Sua cristalinidade tende a diminuir com o aumento de seu peso molecular. Possui baixa temperatura de transição vítrea ($T_g = - 60^{\circ}\text{C}$), o que confere a policaprolactona uma boa mobilidade molecular.

Usos - Devido à suas propriedades mecânicas, alta biodegradabilidade, facilidade de moldagem e de fabricação, o que possibilita a formação de poros de tamanhos específicos para crescimento de tecidos humanos, a PCL é amplamente empregada na biomedicina. Nesta área, ela é utilizada em duas principais aplicações: na administração de fármacos e na engenharia de tecidos. Também é usado para a confecção de protótipos e moldes em geral, é conhecido pelos nomes comerciais de *Shapelock* ou *Polymorph*. Pequenas peças podem ser usadas na confecção de conexões tubulares e pegas ergonômicas para cabos de ferramentas e botões.

Facilidade de acesso - Pode ser comprada pelo e-commerce por um valor médio de R\$ 100,00 /kg.

Nessa tese a policaprolactona foi usada por ser um polímero de baixo ponto de fusão (65°C), sendo a água usada como meio para transferência de calor para melhor homogeneidade na fusão. Como a temperatura de conformação é baixa, foi possível moldar o plástico com as mãos sem uso de luvas uma vez que ele não é aderente. Os *pellets* brancos quando atingem a temperatura ideal se tornam transparentes e auxiliam no controle de processos por meios organolépticos. A policaprolactona também é solúvel em acetona e toluol, o que permite processos de fabricação por essa via, sendo possível usar como blenda em outros polímeros solúveis compatíveis, melhorando aspectos físicos e mecânicos desses polímeros.

3.1.2.6 Polímeros termoplásticos sintéticos não renováveis (PS, PSE, PSE, PSX, PSAI e ABS).

Foram usados o PS (poliestireno), PSE (poliestireno expandido), PSX (Poliestireno expandido injetado), PSAI (poliestireno de alto impacto) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Esses polímeros se fundem a 140 graus Celsius e se solubilizam em: limoneno, acetato de etila, acetona, gasolina, toluol, clorofórmio etc.

Segundo Pazzini (2015), o PS é um polímero termoplástico duro, amorfo, transparente e bastante leve, possuindo boas propriedades de isolamento. Além disso, é altamente inflamável e sua temperatura de transição vítrea é de 100°C. Além da forma amorfa, também chamada de PS cristal, o PS pode ser produzido com um maior peso molecular, o PS resistente ao calor. Além disso, pode se incorporar ao polímero uma porcentagem de borracha (polibutadieno) no processo de polimerização através de enxertos durante a reação, o PS de alto impacto (PSAI), conferindo uma maior dureza ao polímero. Existe ainda o poliestireno expandido, conhecido comercialmente como Isopor PSE e PSX, que possui maior leveza, dureza e resistência à umidade.

Possui baixa resistência mecânica e a solventes orgânicos, sendo altamente solúvel em solventes como: acetato de etila, diclorometano, benzeno e tolueno. Por outro lado, é insolúvel em álcoois de baixo peso molecular, como o etanol e o metanol, e hexanos.

Usos - O PS possui uma grande aplicação na indústria em geral, sendo amplamente empregado no setor de embalagens para conservação de alimentos e em embalagens

descartáveis, além de ser utilizado na confecção de capas para CDs e DVDs, devido à sua alta maleabilidade e rigidez. Resinas deste polímero são utilizadas em praticamente todos os aparelhos domésticos, desde liquidificadores até ar-condicionados, devido à sua transparência, segurança e baixo custo.

Facilidade de acesso - O PS e principalmente o PSE e PSX são um dos polímeros de menor interesse comercial entre os plásticos descartados de pós-consumo, sendo encontrado com facilidade no meio urbano e descartado de forma inapropriada seja no lixo doméstico, seja no lixo da construção civil. Quando despejado nos aterros sanitários ou no meio ambiente, causam sérios problemas ambientais.

3.1.3 Solventes

Foi feita uma pré-seleção dos solventes em função de serem capazes de solubilizar pelo menos um dos materiais usados como matriz (quadro 2). Os demais dados sobre os solventes assim como do material da matriz, foram obtidos das fichas de segurança disponíveis pelos fabricantes e comerciantes de produtos químicos. O item "Facilidade de Acesso" foi desdobrado em "Custo" ou "Facilidade de fabricação". Na facilidade de fabricação é considerada a possibilidade de produção de forma artesanal ou laboratorial em escolas ou universidades e em "Restrições na venda" são verificados limites estipulados por força de leis e regulamentos sobre a quantidade que pode ser comprada de alguns produtos que têm a venda controlada, onde são limitadas as quantidades. Em geral 2 Litros por CPF mês para produtos químicos, e no caso de combustíveis a limitação se relaciona ao contenedor apropriado ao transporte.

3.1.3.1 Etanol

O etanol (CH₃CH₂OH ou C₂H₆O), também chamado álcool etílico ou vulgarmente conhecido como álcool, é uma substância orgânica

Origem - Fontes renováveis. Pode ser extraído da cana de açúcar, mandioca, milho, beterraba, trigo, sorgo etc.

Obtenção - Obtenção por processos de fermentação obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução de acetaldeído.

Facilidade de acesso - O etanol ou álcool etílico na sua forma anidra (sem água) pode ser encontrado em postos de gasolina, e nas lojas de produtos químicos com o nome de álcool etílico absoluto. Na forma não anidra com diferentes concentrações de água, podem ser encontrados em: supermercados, farmácias e lojas de essências para perfumes, não havendo restrições na sua compra sejam por limite de quantidade seja por necessidade de autorização especial. Valor médio de R\$ 2,65

3.1.3.2 Limoneno

O limoneno (IUPAC: 1-metil-4-(prop-1-en-2-il) ciclohex-1-eno) é uma substância química, orgânica, natural, pertencente à família dos terpenos, classe dos monoterpenos, de fórmula molecular $C_{10}H_{16}$, encontrada em frutas cítricas e pode ser facilmente extraído em processos artesanais segundo Costa et al. (2012), volátil e, por isso, responsável pelo cheiro que essas frutas apresentam.

Usos - Industrialmente é utilizado para produzir para-cimeno por desidrogenação catalítica. Nos últimos anos a sua demanda tem aumentado muito devido ao seu uso em solventes biodegradáveis.

O Brasil é um dos maiores produtores de laranja. A produção de sucos da laranja e limão tem como um de seus subprodutos o limoneno.

Facilidade de acesso - O produto é difícil de ser encontrado em lojas, quando se encontra, é vendido em lojas de essências e pelo e-commerce a um valor de R\$ 65,00/l. No entanto pode ser extraído das cascas de frutas cítricas (TAVARES, 2007).

3.1.3.3 Acetato de etila

Acetato de etila ou Acetato de etilo (Fórmula: $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$) é um éster simples, que possui alta aplicação industrial. É um ótimo solvente, relativamente volátil.

Usos - É utilizado como solvente e como um componente de formulações de essências artificiais de maçã, pera, framboesa, pêssego e groselha entre muitas outras.

No passado, já foi usado em medicina como um antiespasmódico (contra convulsões), e hoje é usado como um solvente. Atualmente utiliza-se em substituição à acetona para remoção de esmaltes em suas unhas. Acredita-se que seja menos prejudicial e nocivo às unhas e à pele.

Facilidade de acesso - Pode ser comprada em lojas de produtos químicos, mas sua venda é limitada em 2 litros por CPF por mês. É facilmente produzido industrialmente ou em laboratórios acadêmicos, a partir da reação de ácido acético (ácido carboxílico) com etanol, em presença de ácido sulfúrico. Valor de venda R\$13,10/l

3.1.3.4 Acetona

A propanona, mais conhecido como acetona, é um composto orgânico de fórmula química $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$. É um líquido incolor e de odor característico. Evapora facilmente, é inflamável e solúvel em água.

Origem - Fontes não renováveis e possivelmente em fontes renováveis.

Obtenção - Acetona é obtida a partir do "processo do cumeno" que emprega benzeno e propeno como insumos. Nesse caso, a acetona é gerada juntamente com o fenol, o que nem sempre é positivo do ponto de vista da comercialização. E as matérias-primas empregadas também são de origem fóssil.

Usos- É utilizado em vários tipos de indústrias como de papel, plástico, farmacêutica, de limpeza, tinta e produtos similares, químicos de chiclete e madeira. Apesar de existirem outros processos de obtenção da acetona, aproximadamente 80% da acetona é produzida

como um co-produto do fenol. Já a "acetona verde" é produzida a partir de fontes renováveis de matéria prima como o etanol de cana de açúcar.

Facilidade de acesso - Pode ser comprada em lojas de produtos químicos, mas sua venda é limitada a 2 litros por CPF por mês. Valor de venda R\$19,00/l

Acetona verde - A pesquisadora Lucia Gorenstin Appel vem desenvolvendo juntamente com Clarissa Perdomo Rodrigues, Priscila C. Zonetti, Alexandre B. Gaspar e todos os pesquisadores do Laboratório de Catálise do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) a "acetona verde" produzida a partir do etanol, é uma nova tecnologia que engloba duas vantagens: permitir que o Brasil se torne autossuficiente na obtenção de acetona e ser produzida a partir de fontes renováveis de matéria prima como o etanol de cana de açúcar.

3.1.3.5 Redutor de tintas

Na pesquisa foi adotado o Redutor de tintas da marca THINNER 2002.

Origem- Os redutores de tintas são misturas de solventes, no caso do THINNER 2002, a mistura de Hidrocarbonetos Aromáticos, Éteres de Glicol, Álcoois e Cetal.

Composição- Toluol 60% etanol 35%

Usos- Usado como diluente de tintas e vernizes

Facilidade de acesso - Pode ser comprada em lojas de tintas e loja de ferragens. Valor médio de venda R\$ 14,40/l

3.1.3.6 Toluol

Toluol ou tolueno é um líquido incolor com um odor característico. Pode ser extraído da árvore tolú. Também é produzido durante a manufatura da gasolina e de outros combustíveis a partir do petróleo cru e na manufatura do coque a partir do carvão.

Origem - Não renovável do petróleo ou renovável quando extraído da árvore do Tolú

Usos - Tolueno ou metil benzeno é a matéria-prima a partir da qual se obtêm derivados do benzeno, como caprolactana, sacarina, medicamentos, corantes, perfumes, TNT e detergentes.

É adicionado aos combustíveis (como antidetonante) e como solvente para pinturas, revestimentos, borrachas, resinas, diluente em lacas nitrocelulósicas e em adesivos. Sendo matéria prima para fabricação do fenol, benzeno, cresol e uma série de outras substâncias.

Facilidade de acesso- Pode ser comprada em lojas de produtos químicos, mas sua venda é limitada a 2 litros por CPF por mês. Valor de venda R\$ 9,00/l

3.1.3.7 Gasolina comum

A gasolina comum é formada por hidrocarbonetos saturados, olefínicos e aromáticos sendo que no caso brasileiro ele vem misturado ao etanol anidro (renovável) na proporção de 13-27 % de etanol para 73-86% de gasolina (hidrocarbonetos aromáticos, alifáticos) e 1% de benzeno.

Desde 16 de março de 2015, o percentual obrigatório de etanol anidro combustível na gasolina comum é de 27%, conforme Portaria Nº 75, de 5 de março de 2015, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Resolução Nº 1, de 4 de março de 2015, do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA). Antes dessa data o percentual era de 25%, e atualmente somente a gasolina Premium mantém os 25% de etanol anidro na mistura.

Origem - Fonte não renovável, obtido por craqueamento do petróleo ou da reciclagem química de polímeros por pirólise.

Usos - Usado predominantemente como combustível para veículos com motores de combustão do tipo ciclo OTTO.

Facilidade de acesso - Pode ser facilmente encontrado de norte ao sul do Brasil assim como em várias partes do mundo em postos de gasolina. Valor de médio R\$4,22/l

3.1.3.8 Seleção dos solventes

Existem vários tipos de solventes capazes de solubilizar os diferentes polímeros, nessa pesquisa procuramos por solventes com maior grau de volatilização que teriam um menor gasto

de energia necessário à sua evaporação, assim como menor densidade e tensão superficial, de forma a contribuir para uma menor contração dos polímeros moldados e facilitar sua permeabilidade, capilaridade e difusão através das fibras e cargas de naturezas hidrofílicas utilizadas. Além dos critérios técnicos com capacidade de dissolução e velocidade de evaporação, foram considerados os critérios de sustentabilidade na seleção dos solventes. Foram criadas tabelas que auxiliaram na visualização dessas questões.

3.1.3.8.1 Solventes e sua capacidade de solubilizar diferentes polímeros

Tão importante como a capacidade de solubilizar um polímero, é sua capacidade de solubilizar diferentes polímeros e o tempo que leva para solubilizar. O tempo de solubilização de um polímero é dependente de temperatura e da superfície de contato com o solvente, logo essas variáveis afetam diretamente os processos de fabricação por solubilização de polímeros. Se não houver solvente suficiente para a quantidade de polímero a ser dissolvido teremos dissolução parcial que afetará o processo de fabricação e reciclagem.

Quadro 2- Solubilidade de polímeros

	Água	Etanol	Limoneno	Acetato de etila	Acetona	Redutor THINNER	Gasolina	Toluol
Silicato	Sim							
Breu		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Colágeno	Sim							
PCL					Sim			Sim
AC					Sim			Sim
PS			Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
ABS			Sim	Sim	Sim		Sim	Sim

Fonte: O autor, 2018.

3.1.3.8.2 Grau de sustentabilidade

Uma das formas de avaliar a sustentabilidade de um produto mesmo químico é pelos impactos ao meio ambiente e riscos a saúde, além da energia necessária a sua produção e consumo de água.

Com base no quadro acima notamos que:

A água é o solvente mais abundante e barato, mas só solubiliza o silicato de sódio que é uma cerâmica e ajuda na dissolução do colágeno que precisa ser hidratado antes de ser fundido. Mas é usado como meio de transferência de calor para a fusão da policaprolactona e meio de dispersão para a despolpa do papel.

O etanol, o limoneno e o acetato de etila são de origem natural e renovável sendo de baixa toxicidade e fácil fabricação. O mais barato e acessível é o etanol, que pode ser encontrado em farmácias, supermercados, lojas de essências, loja de produtos químicos e postos de gasolina.

A acetona apesar de ser uma substância natural produzida pelos organismos vivos, industrialmente é sintetizada a partir do petróleo, não renovável. No entanto na tabela acima se mostra como o mais versátil, sendo capaz de solubilizar quase todos os polímeros, mas tem venda restrita por volume mês.

O redutor de tintas é uma mistura de solventes como hidrocarbonetos, acetona, toluol e acetato de etila, e dependendo da sua composição será menos ou mais eficiente em solubilizar alguns polímeros. No entanto é fácil de ser encontrado no mercado em lojas de tintas.

A gasolina comum que é uma mistura de gasolina com etanol onde pequenas quantidades de toluol e benzeno estão presentes. Esse último componente o benzeno contribui ainda com o potencial carcinogênico, mas apenas em grandes proporções. Dentre os solventes orgânicos é um dos mais baratos, sendo facilmente encontrado em postos de gasolina por um preço médio no Brasil de R\$ 4,22 havendo restrição de compra apenas sobre a especificação da embalagem ou vasilhame usado para seu transporte.

Os valores de mercado no varejo foram levantados na região da cidade do Rio de Janeiro em janeiro de 2018. No item "Riscos a saúde", a toxicidade de alguns materiais como os solventes são dependentes de sua concentração e quantidades no estado físico, líquido ou gasoso. Seu impacto no ambiente é regido por normas que consideram sua concentração sejam no ar, na terra, água ou contato com a pele, brônquios e olhos, onde indicam como o

produto pode agir nos seres humanos e em outras formas de vida. Algumas fichas de segurança apresentam itens adicionais sobre impacto ambiental, e grau de biodegradação. Uma versão simplificada dessa ficha acontece pela representação no diagrama de Hommel, onde uma pontuação é feita para os itens: Riscos a saúde, inflamabilidade, reatividade e outros riscos mais específicos. Essa pontuação é feita com base nas fichas de segurança e foram consideradas na criação do quadro 3 a seguir.

Quadro 3- Origem, riscos, acesso, restrições e custos.

	Água	Etanol	Limoneno	Acetato de etila	Acetona	Redutor THINNER	Gasolina	Toluol
Origem renovável	Sim	Sim	Sim	Sim	Não/sim	Não	Não	Não/sim
Riscos a saúde	Não	Médio	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Média
Fácil acesso fabricação simples	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Restrições na venda	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Custo	R\$ 0	2,65	65,00	13,10	19,00	14,40	4,22	9,00

Fonte: O autor, 2018.

Para melhor visualizar o critério ambiental, foi feito o gráfico a seguir.

Figura 11 - Impacto ambiental dos solventes



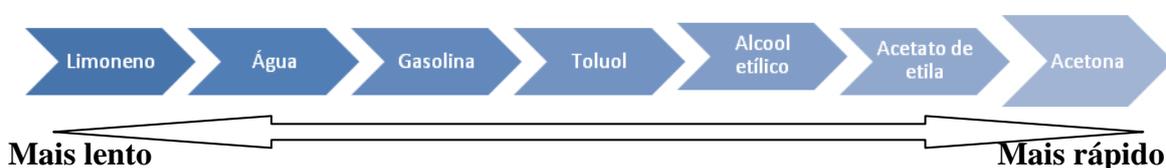
Fonte: O autor, 2018.

3.1.3.8.3 Velocidades de evaporação dos solventes

Abaixo na figura 12 é ilustrado a velocidade de evaporação relativa dos solventes puros usados nessa pesquisa usando o acetato de butilo como referencia com índice 1 dos solventes estudados nessa pesquisa:

Acetato de etila- 3,9 a 4,2-Acetona-5,5 a 6,3-Álcool etílico 1,4 a 2,4-Toluol-1,7 a 2,0. Para a água, o limoneno e a gasolina, foram utilizados os pontos de ebulição.

Figura 12- Velocidade de evaporação dos solventes puros



Fonte: O autor, 2018.

3.1.3.8.4 Misturas de solventes e anti- solventes

De acordo com Pazzini (2015) e Venceslau (2011), podemos afirmar que a combinação de solventes e não solventes na adequada proporção podem levar a uma maior solubilização do polímero. Quando ocorre um excesso de não solvente na mistura, o polímero precipita formando um coloide. A presença de não solventes ajudam a controlar a velocidade de evaporação e secagem dos polímeros solubilizados, melhorando tanto aspectos de tempo de secagem dos polímeros como melhora no acabamento superficial e do surgimento de outras imperfeições. Foram realizados testes preliminares de solubilização dos seguintes polímeros: PS, PSE, PSX, ABS, AC e PCL, tanto com solventes puros como misturas de solventes e não solventes. Os testes permitiram comparar os processos onde os polímeros se apresentavam como: totalmente dissolvido (Estado líquido), parcialmente dissolvido (polímero na forma granulada suficientemente dissolvida para aglutinar sua superfície ao de outros grânulos), ou na forma coloidal (Polímero parcialmente dissolvido formando uma massa moldável em estado plástico). Depois foram feitos testes dessas variações aplicados à produção dos diferentes compósitos e seus processos de reciclagem. Para dissolver PS, PSE,

PSX e ABS foram usados gasolina comum, redutor de tintas THINNER e o acetato de etila com etanol. Para dissolver PCL e AC foram utilizadas acetona e água ou toluol e água.

3.1.4 Materiais usados para o reforço ou carga

3.1.4.1 Celulose e lignocelulose

A celulose que é renovável e biodegradável é o biopolímero mais abundante na superfície da terra e está presente em todos os vegetais. Em geral é encontrado combinado a outros materiais como a lignina, hemiceluloses e pectina; e forma folhas, fibras e lenhos. Na forma lenhosa é chamada de madeira, e é usada há milênios pelo homem como material de construção ou para a produção de energia pela sua queima. Os diferentes tipos de fibras naturais (lignocelulose) servem a produção de cordas, tecidos e papel. A extração e separação da celulose para a produção de papel e polímeros como o acetato de celulose assim como para uso como madeira para a construção, envolvem muitos processos que geram muitos resíduos. Os papeis, papelões, ou resíduos têxteis, sejam de pré-consumo seja de pós-consumo são abundantes, e podem ser encontrados tanto nas cidades como em áreas rurais, seja nas indústrias madeireiras, têxtil, seja no beneficiamento de muitas fibras vegetais como cana de açúcar, algodão, linho, rami, seja na obtenção de fibras mais rústicas como sisal e piaçava.

3.1.4.1.1 Celulose Bacteriana

A celulose bacteriana (CB) (Fig. 13), conhecida assim porque a celulose é produzida por micro-organismos como bactérias, difere da celulose vegetal, obtida de árvores ou outros vegetais. A composição química da celulose bacteriana é igual a da celulose vegetal. Ambas são um polímero linear de unidades de β -D-glucopirranose ligadas entre si por ligações glicosídicas β (1 a 4), mas as semelhanças param por aí, pois em termos estruturais, há diferenças significativas entre as duas: as cadeias poliméricas de celulose bacteriana são mais

curtas que as da celulose vegetal e organizam-se espacialmente de forma mais ordeira e em escala nanométrica, pelo que a sua cristalinidade é mais elevada. Além disso, a celulose bacteriana é obtida numa forma pura, livre de outros polímeros, ao passo que a celulose vegetal forma um compósito com lignina, hemiceluloses e pectina.

A celulose bacteriana também é conhecida por outros nomes de acordo com a área de pesquisa ou contexto de uso, como por exemplo: biocelulose, celulose nativa, couro vegano, nanocelulose cristalina, biofilme e mãe do vinagre. A bactéria mais estudada para produção de celulose é a *gluconacetobacter xylinus*, por ser a mais eficiente produtora de CB.

Facilidade de Acesso - A produção de CB pode ser conduzida em condições estáticas, por agitação ou por misturação, resultando em diferentes formas estruturais de celulose. Quando produzida em condições estáticas, resulta em uma película tridimensional reticular interconectada, enquanto tanto por agitação ou misturação é produzida uma partícula de celulose irregular em forma de esfera com menor resistência mecânica (RODRIGUES et al., 2009).

Propriedades - Na atual busca por novos materiais resistentes, baratos e sustentáveis que possam substituir aqueles derivados do petróleo e de origem animal, a celulose bacteriana encontra-se como uma importante alternativa, principalmente devido às seguintes propriedades:

- Elevada resistência térmica: combustão aos 325°C;
- Elevada força tênsil, na ordem dos 200-300 MPa (consequência do seu alto grau de cristalinidade);
- Condutibilidade elétrica e mecânica;
- Proteção UVA e UVB;
- Baixa densidade;
- Biodegradabilidade;
- Material de fonte renovável.

O CB possui uma organização de fibras naturalmente porosa, que atua como uma matriz capaz de agregar uma variedade de partículas de diferentes tipos de materiais de reforço, gerando um material compósito com diferentes propriedades. Por exemplo, quando utilizada nanoplaquetas de grafite como material de reforço à CB, forma-se um compósito de boa condutibilidade elétrica para uso materiais eletrônicos (ZHOU et al., 2013). O compósito de CB pode ser sintetizado tanto por métodos *in situ* quanto *ex situ*. No método *in situ*, os

materiais de reforço são adicionados durante a síntese do polímero, ou seja, durante produção da CB pelas bactérias, enquanto no processo *ex situ*, o CB é impregnado com materiais de reforço em uma fase de pós-tratamento (ESA et al., 2014).

Usos- É já extensa a lista de publicações que referem as fibras de celulose bacteriana como um biopolímero promissor, assim como seus compósitos. Alguns destes compósitos já vêm sendo usados no fabrico roupas em substituição ao couro animal, de peças de aviões e automóveis. A celulose bacteriana é também utilizada no fabrico de novos têxteis, com especial ênfase em materiais superabsorventes, como aditivo na produção de papel, como estabilizador de emulsões na indústria de cosméticos, etc.(ZÖHRER e BIZ, 2017).

Figura 13- Diferentes resultados para a celulose bacteriana em função do meio de cultura e pós-tratamentos



Fonte: O autor, 2018.

3.1.4.1.2 O papel

Papel (do latim *papiro*, a partir do grego *πάπιρος papiro*, papel é um material plano que consiste essencialmente em fibras de origem vegetal com diferentes graus de purificação e cargas que foram obtidas pelo peneiramento das mesmas em suspensão com formação de um não tecido compacto depois de seco.

Usos- Ele aparece na forma de embalagens e vários tipos de papéis e cartões e papelões.

Obtenção - Pode ser obtido diretamente da indústria de celulose não só como resíduo pré-consumo, mas como material de consumo acabados e virgem nos vários tipos de papéis, cartões e papelões. Estudos recentes como no trabalho do Professor Alexander Bismarck,

mostram que se pode obter papel a partir do estrume de animais herbívoros e ruminantes e também da celulose produzida por certas bactérias.

Facilidade de acesso- Nos grandes centros é material descartado abundante, seja na forma de jornais velhos, papéis de escritório, caixas de embalagens de cartão e papelão. Segundo o IPEA 2010, na composição dos resíduos descartados no país, o papel e papelão correspondem a 13,16% dos quais apenas 43,7% foram reciclados.

3.1.4.1.3 Fibras Lignocelulósicas (sisal, piaçava, fibra de curauá, fibra de côco).

O sisal cujo botânico nome *Agave sisalana*, é uma espécie de agave nativa do sul do México, mas amplamente cultivado e naturalizado em muitos outros países. Ela produz uma fibra rígida usada na fabricação de vários produtos. O Brasil é o maior produtor do mundo no cultivo do sisal, a produção se concentra na região Nordeste, sendo os estados produtores: Bahia (36 municípios), Paraíba (19 municípios), Rio Grande do Norte (4 municípios) e Ceará (1 município).

Obtenção - A fibra é extraída por um processo conhecido como decortição em que as folhas são esmagadas, batidas e escovadas por uma roda rotativa com facas cegas, de modo que apenas as fibras permanecem. A fibra é então seca, escovada e enfardada.

Usos- A fibra de sisal é tradicionalmente usada para corda e cordéis, na fabricação de papel, tecido, calçados, chapéus, bolsas, tapetes e alvos. O sisal tem sido utilizado também como material de reforço para substituir o amianto e a fibra de vidro em materiais compostos em vários usos, inclusive na indústria automobilística. Outro uso na forma de mantas é como material geotêxtil e para a produção de compósitos.

Facilidade de acesso - O sisal é muito usado como material de limpeza na remoção de tintas e massas na construção civil e ainda como material de reforço no fabrico de forros de gesso. Sendo facilmente encontrado em lojas de material de construção ou como descarte pré-consumo de fábricas de vassouras que usam o sisal como cerdas. Valor médio de R\$ 18,00 o quilo. (Mercado Livre outubro de 2018).

Figura 14 - Formas de apresentação do sisal



Fonte: O autor, 2018.

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

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

Obtenção - As árvores devem ser colhidas apenas uma vez por ano, a fim de possibilitar a formação de fibras mais longas e de melhor valor comercial. Quando se faz o corte com intervalo menor que um ano, se obtém uma fibra de qualidade inferior. Isso também compromete a longevidade de planta. A fase considerada como mais apropriada para a colheita é de março a setembro, uma vez que nos meses mais quentes, a fibra colhida fica menos flexível. Entretanto, nas áreas produtoras, observa-se colheita em todas as épocas do ano. Numa área com boa concentração de plantas, o tirador sobe em uma piaçaveira e segue cortando as folhas, passando de um pé para o outro, sem descer ao chão.

Usos - Fabricação de vassouras, enchimento nos assentos de carros, cordoaria e escovões. O resíduo obtido de sua limpeza, o qual é conhecido como bagaço, fita ou borra, serve para cobertura de casas nos meios rural e urbano. Atualmente este produto é muito utilizado na cobertura de quiosques em áreas de lazer como sítios, clubes e praças. Escovões dos carros de limpeza de ruas utilizam a piaçava, somente a piaçava resiste sem quebrar a rotação e o atrito dessas máquinas. A Rússia, os Estados Unidos e vários outros países importam a piaçava para utilizar em equipamentos de varrer a neve. Cabos navais, cordas, artesanatos,

isolante térmico e uma infinidade de aplicações podem encontrar na piaçaveira a fibra ideal (CEPLAC, 2018.).

Facilidade de acesso - O produto é apresentado em fardos com pesos variáveis. Os fardos com fibras longas são comercializadas para o mercado externo, enquanto os de fibras curtas, denominadas “tocos”, são utilizados na indústria de vassouras. A capa, ou bagaço é utilizado praticamente na cobertura de quiosques e choupanas, o que eleva seu valor em algumas épocas, quando chega ser vendida ao preço igual ao da fibra longa – atualmente está custando R\$ 5,00 kg para fardos de 80-110 kg e os feixes menores cortados com 40 cm por R\$ 7,00 por kg. Mas pode ser obtida sem custo, e em tamanhos variados, do descarte das fábricas de vassouras, que representam a perda do processo de 20-30 %.

Figura 15- Piaçava



Fonte: O autor, 2018.

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) é de origem asiática e foi introduzido no Brasil por volta de 1553. É uma planta de grande importância social nos trópicos, por fornecer óleo, gorduras, minerais e vitaminas essenciais e fruto fresco. A casca (mesocarpo) é fibrosa e existe um "caroço" interno (o endocarpo lenhoso) dentro na parte interna do endocarpo temos a polpa ou carne. A carne seca da semente se chama copra e dela se extrai o óleo de coco.

Usos - A casca do coco é usada na fabricação de cordas, tapetes, chapéus e encosto de veículos e substrato para vasos de plantas e para confecção de um substituto do Xaxim

natural. O óleo é largamente usado na indústria alimentícia como óleo de mesa e também na produção de margarina, glicerol, cosméticos, detergentes sintéticos, sabão, velas e fluidos para freio de avião. (fonte <http://www.ceplac.gov.br/radar/coco.htm>)

Obtenção - Facilidade de acesso - Os coqueiros espalharam-se através dos trópicos, em particular ao longo da linha costeira tropical. O côco fruto do coqueiro pode ser encontrado em feiras, supermercados e em quiosques na beira da praia em várias cidades litorâneas do Brasil, sendo que depois de consumido sua água é em geral descartada no meio ambiente ou lixo urbano. Algumas empresas que vendem o côco estão recolhendo o mesmo para beneficiamento das fibras na criação de vários produtos. As fibras tratadas podem ser encontradas como substrato para plantas, cordas, e não tecidos assim como em vasos para plantas e enchimento de estofado.

A extração da fibra de coco - O mesocarpo da fruta verde é usado para produzir fibras de coco que podem ser fiadas em fios. Estes são feixes de fibras, que são obtidos por degradação da pectina por micro-organismos separados do tecido circundante. Para este propósito, o mesocarpo é primeiramente dissolvido a partir do núcleo de pedra e então armazenado para apodrecer a pectina (chamada "torrefação") por vários meses na água. As águas salgadas das lagoas provaram ser eficientes. Tanques são frequentemente usados hoje em dia. Após este "processo de torrefação", as fibras são tradicionalmente dissolvidas por rosqueamento (hoje por máquina) e ainda molhadas, classificadas por cor e finura. Eles consistem em 45% de lignina e 44% de celulose, As fibras de coco são comercializadas sob o nome de coco. Eles são usados após a fiação para a produção de cordas, tapetes, tapetes e revestimentos de parede. O centro da indústria de fibra de coco é o Sri Lanka. (WIKIPEDIA, 2018)

As fibras de frutos maduros e totalmente maduros apresentam um teor de madeira superior, não podendo, portanto ser fiadas e utilizadas como material de enchimento para colchões e estofos ou para isolamento térmico. Todas as fibras do coco podem ser usadas, na indústria automobilística para a fabricação de material de enchimento do estofado dos carros e caminhões, carpetes e painéis compósitos. Em outras indústrias para fabricação de chapéus, cestos, tapetes, enchimento de colchões, artesanato e para isolamento térmico. (WIKIPEDIA, 2018).

Figura 16- Fibras de coco



Fonte: O autor, 2018.

3.1.4.1.4 Mantas/ Nãotecidos

Conforme a norma NBR-13370, nãotecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes. O nãotecido também é conhecido como nonwoven (inglês), notejido (espanhol), tessuto nontessuto (italiano), nontissé (francês) e vliesstoffe (alemão) (ABNT, 2017).

Os nãotecidos podem ser constituídos por diferentes fibras naturais e combinados a fibras sintéticas e artificiais.

Usos- Na indústria automobilística -Isolação térmica e acústica (anti ruídos), base de peças moldadas, acabamento superficial, 1a e 2a base de tufting, tetos, separador de bateria, revestimento interno de laterais, reforço de bancos, filtros e outras.

No comércio- Embalagens, sacos e fitas decorativas, invólucros de calçados e presentes, revestimento para estojos, decoração de vitrines e outras.

Na construção civil/Impermeabilização- Como armadura de sistemas asfálticos, na impermeabilização de lajes, telhados e subsolos, como isolante térmico e acústico de tetos e paredes, outras.

Uso doméstico- Pano de limpeza para polir, limpar ou enxugar; forração para carpetes, tapetes, cortinas, decoração de paredes, cobertores, toalhas de mesa, persianas, saches de chá

e café, filtros de óleo, guardanapos, proteção das molas dos colchões e estofados, substrato de laminados sintéticos para móveis, em enchimento de colchas e edredons, outras.

Na indústria- mento filtrante para líquidos e gases, cabos elétricos, fitas adesivas, plástico reforçado para barcos, tubulações e peças técnicas, abrasivos, correias, etiquetas, disquetes para computador, pisos plásticos, envelopes, outras.

Geotêxtil - Geotêxteis para estabilização do solo, drenagem, controle de erosão, recapeamento asfáltico, reforço, canais e contenção de encostas.

Vestuário- Entretelas de modo geral para confecções, componentes e matérias-primas para calçados e tênis, roupas infantis, enchimento de jaquetas, ombreiras, roupas protetoras do usuário e do ambiente.

Obtenção: fábricas de não tecidos- Obtivemos nossas amostras da empresa Pematic Triangel do Brasil LTDA..

Figura 17-Manta de Curauá



Fonte: O autor, 2018.

Figura 18- Manta de Sisal



Fonte: O autor, 2018.

3.2 Nomenclatura

Para uma melhor organização e entendimento dos diferentes Eco-compósitos nesta pesquisa, os mesmos foram agrupados de acordo com suas características de

similaridade em função de seus processos de fabricação ou da origem e natureza dos materiais adotados para a formação dos compósitos criando uma nomenclatura própria descrita a seguir.

3.2.1 Eco-compósito tipo 1

Os Eco-compósitos do tipo 1 se caracterizaram pela utilização de materiais com origem em fontes renováveis e ou abundantes no ambiente natural ou urbano. Uma característica que o distingue dos outros Eco-compósitos nesta pesquisa, é o fato de apresentar uma fase anterior de conformação do material de reforço antes da aplicação do material da matriz. O material do reforço é celulósico de origem vegetal podendo ser originado por reciclagem de papeis, cartões e papelão, contendo outras substâncias misturadas em diferentes concentrações. (Pigmentos, caulim, espessantes, etc.). Podendo também ser feito a partir de cartões e chapas de fibras, usadas diretamente como reforço pré-tralhadas por separação, união e melhoramento. A matriz nesse compósito participou com no máximo 30% em massa do compósito sendo considerado um Eco-compósito de baixa ou média densidade com faixas que variavam de 0,15 até 0,5, para os reforços conformados como polpa moldada de papel jornal reciclada. Para os reforços que utilizaram cartões tipo couro ou chapa de fibras, a densidade variou de 0,6 até 1,21 conforme a gramatura. Os Eco-compósitos do tipo 1 se dividiram nos subgrupos em A, B e C.

3.2.1.1 Subgrupo A

Caracterizado por conter uma fase anterior de conformação do material de reforço antes da aplicação da matriz polimérica do tipo cerâmica.

São compósitos com reforço de polpa de celulose obtida de reciclagem de papeis descartados como jornais, revistas, cartões e papelões. Usam como matriz, cerâmicas que são dissolvidas em água como o silicato de sódio ou potássio.

Possui processo de fabricação com baixo consumo de água e energia, com reciclagem dos resíduos dos processos. Reciclagem total ou parcial dos materiais após o fim da vida útil do produto, sendo degradável ecologicamente.

3.2.1.2 Subgrupo B

Caracterizado por conter uma fase anterior de conformação do material de reforço antes da aplicação da matriz polimérica termoplástica de origem natural renovável.

São compósitos com reforço de polpa de celulose como no do subtipo A. Usam como matriz, resinas orgânicas naturais como o breu, misturadas a óleos secativos que são dissolvidos em etanol para aplicação no reforço.

Processo com baixo consumo de água e energia, com reciclagem dos resíduos dos processos.

Eco-compósitos desse tipo permitiram processos de separação, união e melhoramento depois de conformados.

Reciclagem total dos produtos após o fim da sua vida útil é biodegradáveis em função da natureza de seus componentes constituintes.

3.2.1.3 Subgrupo C

São compósitos de reforço constituídos de cartões e chapas de celulose virgem, que são processadas previamente por separação, união e melhoramento. Usam com matriz resinas orgânicas naturais como o breu e óleos secativos. Onde o Eco-compósito final apresentou propriedades termoplásticas para conformação, permitindo o processamento por separação, união e melhoramento.

Possui processo de fabricação com baixo consumo de água e energia, com reciclagem dos resíduos dos processos.

Eco-compósitos desse tipo permitiu a reciclagem total dos produtos após o fim da sua vida útil, assim como remanufatura, reuso e sendo biodegradáveis.

3.2.2 Eco-compósitos tipo 2

Caracterizaram-se por utilizar como material de reforço tanto de celulose como fibras lignocelulósicas.

Usaram como matriz, polímeros termoplásticos não tóxicos e biodegradáveis de origem natural ou sintéticas como: gelatinas técnicas a base de proteína animal ou vegetal (Agar Agar- não testada nessa tese.) e a policaprolactona (que podem ser combinados ao reforço na forma de material fundido a baixa temperatura (65 graus Celsius) ou por dissolução no caso do PCL que acontece com solvente puro como acetona ou acetona e água como mistura de solvente e anti-solvente.

Este processo produtivo ocorre com baixo consumo de água e energia, com possibilidade de reciclagem dos resíduos dos processos.

Eco-compósitos desse tipo permitiram processos de separação, união e melhoramento depois de conformados.

Esses Eco-compósitos permitiram a reciclagem total dos materiais compostos dos produtos após o fim da vida útil, podendo ser remanufaturados, reusados ou biodegradados.

3.2.3 Eco-compósitos tipo 3

São compósitos que se caracterizaram por utilizar como material de reforço, tanto celulose como fibras lignocelulósicas de origem de descarte ou não, ou fibras animais como lã ou seda. Usavam como matriz, polímeros sintéticos termofixos biodegradáveis, com origem em matérias-primas naturais e renováveis como os poliuretanos vegetais de mamona e soja, ou de origem animal como a caseína tirada do leite. Como outras matrizes sintéticas não tóxicas e biodegradáveis têm também o PVA (acetato polivinílico) reticulado. São facilmente conformados a frio, e apresentaram ótimo acabamento. Processo produtivo com baixo consumo de água e energia. Os produtos feitos com esse tipo de Eco-compósito, podem ser duráveis e por vezes de difícil reciclagem (resíduo pode ser triturado e usado como carga), podem ser remanufaturados e reusados, sendo biodegradáveis. Quando utilizadas matrizes

elastoméricas como PU vegetal, são difíceis de serem processadas mecanicamente para obtenção de melhorias como polimento.

3.2.4 Eco-compósitos do tipo 4

São compósitos que se caracterizaram por utilizar como material de reforço celulose e fibras lignocelulósicas de origem de descarte ou não, ou fibras animais como a lã e a seda. As matrizes são de polímeros sintéticos termoplásticos do tipo solúvel como AC, PS, PSE, PSX e ABS, sendo utilizados resíduos pré-consumo ou pós-consumo. Caracterizou-se por terem se combinados ao material de reforço na forma dissolvida para conformação, sendo secos em sistemas abertos ou fechados com uso de ventilação natural ou forçada com ajuda de fonte calor ou não. O solvente pôde ser recuperado por secagem em sistemas fechados com recuperação do solvente por condensação (semelhante ao sistema da Sony para reciclagem de PSE dissolvido em limoneno).

Depois de conformados puderam ser processos por separação, união e melhoramento. Possui processo produtivo com baixo consumo de energia e reciclagem de resíduos da produção. Resultam em produtos duráveis que podem ser reciclados, remanufaturados e reusados.

3.2.5 Eco-compósitos do tipo 5

São compósitos desenvolvidos com base em processos de biotecnologia onde ou a matriz ou o reforço foram cultivados em meios específicos. Como exemplos temos o cultivo da celulose bacteriana que pode ser obtido como subproduto da produção do probiótico Kombucha, e do micélio de algumas espécies de fungos comestíveis como os apresentados por TAVARES et al (2013). (não apresentado nesse trabalho).

São compósitos que se caracterizaram pelo método de produção por cultivo de material vivo que cresce em formas ou moldes que puderam in situ receber materiais que modificaram o material de reforço ou funcionam como matriz. Depois de cultivado e seco

puderam receber tratamentos de purificação ou modificação do material de reforço para receber uma matriz polimérica. Aceitaram pós-processos como união, separação e melhoramento. Os produtos puderam ser remanufaturados e são de natureza biodegradável.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e processos utilizados na fabricação dos Eco-compósitos tanto em amostras como em protótipos. Um fluxograma geral dos processos pode ser visto no Apêndice.

A metodologia proposta para a fabricação dos Eco-compósitos envolveu experimentação prática com registro de imagens e descrição do processo. O controle de processos e a formulação dos compósitos foram orientados pelos resultados nos trabalhos acadêmicos na área de Eco-compósitos e pela experimentação via avaliação organoléptica tal qual o análogo na fabricação de massas de produtos alimentícios (COSTA e PEREIRA, 2017).

Na fabricação dos eco-produtos protótipos, foram aplicados os conhecimentos gerados com base nos resultados preliminares obtidos nos testes experimentais com os polímeros puros e os combinados as cargas e reforços. Para os protótipos de bancos e cadeiras foram feitos testes mecânicos baseados nas normas para mobiliário plástico vigente adotados pelo INMETRO, sendo ao final apresentados os resultados finais e as discussões para cada Eco-compósito e suas relações.

4.1 Máquinas, equipamentos e ferramentas

As máquinas, equipamentos e ferramentas utilizadas nos processos de extração, preparo e moldagem dos compósitos são listados a seguir. Essas máquinas se encontram na oficina ou laboratório da ESDI- UERJ.

Equipamentos de medição: balança digital JB com rampa capacidade 500 kg, balança digital de mesa capacidade máxima 5 kg precisão 1g, réguas, paquímetros, medidores de volume graduados, termômetros.

Utensílios/ferramentas- tanques, bombonas, baldes, peneiras de cozinha, tubos de aço, alumínio, pedaços de madeira e plástico; moldes de madeira, moldes de PSE, moldes de plástico feitos de embalagens descartadas, moldes de chapas de PP. Estufas solares (construídas com madeira para a estrutura e filme plástico para criar o efeito estufa).

Ferramentas e Maquinas para processos:

Ferramentas Manuais: estiletes, pinceis, lixas, serras, furadeiras, prensa mecânica (construída), guilhotina para chapas.

Ferramentas elétricas: lixadeiras de cinta, serras circulares, serras de fita, tico-tico, desengrosso, furadeira elétrica.

Máquinas: Fresa CNC ROLAND e corte laser, máquinas da oficina da universidade, liquidificadores domésticos, liquidificadores industriais de 15l de capacidade, Moinhos de faca marca RONE-N200, amassadeiras de pão GPaniz modelo AE capacidade 60l/60kg de massa, estufa de secagem elétricas Flock Color com 12 prateleiras 9KW e estufa de lâmpadas infravermelho e estufas solares.

4.2 Processo Base Eco-compósito 1

A primeira parte no preparo do Eco-compósito tipo 1A e B foram à preparação e conformação do material de reforço de fibras de celulose, que depois recebeu o material da matriz cerâmica de silicato de sódio, ou das resinas de breu e óleos secativos. Depois da combinação e secagem do compósito, o mesmo pôde ser processado por separação, união e melhoramento.

Já o Eco-compósito tipo 1C, se diferenciou dos anteriores por receber a matriz de reforço de fibras celulósicas já prontas de mercado, como os cartões couro, e chapas de fibras etc. Depois de secas, além das possibilidades de separação, união e melhoramento, esses Eco-compósitos puderam ser conformados a quente com uso de sopradores térmicos ou preaquecidos em fornos ou estufas.

4.2.1 Método de preparação do material de reforço celulósico

1º ETAPA triagem: o papel a ser reciclado (Ex. jornais, revistas e papel branco) foi separado de impurezas como grampos e outros contaminantes. Foi colocado de molho na proporção de 1 kg de papel para cada 10 litros de água. Observando que o jornal e papel

branco necessitaram estar de molho durante 24h, e revistas e outros com aspecto plastificado, no mínimo 48h. Na figura 19 usamos 1 kg de jornal colocado em um balde de 15 litros e enchemos com 10 litros de água.

Figura 19- Papel colocado de molho



Fonte: O autor, 2018.

2º ETAPA: Preparação: o papel depois de umedecido foi rasgado em partes menores antes de levá-lo ao liquidificador ou para outros processos de despolpa.

Figura 20- Papel rasgado em pedaços menores para a despolpa



Fonte: O autor, 2018.

3º ETAPA: Despolpa: ao papel umedecido foi acrescentando mais água, no caso da figura 21 abaixo, foi usado um misturador de tinta ligado a uma furadeira de 750 W e acrescentados mais 4 litros de água além dos 10 l iniciais. Foram feitos movimentos circulares subindo e descendo o misturador para uma boa homogeneização, e depois a massa foi espremida para a tirarada o excesso de água.

OBS- é possível a obtenção da massa de polpa de papel sem uso de máquinas, mas implica no uso de agitadores manuais para a despolpa e tempo de molho maior.

Figura 21 - Despolpa do papel usando um misturador de tintas



Fonte: O autor, 2018.

4º ETAPA: Pré-secagem: a massa de polpa de papel foi despejada em um recipiente para tirar o excesso de água usando uma tela e depois espremendo. Foi retirado o que sobrou de água espremendo pequenos pedaços da polpa com as mãos e depois depositados em um reservatório. A água que foi retirada pode ser usada novamente para a despolpa com isso se economiza esse valioso recurso e evitamos o despejo da água que contém tintas de ser descartada de forma inapropriada. Posteriormente poderá ser adicionada a essa massa úmida, cola branca ou outro adesivo atóxico ou biodegradável como a carboximetilcelulose (usado como cola para papel de parede), sendo 250 ml de PVA para cada 1 kg de polpa de papel dissolvida o suficiente, ou de 50 a 100 gramas de carbometilcelulose em pó polvilhado sobre a massa. Em seguida, a massa foi bem misturada com a cola até sua total dissolução. É muito importante que o adesivo esteja o máximo possível diluído para se obter um material homogêneo. Para a produção de quantidades maiores que 1 kg por vez, é recomendável o uso de amassadeiras industriais do tipo usada em panificadoras.

OBS- o uso de cola de grude e outros biopolímeros solúveis em água podem acontecer nessa etapa, e dependendo da concentração, já seria possível se obter um Eco-compósito. No entanto a adição de conservantes e substâncias que aumentem a resistência a fungos, bactérias e térmitas talvez seja necessária e isso poderá reduzir o grau de degradação do compósito e sua atoxidade.

Figura 22- Retirada do excesso de água e Adição de ligantes



Legenda:

- (a) e (b) uso de tela ou tecido para retirada da água
- (c) e (d) Retirada de mais água pressionando pequenos pedaços de polpa de papel
- (e) adição de ligantes como cola de PVA e de pigmentos com urucum.

Fonte: O autor, 2018.

5º ETAPA: Cores e texturas: Pode ser opcional a coloração da polpa de papel, para isso, foi utilizado um concentrado de tinta a base d'água ou pigmentos inorgânicos ou orgânicos naturais (pó xadrez, urucum, argilas coloridas, coral, etc.). Tal qual no processo de papel artesanal foi possível adicionar folhas secas, palhas, casca de cebola, alho, etc. como efeitos de textura na superfície das peças.

6º ETAPA: Processo de conformação estado pastoso: A polpa de papel foi transferida para os moldes que permitam a água sair, como superfícies furadas, telas, ou tecidos. Três foram às formas de se conformar a massa:

1ª – Moldagem manual/ moldagem livre, foi possível tal qual nas técnicas de papel machê, moldar formas livremente ou fazendo uso de ferramentas de pré-conformação como rolos, espátulas ou suportes para estrutura da peça.

2ª – Moldagem em formas, a massa foi socada aos poucos no molde (que pode ser aberto ou fechado, único ou dividido em partes) tirando o excesso de água aplicando uma pressão uniforme como um pistão ou rolo fazendo uso de uma tela ou tecido para o dreno da água e retirada do molde para secagem final (Fig. 23).

OBS: Em geral quando se faz uso de pressões médias e altas se reduz o tempo de secagem, com a tendência de uma coplanaridade das fibras no sentido ortogonal as força de pressão. Já em processos de baixa pressão tendência a períodos longos de secagem e fibras mais aleatórias com menor densidade final da massa seca.

Figura 23- Moldagem e conformação com formas e moldes



Fonte: O autor, 2018.

3ª – Moldagem em processo industrial- Nesse sistema muito usado para embalagens, a massa de polpa é bombeada para o local de moldagem (processo de fabricação por polpa moldada figura abaixo) para conhecer o processo completo ver o trabalho de Martineez e Tosso, 2016.

Figura 24-Processo polpa moldado usado para produção de painéis acústicos e embalagens.



Fonte: O autor, 2018.

Os painéis acústicos da figura 24 foram protótipos feitos pelo autor com Eco-compósito do tipo 1A que são resistentes ao fogo.

7º ETAPA: Secagem-Depois do molde preenchido foi levado para a secagem, onde foram testadas algumas alternativas:

1-Secagem ao ar livre ou ao sol. .

Devendo ter cuidado para não acontecerem empenos decorrentes de uma secagem irregular.

2-Secagem em um lugar coberto e bem ventilado figura 25.

O tempo de secagem variou com a espessura e área da peça exposta a evaporação assim como o grau de umidade inicial da peça, foi dada preferência em expor a maior área possível da peça para facilitar a evaporação, e sempre que possível fora dos moldes.

Figura 25 - secagem em local coberto e bem ventilado



Fonte: O autor, 2018.

3-Secagem artificial aconteceu em estufas de desidratação do tipo elétricas, ou em estufas solares. Em locais com escassez de água é recomendável uso de sistema de condensação para recuperação da água.

4-Secagem a vácuo junto com a moldagem (muito usado na confecção de objetos de polpa moldada para embalagens como caixas para ovos), ou em câmeras de vácuo como nos sistemas fechados usados para liofilização podendo ter recuperação de água ou de solventes orgânicos.

5-Secagem por micro-ondas (eficiente, mas muito crítico, pois pode sofrer superaquecimento onde a peça de papel incendeia-se de dentro para fora sendo difícil de ser extinta).

8º ETAPA: Processos de separação, união e melhoria. Depois de seca, a peça de polpa de papel pode ser facilmente trabalhada por ferramentas manuais ou máquinas, uma vez que o papel tem baixa dureza sendo de fácil usinagem. As aparas ou partículas resultante desse processo podem voltar a etapa 4 .

Figura 26- Processos de Separação, união e melhoramento antes de receber a matriz.



Fonte: O autor, 2000.

Protótipos

Exemplos de conformação por moldagem manual

Figura 27 - Luminária moldada livremente com polpa pigmentada em diferentes cores.



Foto: LEAL, 2000.

Luminária feita com aplicação da massa de polpa de papel com partes pigmentadas com pó xadrez azul e vermelho sobre suporte de tela metálica fina conformada com a ajuda de rolos de laminação livres. Primeiro a massa foi aplicada aos dois lados da tela sobre uma superfície plana, e depois ainda úmida enrolada para dar a forma final, Depois de seca foi aplicada a solução de silicato de sódio com trinchas.

Figura 28 - Poltrona de PET e Eco-compósito tipo 1 A

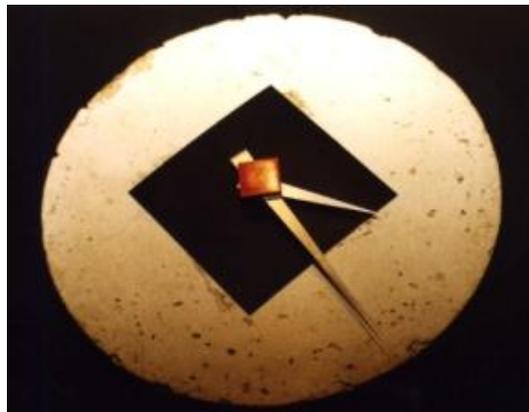


Foto: LEAL, 2000.

Poltrona feita pela aplicação manual da massa de polpa de papel sobre pré-estrutura de garrafas PET pós-consumo, amarradas com tela fina de galinheiro. Depois de seco foi aplicado solução silicato de sódio com uso de rolos de pintura.

A seguir exemplo de conformação com uso de moldes e gabaritos

Figura 29 - Relógio de parede feito com molde de fôrma de pizza em alumínio com desmoldante e adição de caulim à massa para tornar mais branco e resistente a água.



Fonte: O autor, 2000.

Na figura seguinte foi feita uma mesa com tampo em Eco-compósito tipo 1A com pés de tubo de papelão. Como molde para o tampo foi usado uma tampa de lata de lixo em PP, os pés foram colados ao tampo com cola PVA e depois foi aplicada a solução de silicato de sódio.

Figura 30- Mesa disco pronta e o molde usado para confecção do tampo



Fonte: O autor, 2000.

4.2.1.1 Resultados Parciais

Muitos objetos testados usavam moldes de plástico PP ou PE de origem de descarte pós-consumo, apesar de não serem furados permitiam uma secagem da massa pelo lado que não ficava em contato com o molde. A parte em contato com as paredes do molde apresentavam falhas decorrentes dos bolsões de água represados contra suas paredes, dificultando a evaporação que acontecia predominantemente por capilaridade e difusão.

4.2.2 Método de preparação dos materiais usados na matriz

Nesta etapa foram utilizados equipamentos de EPI indicados nas fichas de segurança dos respectivos materiais, e aconteceu em local adequado a atividade com ventilação apropriada. As matrizes foram preparadas para serem solubilizadas para depois serem aplicadas ao material de reforço, que foram de polpa moldada, cartões e chapas de celulose.

4.2.2.1 Solução de silicato de sódio

1º ETAPA: O silicato de sódio neutro foi dissolvido na proporção em volume de 1:1 dentro de um reservatório junto com água limpa.

2º ETAPA: (Pigmentação opcional) Foram adicionados cargas ou pigmentos inorgânicos ou orgânicos, não reativos ao silicato de sódio (pó xadrez, urucum, argilas coloridas, sais e óxidos metálicos.).

4.2.2.2 Solução de resina de breu e óleos secativos

1º ETAPA: O breu foi quebrado em pedaços pequenos e moído até se tornar um pó, e em seguida foi misturado com álcool absoluto na proporção de 2 kg de breu para 2 l de álcool. Foi deixado em repouso por 48h, tendo sido agitado o recipiente de tempos em tempos até a completa dissolução do breu no álcool. Depois foram acrescentados de 50- 100 ml de óleo secativo de linhaça.

OBS- O álcool não anidro pode ser utilizado, mas implica na mudança da proporção para mais etanol na mistura.

2º ETAPA: (Pigmentação opcional) Foram adicionados cargas ou pigmentos inorgânicos ou orgânicos naturais (pó xadrez, urucum, argilas coloridas, anilinas, etc.).

3 ETAPA: (Acelerador de secagem) Foi testado o uso de acelerador de secagem (agente de reticulação) para óleos secativos como o octoato de cobalto antes da aplicação da solução, em uma proporção de 2- 5% do volume do óleo secativo usado.

4.2.2.3 Aplicação da matriz solúvel sobre os substratos de celulose

A solução de silicato de sódio neutro ou breu dissolvido preparado anteriormente foram aplicados sobre o substrato de reforço celulósico pelas seguintes opções:

1^a – Pincel, rolo ou trincha, foi usado para espalhar a matriz em solução sobre a superfície da peça/ substrato. A quantidade de demãos e a saturação da solução determinaram a profundidade da camada de compósito formada assim como a proporção matriz/ reforço locais.

2^a – Imersão do substrato de reforço na solução. O tempo de imersão e a saturação da solução determinaram as propriedades mecânicas e estéticas do compósito uma vez que alteram a saturação dentro do substrato de reforço assim como a extensão em profundidade dessa camada.

3^a – Injeção da solução de forma pontual em qualquer parte do interior do reforço. Foi possível reforçar um ou mais pontos de grande solicitação mecânica, sem com isso aumentar o peso da peça e consumir mais material para a matriz.

OBS- notem que esse processo de fabricação permite a criação de um compósito estrutural tipo sanduiche simultaneamente com um compósito reforçado com fibras. Além disso, um controle da saturação na superfície ajudava na etapa de melhoramento da superfície no processo de fabricação.

4.2.3 Exemplos de fabricação de protótipos em Eco-compósito tipo 1

Para a fabricação do pé de mesa da figura 31, foram confeccionados moldes em PSE cortados com fio quente que serviram de moldura para conter a massa de celulose (polpa), essa foi colocada sobre uma base de madeira ripada recoberta por tela de plástico tipo mosqueteira ou depositado sobre um tecido sintético como nylon estendido sobre uma superfície, que permitia que a água saísse através do tecido. Foram feitas 4 peças de 4cm de espessura unidas duas a duas por cartão couro de 4mm. O uso do cartão tinha objetivos estéticos e estruturais. Os encaixes de ligação dos pés foram feitos tipo macho e fêmea com uso de um tubo de papelão que foi colado e endurecido com o próprio elemento matriz em solução (macho), e o furo (fêmea) na outra peça foi furado na etapa 8 assim como o furo que recebeu o tubo na parte macho.

Figura 31- Mesa arco em Eco-compósito tipo 1A



Fonte: O autor, 1999.

A cadeira Onda fabricada em Eco-compósito tipo 1 B e C com solução de matriz de resina de breu e óleo de linhaça (Figura 32).

Figura 32 - Cadeira de Eco-compósito tipo 1C



Fonte: O autor, 2018.

Figura 33- Testes de pigmentação de Eco-compósito 1B



Fonte: O autor, 2018.

As partes confeccionadas em polpa moldada (Eco-compósito 1B), depois de cortadas ou pré-moldadas e secas, receberam várias camadas ou demãos de solução pura ou já pigmentadas. Os pontos de encaixe entre as peças receberão mais demãos de resina e injeção nessas partes para melhorar a resistência mecânica nesses locais. Para obtenção de uma

aparência brilhante, bastou depois da resina seca, lixar a superfície com lixadeira de cinta, a abrasão da lixa em movimento derreteu a camada de polímero que se espalhou pela superfície fechando os poros e dando uma aparência lisa e lustrosa (figura 34).

Figura 34- Impregnação, secagem, preparo e acabamento das partes da cadeira



Fonte: O autor, 2018.

O encosto foi confeccionado a partir de uma chapa cortada de cartão couro de 4 mm, que recebeu várias demãos de resina tornando-se rígido e lustroso depois de seca. Essa chapa compósita com propriedades termoplásticas (Figura 35) permitia ser facilmente curvada após ser aquecida por um soprador térmico, sobre um gabarito (Figura 36).

Figura 35- Aplicação de matriz solubilizada ao substrato de cartão couro



Fonte: O autor, 2018.

Figura 36- Conformação a quente de uma chapa de Eco-compósito 1 C



Fonte: O autor, 2018.

4.3 Processo base Eco-compósito Tipo 2

A primeira parte no preparo do Eco-compósito tipo 2 foi tornar a matriz em uma solução ou coloide para depois ser combinada a ao material de reforço ou carga previamente caracterizada e depois colocada em um molde. Quanto menos água ou solvente presente como veículo de dissolução da matriz, menor é o tempo de secagem e mais difícil sua conformação a baixa pressão com menos encolhimento da peça em relação ao molde.

Depois de secas, além das possibilidades de separação, união e melhoramento, esses Eco-compósitos puderam ser reciclados ao reduzi-los em partículas, sendo usados como carga ou solubilizando caso não tenha a matriz sofrido reticulação.

Foram usadas matrizes de proteína animal (colágeno) e de policaprolactona (PCL). O PCL foi testado de quatro formas diferentes em um processo de fabricação para obtenção de protótipos de porta copos:

- Primeiro teste, foi utilizado o polímero fundido e moldado manualmente com uso de um molde aberto, e depois a peça foi testada para a reciclagem por fusão.
- Segundo teste, o polímero fundido foi misturado a um material de reforço e conformado a quente manualmente como no teste anterior.
- Terceiro teste, o polímero foi solubilizado e misturado ao reforço a frio e conformado no molde aberto com uso de uma espátula.
- Quarto teste, o polímero foi solubilizado e recebeu um anti-solvente formando um coloide que se combinou ao material do reforço de forma manual, sendo depois conformado para dentro do molde aberto.

4.3.1 Preparação dos materiais usados no reforço

1º ETAPA caracterização: foi usada serragem retirada do resíduo da máquina de desgrosso sem peneiramento e com uso de peneira de cozinha número 18 que chamamos serragem fina. A piaçava foi primeiro seca em estufa a 150 graus por 30min e depois picotada em moinho de faca com uso da peneira de 5 mm.

2º ETAPA Preparação: Tanto a serragem como a piaçava picada, foi separada por volume ou peso equivalente à quantidade de material da matriz que foi utilizada.

4.3.2 Preparação do compósito com matriz de Proteína Animal/ Gelatina técnica

1º ETAPA: Foi separada uma quantidade de proteína animal em grãos com igual quantidade em volume, da quantidade de água utilizada.

2º ETAPA: A água foi adicionada a proteína animal e foi aguardado até que a mesma tivesse absorvido toda a água.

3º ETAPA : A proteína hidratada foi aquecida em banho Maria até a fusão e homogeneização da mistura.

4º ETAPA: Mistura- O reforço (serragem) foi adicionado a matriz aquecida (gelatina técnica fundida) e misturada até sua homogeneização.

5º ETAPA: Conformação- A mistura quente foi colocada em formas.

Na imagem a seguir, temos a esquerda o compósito feito com cargas de reforço de serragem fina com matriz solubilizada em água na proporção em volume de 1:1. Na peça da direita foi usado reforço de piaçava picada com 5 mm de comprimento com matriz solubilizada em água na proporção de 1:2.

6º ETAPA: O compósito foi retirado do molde depois de 48h e a secagem finalizada fora do molde.

7º ETAPA: Depois de seca as peças foram melhorada pela adição de verniz a base de proteína animal ou outro produto compatível, tendo sido cortado e lixado e polido.

Figura 37 - Eco-compósito tipo 2 (continua)

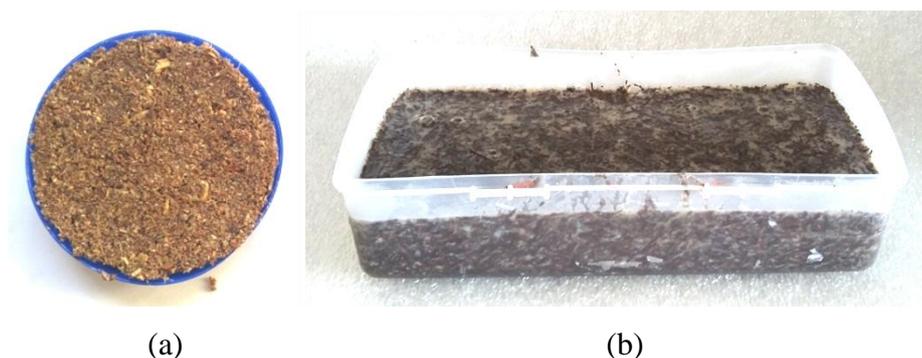
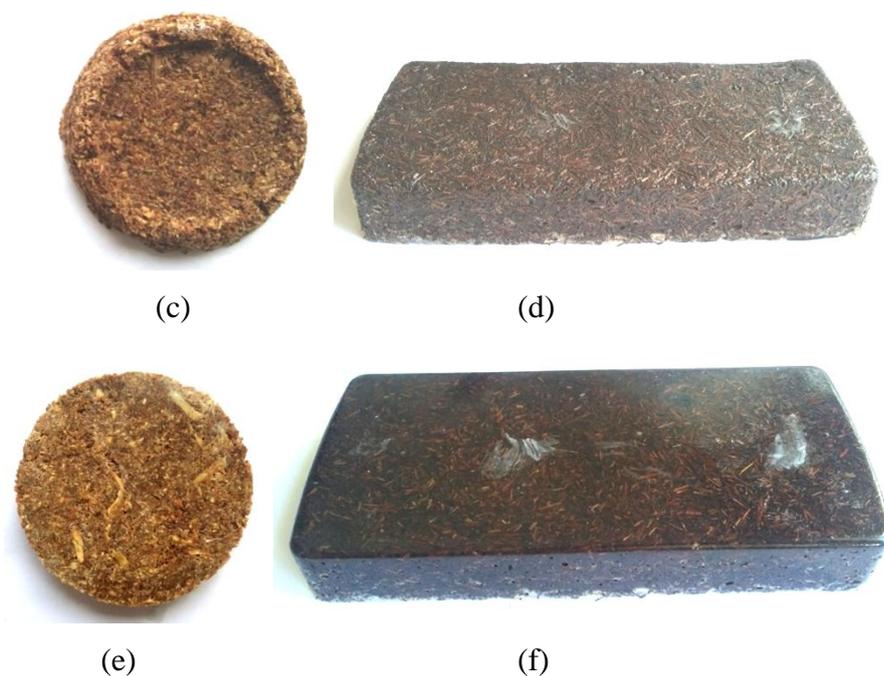


Figura 37 - Eco-compósito tipo 2 (conclusão)



Legenda:

(a) e (b) Moldagem Eco-compósito tipo 2 em molde aberto.

(c) e (d) Peças em Eco-compósito tipo 2 (serragem e piaçava) secas fora dos moldes, serragem e piaçava.

(e) e (f) Peças em Eco-compósito tipo 2 lixadas e polidas

Fonte: O autor, 2018.

4.3.2.1 Resultados parciais

As peças com matriz com menor proporção de água tiveram menor contração e menor tempo de secagem sendo rígidas com a qualidade de conformação limitada pelo tamanho dos grãos da serragem em relação ao detalhamento do molde. As amostras com maior teor de água na matriz inicialmente ficaram perfeitas e foram mais fáceis de serem conformadas sem uso de pressão, no entanto ao longo do tempo encolheram ao perder água, perdendo o brilho inicial e se tornando mais rígido.

Separação e união

Foi fácil cortar e lixar, sendo que a união pôde ser feita adicionando um pouco de água quente a 65 graus sobre as partes a serem unidas ou com uso de mais gelatina hidratada e fundida. Bastou pressionar uma parte contra a outra e mantendo-as pressionadas por 12h.

Figura 38 - Amostra de Eco-compósito tipo 2 com reforço de piaçava



(a)



(b)

Legenda:

(a) - Amostra sendo cortada

(b) - Amostra unida por colagem sob pressão

Fonte: O autor, 2018.

Melhoramento

As faces puderam ser facilmente polidas sem o uso de ceras. Da esquerda para a direita peça com a face bruta não trabalhada, face cortada em serra de fita e face lixada e polida.

Figura 39- Peças da amostra de Eco-compósito tipo 2 com diferentes acabamentos



Fonte: O autor, 2018.

4.3.3 Testes preliminares com PCL fundido

Ecoproduto- Protótipo de porta copos

Processo de fabricação por fusão a 65 graus Celsius da matriz

Material- Foi usada 30g de policaprolactona com nome fantasia de POLYMORPH de cor branca. (figura 40a)

Molde tipo aberto- origem reutilização - Tampa de pote de requeijão em PP

Teste 1-Moldagem por fusão do material a 65 graus Celsius.

Veículo de transferência de calor-água

Controle de processo adotado- Avaliação sensorial, sentidos usados: visão e tato.

Controle de processos adicional para controle- Termômetro de mercúrio com escala graduada de 10 -100 graus Celsius, e balança digital de mesa precisão 1,0 g..

Método

1 ETAPA -Fundição: uma porção de água foi aquecida até 65 graus Celsius. Nessa temperatura foi possível mergulhar a mão ou os dedos para verificar a temperatura (controle organoléptico: tato/temperatura) dentro do limite do tolerável. Os grãos foram colocados na água para transferência de calor. Os grãos / pellets mudaram da cor branca para transparente quando atingiu a temperatura de fusão (controle organoléptico pela visão (figura 40b)

2 ETAPA - Homogeneização - Para a formação de uma única massa fundida, foi usando uma colher para aproximar os grãos e aglutina-los até que se tornaram uma única massa (controle organoléptico- tato - pressão mecânica) .

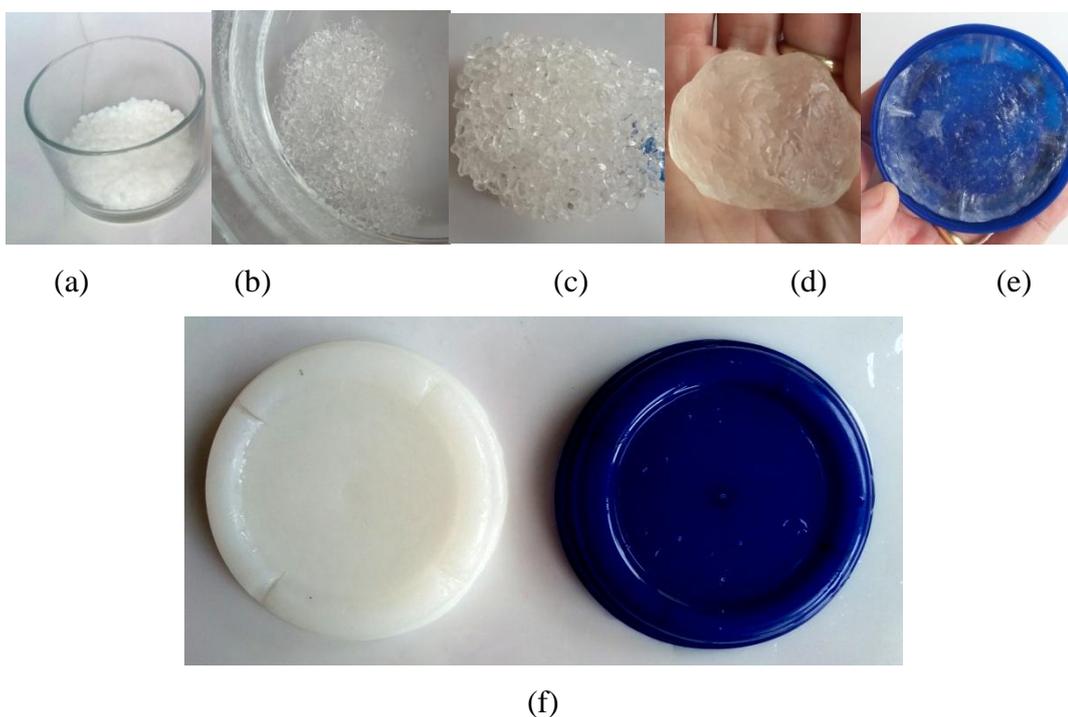
3 ETAPA - Conformação- Usando uma colher ou espátula, a massa polimérica foi retirada para conformação. O polímero tem uma capacidade térmica menor que da água, e por isso permitiu que fosse manipulada diretamente com as mãos sem o risco de queimaduras ou sensação desagradável de calor excessivo (controle organoléptico: tato-temperatura e pressão). A massa apresentava uma consistência similar a uma argila mais dura, e conforme esfriava se tornava mais difícil de ser conformada. (Figura 40c e 40d)

4 ETAPA- Moldagem- Usando as mãos, uma quantidade de massa de polímero foi comprimida contra o molde de forma a distribuí-la igualmente (controle organoléptico- tato e visão), foi necessário uma baixa pressão de conformação.

5 ETAPA - Resfriamento- Depois de verificada a adequada conformação (controle organoléptico de qualidade-visão-tato) , a mesma foi deixada para resfriar até ficar branca (controle organoléptico- visão) (fig. 40e e 40f)

O polímero frio apresentava textura lisa que se assemelha a materiais muito hidrofóbicos como as ceras e parafinas sem cheiro (Avaliação organoléptica de qualidade-visão, tato, olfato).

Figura 40-Peça de PCL sendo moldada



Fonte: O autor, 2018.

4.3.3.1 Reciclagem

Para a reciclagem da peça, bastou colocar a mesma em água a 65 graus Celsius e aguardar ficar transparente (figura 41), repetindo o processo a partir da **2 ETAPA** (controle de processo -visão) .

Figura 41- Reciclagem de peça em PCL



Fonte: O autor, 2018.

4.3.3.2 Testes com PCL fundido combinado ao material de reforço

A matriz foi fundida e manualmente misturada ao granulado de fibras de piaçava.

1º ETAPA: PCL foi fundido conforme o procedimento do teste 1.

2º ETAPA: Mistura matriz fibra - Controle de processo adotado- Avaliação sensorial, sentidos usados- Visão e tato. O PCL fundido é uma massa consistente e a adesão de material particulado ou fibroso vegetal foi de difícil aderência. Foi necessário abrir a massa com um rolo para que fosse possível a máxima absorção de piaçava picada. O processo constituiu em abrir a massa, e polvilhar a piaçava e sovar para homogeneização por várias vezes. Sempre que a temperatura baixava na matriz, ou a consistência da massa aumentava a massa compósita era reaquecida em água.

3º ETAPA: Conformação do compósito- Usando o mesmo molde do teste 1 , a massa foi colocada com mais dificuldade do que com a matriz pura , mas resultou satisfatório do ponto de vista estético (controle organoléptico -avaliação de qualidade -Visão e tato).

Figura 42- Fabricação do Eco-compósito tipo 2 (**poliprolactona- piaçava**) processo por fusão da matriz



Fonte: O autor, 2018.

4.3.3.3 Teste da matriz de PCL solubilizada com os reforços

1º ETAPA: 30 gramas de policaprolactona foram colocadas de molho em 40 ml de acetona em recipiente fechado, de tempos em tempos a solução foi agitada para uma melhor dispersão do solvente com o polímero até sua total dissolução que aconteceu em 72 horas.

Figura 43- PCL sendo dissolvida em acetona



Fonte: O autor, 2018.

2º ETAPA: Mistura matriz fibra - Controle de processo adotado- Avaliação sensorial, sentidos usados- Visão e tato. O PCL dissolvido recebeu a carga de serragem fina gradualmente sendo homogeneizado com o uso de uma espátula até que não absorvesse mais o material. A massa de material compósito resultante estava pastosa e aderente.

3º ETAPA: Conformação do compósito - Usando o mesmo molde do teste 1, a massa foi colocada com facilidade com o uso de uma espátula dentro do molde aberto.(controle de processo organoléptico -Visão e tato).

Figura 44- Sequência de moldagem do Eco-compósito tipo 1 matriz PCL



Fonte: O autor, 2018.

4º ETAPA: Secagem- O molde foi colocado para secar dentro de um recipiente fechado, objetivando uma lenta evaporação e difusão do solvente da massa compósita, a fim de se reduzir a formações de bolhas e outras imperfeições, isso permitiu acelerar os tempos de secagem evitando a secagem prematura da camada mais externa da massa exposta ao ar, que tende a secar antes das anteriores conforme testes preliminares feitos com a dissolução de PS, PSE, PSX, PSAI e ABS.

4.3.3.4 Resultados parciais

A peça fabricada apresentava bom acabamento superficial e resistência mecânica, tendo alcançado uma boa relação de superfície brilho e baixa porosidade que é um indicativo de uma boa proporção entre as partes. A presença de falhas se deveu aos bolsões de ar

gerados na conformação da massa no molde que na forma pastosa era ligeiramente aderente dificultando sua colocação no molde.

4.3.3.5 Teste da matriz coloidal de PCL com reforços

1º ETAPA: PCL foi solubilizado em 50 ml de acetona (controle de processo organoléptico-Visão) o solvente foi adicionado aos poucos até a solubilização total que acontece quando os grãos viram um líquido transparente. O tempo de solubilização foi de 72 horas. Depois foi acrescentando água filtrada aos poucos sempre mexendo a mistura até formar uma massa branca coloidal não aderente. (figura 45)

Figura 45- PCL em estado coloidal



Fonte: O autor, 2018.

2º ETAPA: Mistura matriz fibra - Controle de processo adotado - Avaliação sensorial, sentidos usados - Visão e tato. Ao PCL na forma coloidal foi adicionado o reforço de fibras de piaçava que gradativamente foram adicionadas e sovadas junto à massa até que a mesma não mais a absorvesse. O material resultante ficou fácil de manusear e moldar. (fig. 46)

Figura 46- Compósito PCL- Piaçava em estado coloidal



Fonte: O autor, 2018.

3º ETAPA: Conformação do compósito - Usando o mesmo molde do teste 1 , a massa foi colocada com facilidade dentro do molde aberto fazendo uso de baixa pressão de conformação. (controle de processo organoléptico-Visão e tato) (Figura 47).

Figura 47-Sequência de conformação em molde aberto do coloide de PCL e piaçava



Fonte: O autor, 2018.

4º ETAPA: Secagem- O molde com a massa foi colocado para secar fora de um recipiente fechado, objetivando verificar a ação de retardo na evaporação provocado pelo anti-solvente e verificar a formações de bolhas e outras imperfeições decorrentes disso.

4.3.3.6 Resultados Parciais

A peça teve uma evaporação rápida em menos de 5 horas. Foi removida do molde já na primeira hora por apresentar rigidez suficiente, sendo deixada para finalizar a secagem fora do molde. Apresentava bom acabamento superficial e resistência mecânica, tendo alcançado uma boa relação de superfície brilho e porosidade que foi um indicativo de uma boa proporção entre as partes. Os defeitos encontrados na superfície foram resultado da precoce retirada do molde não apresentando defeito por bolhas de solvente

Na figura abaixo podemos ver da esquerda para a direita, o protótipo do teste 1, 3 e 2. Eco-compósito de PCL com carga de serragem de madeira e reforço de piaçava picada.

Figura 48-Amostras de diferentes processos de fabricação do Eco-compósito com matriz de PCL



Fonte: O autor, 2018.

4.3.3.7 Discussão dos resultados parciais

No primeiro teste com PCL fundido, a proporção máxima obtida entre a matriz e o reforço foi de 30 gramas de PCL para 3 gramas de reforço de piaçava. A pouca miscibilidade entre as partes foi decorrente da alta viscosidade da matriz associado a baixa molhabilidade das fibras de reforço. O que normalmente se faz para reduzir esse problema é melhorar a interface fibra matriz através de agentes de acoplamento ou tratamentos de maceração das fibras, mas isso não resolveria o problema de viscosidade alta do polímero em estado fundente que foi o principal limitador na obtenção de uma maior proporção entre o material de reforço no compósito nas baixas pressões de conformação manual.

No segundo teste método 1 e 2, com PCL dissolvido, a proporção máxima obtida entre reforço e matriz foi de 4:3, ou seja 30 gramas de PCL dissolvido, seja na forma coloidal seja na forma de pasta, absorveram 40 gramas de piaçava picada, e com carga de serragem foi na proporção de 1:1. A melhora da proporção matriz / cargas, aconteceu em função da redução da viscosidade da matriz que estava total ou parcialmente dissolvida, e na melhora da molhabilidade das fibras. A presença do solvente que se combinava tanto a água presente nas fibras de piaçava como na solução permitiu usar a propriedade hidrofílica das fibras celulósicas como auxílio à ancoragem do polímero, servindo para uma melhor difusão do polímero dissolvido. Outro fator que auxiliou para a rápida secagem e evaporação do solvente

no interior da peça, foi o caminho do solvente através da porosidade e capilaridade das fibras usadas no reforço do compósito, servindo de meio facilitador para a evaporação do solvente e do anti-solvente. As peças feitas com massa em estado coloidal que secaram fora de confinamento, secaram mais rápidas que as que secaram na caixa fechada com controle de evaporação. As peças foram identificadas como secas, quando o PCL presente no compósito, ficou mais claro e não escura e com aparência molhada. Outro indicativo da ausência de solvente nas peças podia ser percebido pelo olfato. As peças feitas com serragem fina mudaram de cor do marrom escuro quando úmidas para o marrom claro quando secas. Essas peças feitas pelo método 2, apresentaram alguns buracos decorrentes de bolhas de ar aprisionadas durante a moldagem ou de vapor de solvente. Um encolhimento maior foi detectado na peça feita pelo método 2, provavelmente por que o polímero estava inchado com solvente e anti-solvente em excesso. No container onde foi seca a amostra pelo método 1, foi encontrado no fundo do recipiente acetona condensada indicativo da viabilidade de um processo de secagem com reciclagem do solvente com pouco ou nenhum gasto de energia.

4.4 Processo base Eco-compósito Tipo 3

A primeira parte no preparo do Eco-compósito tipo 3 foi tornar a matriz em uma solução ou coloide para depois ser combinada ao material de reforço ou carga previamente caracterizada e depois colocada em um molde. Com base nos processos de fabricação e testes preliminares feitos com os Eco-compósitos do tipo 1 e 2, podemos afirmar que quanto menos água ou solvente presente como veículo de dissolução da matriz e mais material de reforço, menor é o tempo de secagem e mais difícil sua conformação a baixa pressão com menos encolhimento da peça em relação ao molde.

Depois de secas, além das possibilidades de separação, união e melhoramento, esses Eco-compósitos puderam ser reaproveitados como material quando reduzidos a partículas, sendo usados como carga no caso em que a matriz já havia sido reticulada. Quando forem descartados no ambiente, esses compósitos não representarão um problema ambiental, pois são biodegradáveis e atóxicos.

Foram usadas matrizes de Caseína e de PVAc (cola branca) ou álcool polivinílico. A caseína foi testada preliminarmente de 2 maneiras quanto a fonte (extração direta do leite ou do caseinato em pó) e quanto ao estado físico (solução ou coloide). Depois foram feitos testes de fabricação dos compósitos com essas opções, sempre usando a fabricação de porta copos como parâmetro de comparação:

- Primeiro teste preliminar- extração da caseína do leite. Foi utilizado o polímero puro retirado do leite desnatado na forma de um coloide, que foi moldado manualmente com uso de um molde aberto.
- Segundo teste preliminar- obtenção de uma solução e um coloide do caseinato de cálcio. O polímero na forma de caseinato de cálcio foi hidratado e solubilizado em solução de água e bórax. Depois foi testado em moldagem como solução e como coloide.

Fabricação do compósito:

- Teste 1, Fabricação com matriz coloidal misturada ao reforço formando uma massa que foi conformada manualmente para dentro do molde aberto.

- Teste 2, Fabricação com matriz solubilizada misturado ao reforço na forma de partículas formando uma pasta que foi conformada no molde aberto com uso de uma espátula.
- Teste 3, a caseína na forma de solução foi combinada a um reforço na forma de manta/nãotecido e foi combinada a um feixe de fibras contínuas de piaçava.

A matriz de PVAc foi testada preliminarmente com duas fontes (cola PVA e álcool polivinílico) quando combinados ao material de reforço foram testados duas alternativas, a adição do reforço antes de ser reticulado e depois de ser reticulado com bórax em solução. Ambas as formas foram moldadas manualmente em fôrmas abertas para confecção de porta copos.

4.4.1 Preparação dos materiais usados no reforço

1º ETAPA caracterização: Para o material de reforço na forma particulada, foi usada serragem retirada do resíduo da máquina de desengrosso sem peneiramento (serragem irregular) e com uso de peneira de cozinha número 18 que chamamos serragem fina. A piaçava foi primeiro seca em estufa a 150 graus por 30 minutos e depois picotada em moinho de faca com uso da peneira de 5 mm. Para o teste de fabricação do compósito com reforço de fibras contínuas, foram testadas as mantas de curauá (fibras contínuas multidirecionais) com espessura de 3 mm e também a piaçava na forma de feixes (fibras contínuas na forma unidirecional).

2º ETAPA Preparação: Tanto a serragem como a piaçava picada, foi separada por volume ou peso ou sendo misturadas à matriz até sua saturação.

4.4.2 Preparação do compósito com matriz de caseína

4.4.2.1- 1 ° Teste preliminar - Extração da caseína do leite

1° ETAPA - Obtenção da caseína - A caseína foi obtida a partir do leite desnatado através da reação do leite com ácidos fracos como o ácido acético ou ácido cítrico. Para cada 1000 ml foi usado 100 ml de sumo de limão (ácido cítrico) e depois 15 gramas de bicarbonato de sódio (Figura 49). Melhor temperatura de reação acontece a 40 graus célsius. Rendimento de 26 gramas de caseína por litro de leite desnatado.

Figura 49 - Material usado para obtenção de caseína do leite



Fonte: O autor, 2018.

2° ETAPA- Preparo - O leite foi aquecido até a temperatura aproximada de 40 graus célsius (quente para as mãos, mas não queima).

3° ETAPA - Reação de precipitação -Foi adicionada o ácido (sumo de limão, vinagre, ácido acético glacial (7,0 ml de ácido acético glacial em 50,0 ml de água) etc.) lentamente mexendo com uma colher. O ideal foi mexer o mínimo necessário, só o suficiente para dispersar o ácido no leite. Aos poucos o leite foi coagulando com a formação de pequenas partículas em suspensão que é a caseína, nesse momento foi interrompido a adição de ácido. A solução foi deixada parada pelo maior tempo possível, no mínimo 1h, com isso a caseína formou uma massa coesa que precipitou no fundo do recipiente, indicativo de que foi criado o maior número de ligações entre as micelas de caseína (Fig. 50).

Figura 50- Reação de precipitação da caseína do leite



Fonte: O autor, 2018.

4º ETAPA- Filtragem - Usando um tecido ou coador (trama de 20 mesh), o leite coagulado foi filtrado para separar a caseína do soro (Fig. 51). Foi deixado escorrer o máximo de soro e em seguida a massa retida foi espremida para retirar o soro restante, sendo removida a caseína do tecido ou tela com auxílio de uma colher para raspar. Nessa etapa foi possível usar a massa sovada para conformar uma peça de caseína.

Figura 51- Filtragem da caseína



Fonte: O autor, 2018.

5º ETAPA-(opcional) Purificação - Para melhora das qualidades estéticas e estruturais do polímero de caseína, é necessária a retirada de impurezas através de lavagens. Em geral se utiliza de um misturador como um liquidificador ou *Mixer*, em que a massa de caseína junto com etanol é agitada e depois lavada com água quente. Nesse processo obtém-se uma máxima dispersão do polímero para facilitar a retirada de impurezas que poderão ser vistas no álcool, e na água usadas na lavagem, tendo como resultado final uma caseína de cor mais branca, veja figura a seguir.

Figura 52-Purificação da caseína



Fonte: O autor, 2018.

6º ETAPA - Neutralização da acidez e melhora do comprimento da macromolécula de caseína. - Na etapa 4 a caseína já poderia ser moldada, mas como queremos misturá-la ao material de reforço é recomendável usar substâncias que ajudem a neutralizar algum ácido residual e a solubilizar a caseína. Para isso, se fez uso de substâncias alcalinas como cal virgem, hidróxido de sódio, bicarbonato de amônio, potassa, bicarbonato de sódio ou bórax.

Com o uso de bicarbonato de sódio, basta adicionar aproximadamente 15 gramas para corrigir o PH e tornar a caseína um melhor adesivo. Para isso é adicionado um pouco de água, cerca de 50 ml e em seguida o bicarbonato pode ser polvilhado sobre a massa de caseína, mexendo bem a massa e sovando para uma boa homogeneização (fig. 53).

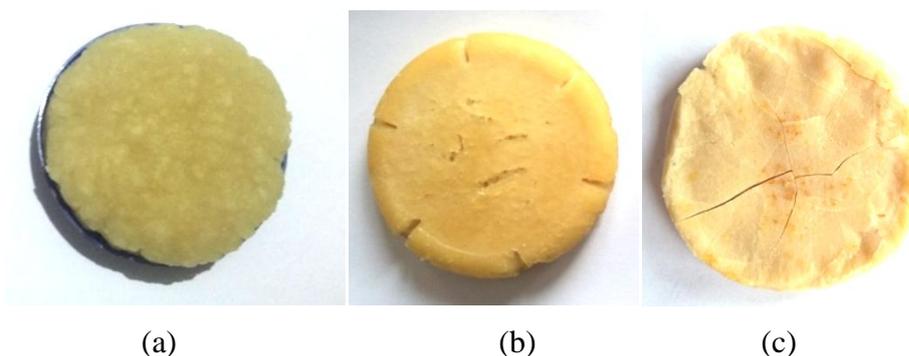
O bórax (tetraborato de sódio ou borato de sódio) é previamente dissolvido com um pouco de água quente. O uso de bórax ajuda não só a solubilizar o polímero, mas torna o material menos suscetível a putrefação e ataque por fungos. Sempre sovando a massa para obter a melhor homogeneização possível e bom entrelace das micelas de caseína. Ao final, a massa resultante se assemelhou a uma massa de modelar (coloide) e pôde ser conformado manualmente dentro de um molde e depois de seca foi removida do molde (fig. 54) apresentando alteração de cor e surgimento de trincas.

Figura 53- Sequência na adição de bicarbonato de sódio à caseína úmida.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 54- Conformação e secagem da caseína pura



Legenda:

(a) Matriz de caseína retirada diretamente do leite e moldada.

(b) Matriz de caseína após secagem de 2 semanas.

(c) Matriz de caseína após secagem de 2 meses , aparecimento de trincas.

Fonte: O autor, 2018.

4.4.2.2. 2º Teste preliminar- Preparação de caseína a partir do caseinato de cálcio

1º ETAPA - Hidratação do caseinato de cálcio: O caseinato deve ser hidratado antes de ser solubilizado por uma solução de base fraca (alcalina). Foram usados 40 gramas de caseinato para 125 ml de água filtrada fria. Como a quantidade de água é o mínimo para a hidratação, em um primeiro instante se forma uma pasta, que depois de deixada fechada em um pote se torna semelhante a uma gelatina após 12horas.

2º ETAPA- Solubilização em meio alcalino: O caseinato previamente hidratado recebeu aos poucos a uma solução de bórax dissolvido em 125 ml de água morna que depois foi agitada em um mixer ou liquidificador na menor velocidade, e depois deixado descansar por no mínimo de 2 horas.

3º ETAPA- Plastificante: Para melhorar as propriedades mecânicas gerais tanto da caseína pura seca como dos compósitos que a formam, o acréscimo de um pouco de agente plastificante como a glicerina, evita a formação de trincas por ressecamento, sendo que a quantidade de glicerina tornará a caseína mais ou menos flexível.

4º ETAPA- Adição de corantes: A caseína pode ser pigmentada, um corante fácil de encontrar e usar, são os corantes alimentares. Eles devem ser adicionados quando a caseína está em solução, ou no leite antes de ser precipitado. Na peça moldada de caseína pura com corante alimentar azul (Fig. 55), conforme a peça secou, a cor mudou de azul claro para o azul escuro.

Figura 55-Caseína pigmentada com corante alimentar azul.



Fonte: O autor, 2018.

5º ETAPA- Tornar a solução em coloide: para transformar a solução de caseína em um coloide, basta adicionar aos poucos mais caseinato em pó e misturar até formar uma massa moldável.

4.4.2.3 Teste preliminar 1- Conformação de piaçava com matriz coloidal de caseína

Conformação do compósito de piaçava com matriz coloidal de caseína extraída do leite e compósito de serragem fina com matriz coloidal de caseína obtido de caseinato de cálcio

1º compósito -Mistura da matriz com o reforço- Foi usado 50 gramas de piaçava picada para a quantidade de caseína obtida (cerca de 26 gramas/litro de leite). Foi usado um recipiente maior para que fosse possível adicionar o material de reforço e sovar a massa manualmente

(para grandes quantidades é recomendável o uso de uma amassadeira). Depois que a mesma ficou bem homogeneizada foi levado para a conformação (Fig. 56).

Figura 56- Mistura caseína extraída do leite com piaçava picada



Fonte: O autor, 2018.

2º compósito- A caseína foi preparada conforme o segundo teste preliminar onde se usou o caseinato de cálcio como base para obtenção da matriz coloidal, adicionado à serragem fina (Fig. 57)

Figura 57 - Peça compósita com matriz de caseína coloidal e serragem fina



Fonte: O autor, 2018.

4.4.2.4 Teste preliminar 2 conformação- Compósito de serragem fina com matriz de caseína solubilizada

1º ETAPA -Mistura da matriz com o reforço- Foi usado a caseína preparada segundo o teste preliminar 2. A matriz solubilizada foi misturada ao reforço na forma de partículas na

proporção de 1:1 formando uma pasta que foi conformada no molde aberto com uso de uma espátula (Fig. 58).

Figura 58- Peça em compósito com matriz solubilizada de caseína e serragem fina

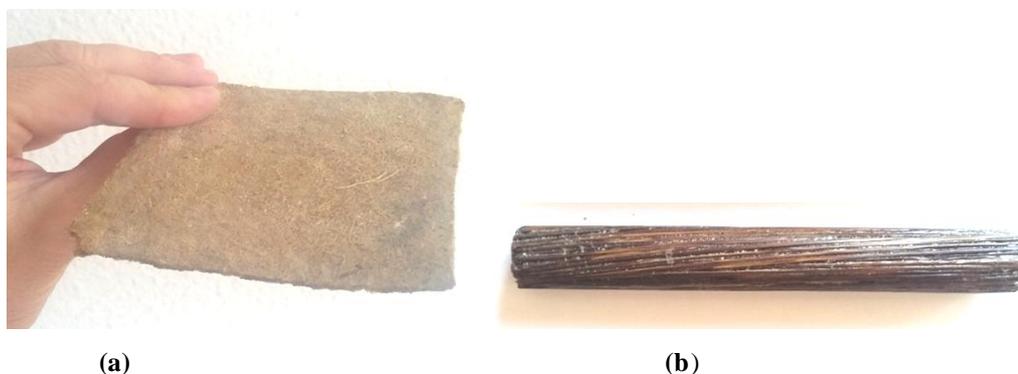


Fonte: O autor, 2018.

4.4.2.5 Teste preliminar 3 Conformação -Compósito de matriz de caseína solubilizada com mantas e feixes contínuos de fibras por conformação

1º ETAPA -Mistura da matriz com o reforço- Foi usada a caseína preparada segundo o teste preliminar 2. O reforço na forma de manta (Fig. 59a) ou feixes (Fig. 59b) foi molhado com a matriz solubilizada até a quantidade necessária a uma boa homogeneização.

Figura 59 - Eco-compósito tipo 3 reforço com manta e com fibras contínuas.



Legenda:

(a) Matriz de caseína em solução com manta de curauá, chapa rígida.

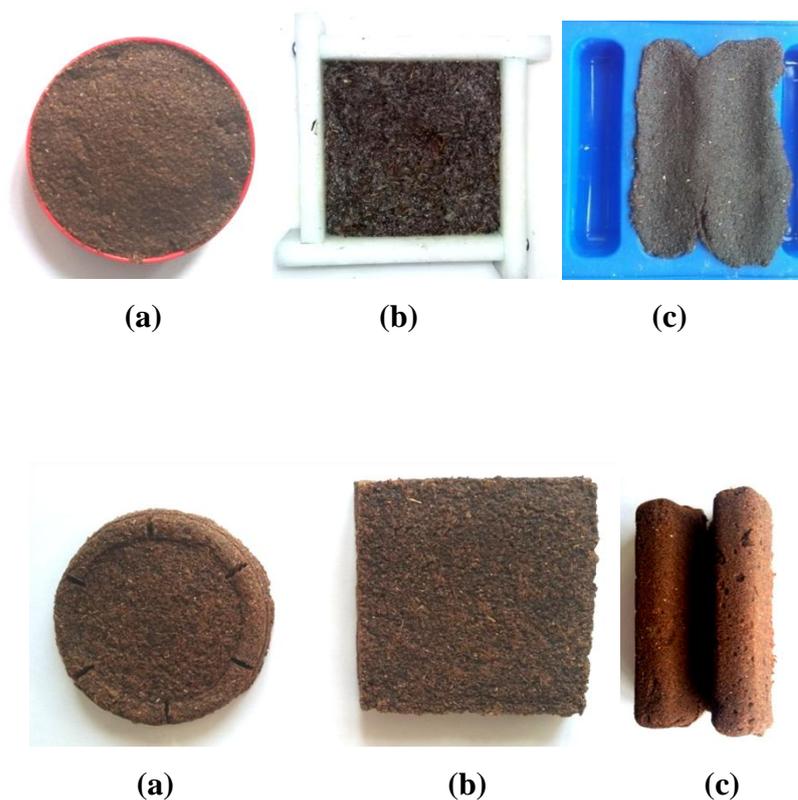
(b) Matriz de caseína em solução com piaçava na forma de fibras contínuas, barra redonda rígida.

Fonte: O autor, 2018.

Conformação- A massa de caseína e o reforço puderam ser facilmente conformados em moldes abertos. O tamanho e forma do material de reforço deram a precisão como a qual a fôrma foi copiada, assim como a quantidade de água na massa a contração ou encolhimento na fôrma. Foram usados moldes em PP e silicone (Fig. 60).

Secagem- Foi feita uma secagem natural, com um tempo de secagem de 1 a 3 semanas, dependente da espessura da peça. Em uma estufa para desidratar, a peça secou em algumas horas. Em ambos os processos devem ser observados que as faces de maior superfície devem ser expostas de forma homogenia, caso contrário empenos e distorções acontecerão.

Figura 60- Moldagens da caseína coloidal com piaçava e serragem fina



Legenda:

(a) Molde tampa de pote de requeijão em PP.

(b) Molde feito de barras de PP sem fundo.

(c) Molde de silicone

Fonte: O autor, 2018.

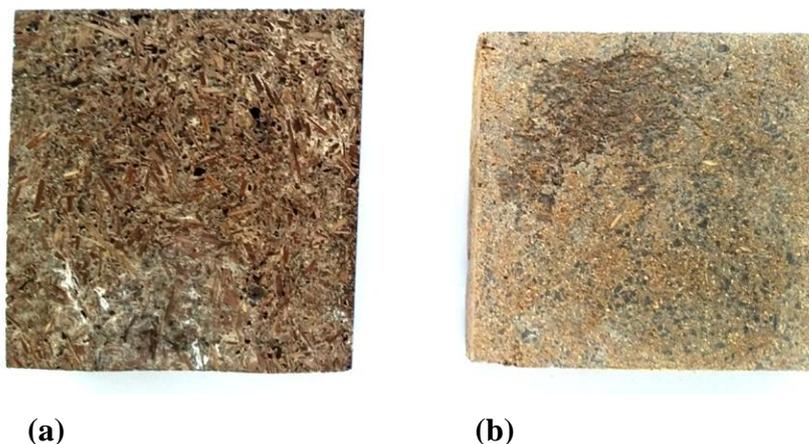
4.4.2.5.1 Testes de separação e união

Depois de seca a peça foi facilmente cortada, podendo ser unida com uso de cola de caseína, ou por sistemas de fixação mecânicos como pregos e parafusos.

4.4.2.5.2 Testes de melhoramentos

As peças podem ser lixadas e polidas facilmente (Figura 61). Caso se queiram peças com maior longevidade e resistência mecânica assim como estabilidade físico-química, é possível mergulhá-las em formalina (30% de formol em água destilada) durante um período de 72h, depois retirar e deixar secar fora por mais 72 horas. Esse procedimento fará com que a caseína se torne galalite que é um polímero de grande resistência.

Figura 61 - Peças lixadas e polidas de caseína e piaçava e caseína e serragem



Legenda:

(a) Matriz de caseína com reforço de piaçava picada 5 mm.

(b) Matriz de caseína com carga de serragem fina.

Fonte: O autor, 2018.

4.4.2.6 Resultados parciais

As peças com matriz com menor proporção de água e maior quantidade de material de reforço, tiveram menor contração e tempo de secagem mais curta, formando peças rígidas. A qualidade da superfície tanto foi melhor quanto menor as cargas usadas em relação aos detalhes a serem copiados do molde. As amostras que usaram reforço de mantas ou de fibras contínuas na forma de feixes puderam ser mais bem conformadas com a caseína em solução tendo uma secagem rápida facilitada pela permeabilidade e capilaridade das fibras constituintes. O reforço de maior granulometria, ou de fibras contínuas, formou compósitos com menos contração da peça com maior resistência mecânica tendo usado menos material da matriz. (relação superfície volume)

4.4.3 Preparação de compósitos com matriz de PVAc

Foram duas as fontes para a matriz PVAc, cola branca e álcool polivinílico. Foram testados dois métodos para a formação do compósito. No primeiro método a adição das cargas de reforço ocorreram antes da formação do coloide de PVAc por reticulação e no segundo método a adição de cargas ou reforços ocorreram depois da formação do coloide.

A cola PVA (cola branca), assim como o álcool polivinílico, pode ser combinada ao agente de reticulação (bórax dissolvido em água) formando um coloide.

No caso da cola PVA, o coloide formado tem cor branca e com o álcool polivinílico transparente (Figura abaixo).

Figura 62- Matriz PVAc base cola branca (PVA) e base álcool polivinílico



Fonte: O autor, 2018.

4.4.3.1. 1º Teste-Reforço adicionado antes da reticulação

A adição do reforço antes da reticulação permite uma ótima hominização entre a matriz e o material de reforço. No entanto dificulta a avaliação das proporções ideais entre as partes o que pode ocasionar excesso ou falta de material de reforço. Na figura 63, podemos ver o compósito ainda em estado coloidal feitos com cola PVA e com álcool polivinílico e fibras picotadas de piaçava.

Figura 63-Massa compósita coloidal em matriz PVA e de álcool polivinílico



(a)

(b)

Legenda:

(a) - Matriz coloidal obtido da cola PVA com reforço de piaçava

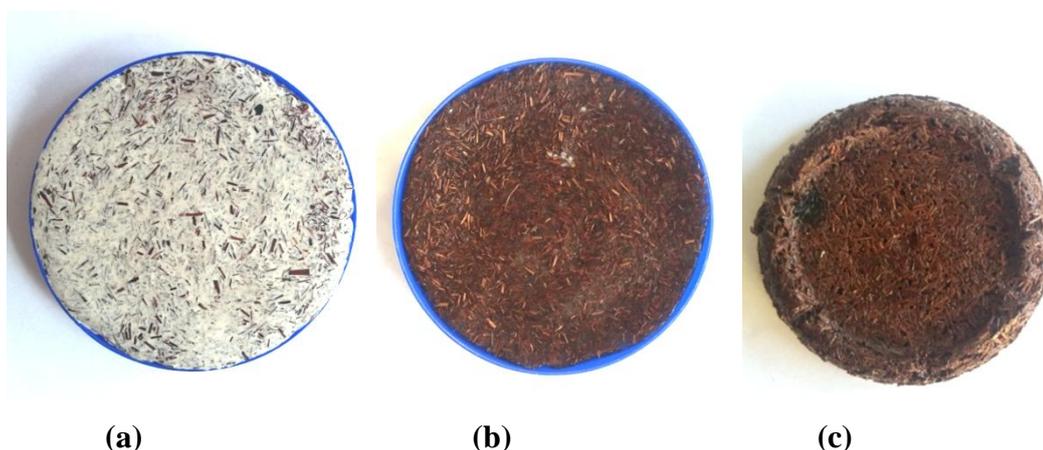
(b) - Matriz coloidal obtido do álcool polivinílico com reforço de piaçava.

Fonte: O autor, 2018.

A conformação nas fôrmas de PP foi fácil sem uso de pressões altas. Foi percebido que o material compósito com base na matriz de cola branca (PVA) conforme secava se tornava transparente e ao final da secagem, só a piaçava ficava visível (Figura 63). O material

compósito com base em álcool polivinílico apresentava brilho e transparência com visualização das cargas de reforço, no entanto sofreu muita contração durante a secagem no molde e ficou friável. (figura 64 c)

Figura 64- Conformação das peças em Eco-compósito de PVAc e piaçava picada



Legenda:

- (a) - Conformação com matriz coloidal com base em cola PVA
- (b) - Conformação com matriz coloidal com base em álcool polivinílico
- (c) - Peça compósita obtida com matriz coloidal de álcool polivinílico

Fonte: O autor, 2018.

4.4.3.2. 2º Teste - Reforço adicionado depois da reticulação

A adição do reforço depois da reticulação permite uma homogeneização mais difícil entre a matriz e o material de reforço. No entanto auxilia na avaliação das proporções ideais entre as partes evitando excessos ou faltas do material de reforço. Na figura 65, podemos ver o compósito de matriz PVAc ainda em estado coloidal com reforço de serragem fina conformado em uma tampa de requeijão para formar um porta copo.

Figura 65- Conformação serragem fina e matriz coloidal de PVAc



Legenda:

- (a) - Massa coloidal de PVAc e serragem fina
- (b) - Conformação da massa coloidal no molde de PP
- (c) - Peça compósita de PVAc e serragem fina

Fonte: O autor, 2018.

4.4.3.3-Resultados parciais

Nos testes acima notamos que o uso de matriz de PVAc com base em cola branca PVA teve menos problemas com contração da peça no molde que com o álcool polivinílico, apresentando uma melhor resistência mecânica.

A adição de cargas/reforço antes da reticulação do polímero melhora a homogeneização do compósito desde que a adição do reforço, principalmente do tipo particulado fino, não transforme a solução da matriz em uma pasta que significará um excesso de carga. Esse excesso levará a formação uma peça porosa, quebradiça e sem brilho (figura 66). Para colorir o polímero de PVAc bastou adicionar pequenas quantidades de corante alimentar, e para melhora da flexibilidade bastou um pequeno acréscimo de plastificante como glicerina.(Fig. 67). Testes com cargas de material cerâmico foram feitos usando talco, com bons resultados. (Fig. 68)

Figura 66- Problemas na proporção matriz reforço.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 67- PVAc e celulose em pó com corante alimentar, e PVAc com sisal



Fonte: O autor, 2018.

Figura 68- PVAc e carga de talco em diferentes concentrações.



Fonte: O autor, 2018.

4.5 Processo base Eco-compósito Tipo 4

A primeira parte no preparo do Eco-compósito tipo 4 foi tornar a matriz em uma solução ou coloide para depois ser combinada ao material de reforço ou carga previamente caracterizada e depois colocada em um molde. Com base nos processos de fabricação e testes preliminares feitos com os Eco-compósitos do tipo 1, 2 e 3, podemos afirmar que quanto menos solvente presente como veículo de dissolução da matriz e mais material de reforço, menor será o tempo de secagem com menor contração da peça moldada, no entanto isso pode levar a uma maior dificuldade de conformação o que eleva a pressão de conformação.

Depois de secas, além das possibilidades de separação, união e melhoramento, esses Eco-compósitos puderam ter seus resíduos ou produtos resultantes reaproveitados como matéria-prima quando reduzidos a partículas, sejam para confecção de partes menores em outros produtos. Quando na forma particulada podia ser conformado a quente pelos tradicionais processos de reciclagem ou por solubilização parcial ou total conforme o produto a ser fabricado. Esses compósitos não devem ser descartados no meio ambiente uma vez que sua matriz não é biodegradável apesar de atóxica.

Foram usadas como matrizes os seguintes polímeros: PS, PSE, PSX, PSAl, ABS e acetato de celulose e policaprolactona. Estes foram caracterizados e dissolvidos tanto com solventes puros, como com uso de anti-solventes. Os solventes e misturas com anti-solventes utilizadas foram: limoneno, acetato de etila, acetona e tolueno. As misturas comerciais usadas foram: gasolina comum e Redutor de tintas Thinner 2002. Misturas criadas com base em referencial teórico e testes: 75% limoneno 25 % Etanol, 75% acetona 25% etanol, 75% acetato de etila 25% etanol, 75% Tolueno 25% etanol.

Nos testes preliminares, testamos solventes puros para formar soluções com os polímeros e depois foram feitos testes com solventes e anti-solventes seguido dos testes de fabricação dos compósitos aplicados a produtos pequenos como porta copos como parâmetro de comparação e depois escalados para peças maiores como bancos:

- Primeiro teste preliminar, se relacionou as formas de dissolução dos polímeros puros e a conformação e secagem dos mesmos em moldagem manual e com uso de moldes abertos.
- Segundo teste preliminar, se relacionou a mistura de cargas e reforços aos polímeros dissolvidos de diferentes fôrmas, verificação da influência das diferentes proporções em

relação ao estado de solvência do polímero com as diferentes caracterizações das cargas e reforços e sua moldabilidade, secagem e contrações no molde.

Questões sobre a fabricação do compósito

Foram avaliados diferentes processos de fabricação como conformação, separação, união e melhoramento, sendo que é na fase de conformação que existe a criação propriamente da mistura compósita.

Existe uma proporção ideal para cada polímero com cada solvente, mas em termos gerais uma proporção de 1:1 de massa em gramas de polímero em relação ao volume em ml funciona com a maioria dos solventes e polímeros (exemplo para 30g de PS bastam 30 ml de limoneno). O tempo de dissolução é uma razão entre superfície de contato com o solvente e a temperatura. Depois de 20 horas teremos o polímero completamente dissolvido na forma de uma solução viscosa cuja transparência será dependente da cor ou transparência do polímero original usado. A adição de mais solvente ao polímero pode acelerar a dissolução, sendo que o excedente de solvente deixa a solução final menos viscosa e mais fluídica. No entanto assim como de forma análoga ao que acontece com a resina de poliéster termofixa, esta quando recebe a adição de monômero de estireno, uma maior quantidade de solventes implica em mais contração nas peças moldadas e tempos mais longos de evaporação do solvente.

Os solventes em geral são muito voláteis, mas a velocidade de volatilização é dependente da superfície exposta à evaporação, temperatura e pressão. Moldes abertos permitem maior área de evaporação e conseqüente rapidez na secagem. Foi verificado nos experimentos, que em geral a superfície mais externa seca antes das subseqüentes, e essa por sua vez dificultam a evaporação do soluto como um todo. O ideal é secar com auxílio de vácuo em um processo semelhante à destilação, assim é possível a recuperação do solvente.

A Sony testou com sucesso um sistema de reciclagem de PSE, onde um caminhão coletava o PSE e o dissolvia com limoneno reduzindo muito seu volume para transporte. Em uma estação de coleta, o PSE dissolvido era separado do limoneno por um processo de secagem com vácuo com recuperação de 97% do solvente.

Peças de maior espessura levam mais tempo para secar, e solventes muito voláteis tendem a gerar bolhas e prejudicar o acabamento das peças secas em moldes abertos na fase de conformação, seja do polímero puro seja do compósito em estado plástico. Uma maneira auxiliar a saída de solvente de dentro do polímero é , ou criando pequenos furos para facilitar a saída do solvente no molde, ou pelo acréscimo de fibras ou partículas com capacidade de capilaridade e permeabilidade ao solvente. Ou seja, a combinação de polímeros em solução

com fibras ou partículas permeáveis ao solvente se tornam uma alternativa de dupla vantagem, pois melhoram o processo de reciclagem por dissolução e melhoram as características físicas químicas e mecânicas do material agora compósito.

A maior fluidez obtida pela total solubilização do polímero é útil para melhorar a adesão da matriz polímero/ fibras de reforço, permitindo aderência tanto as rugosidades como as porosidades das fibras e a fácil capilaridade ou infusão no compósito.

O próprio polímero dissolvido pode ser usado para formar colas, tintas e vernizes. (ver trabalhos 1 e 2), sendo que o controle da viscosidade acontece pela adição ou não de mais solvente, assim como a adição de outros não solventes e cargas, que podem ajudar a retardar a rápida evaporação que poderia formar bolhas na superfície de tintas e vernizes , ou melhorar a adesão em colagens seja do polímero puro seja dos compósitos formados com ele.

4.5.1 Testes preliminares com o material da matriz

O polímero mais fácil e rápido de se dissolver completamente são as versões expandidas na forma de espuma como o PSE (Isopor) e PSX (isopor de alta densidade) seguidas dos plásticos rígidos na forma de partículas. As espumas permitem uma fácil infiltração do solvente por entre os espaços aerados das células de PSE, a superfície de contato é grande e as paredes de PS finas. Bastando para isso apenas aspergir o solvente sobre os blocos de PSE ou mergulhar pedaços dele em um recipiente contendo o solvente. (Fig. 69)

Figura 69- Dissolução do PSE



Legenda:

(a) - Bloco de PSE sendo dissolvido em toluol (b) - PSE totalmente dissolvido em toluol.

Fonte: O autor, 2018.

Apesar de ser possível a dissolução total de um polímero (Figura 69(b)), dependendo da peça/ produto que se pretenda obter, uma dissolução parcial do polímero poderá ser suficiente a uma boa conformação, a superfície das partículas de polímero, se solubilizam facilmente a ponto de se unirem uma as outras. Esse procedimento pode reduzir muito a quantidade de solventes necessárias para a obtenção de uma peça e pode gerar resultados estéticos interessantes como no teste feito com aparas de PSAI onde grãos de diferentes formas, cores e tamanhos, formam um mosaico. (Figura 70)

Nessa técnica, quanto maior forem as aparas/partículas de polímero, menos quantidade de solvente será necessária, no entanto esses grãos maiores de polímero levam a uma perda de qualidade no acabamento das superfícies das peças moldadas. Quanto menor forem os pedaços de polímero, mais solvente se usa e melhor será o acabamento a uma baixa pressão de conformação. Com o uso de media e alta pressão é possível se obter uma melhora no acabamento final mesmo em peças formadas com grão maiores e pouco solvente ou pela redução na velocidade de evaporação do solvente colocando a peça sob confinamento em atmosfera de vapor de solvente.

Figura 70- Peça em PSAI moldada por dissolução parcial dos grãos.



Fonte: O autor, 2018.

Sempre que possível, é recomendável que a peça seque fora do molde uma vez que esteja já minimamente conformado mantendo sua forma. Esse procedimento aumenta a área de volatilização e facilita a difusão do solvente para fora da peça, mas isso só é possível de ser feito em peças que são solubilizadas com solventes e anti-solventes, ou com uso de solventes de baixa volatilidade como o limoneno. No caso de uso de solventes mais voláteis é recomendável à secagem das peças em ambiente confinado para manter uma atmosfera de secagem com vapor de solvente, isso impede a secagem prematura da superfície por onde ocorre a evaporação do solvente melhorando os tempos de secagem e acabamento da peça.

Depois que os grãos se unem pelo solvente, enquanto a peça não está completamente seca, é possível retirá-la do molde com cuidado e cortá-la facilmente com estiletes e tesouras, pois nessa fase a peça ainda está muito dúctil (figura -71).

Uma nova conformação é fácil nesse estado de transição entre o plástico e o rígido, com pouco esforço é possível dobrar a peça que poderá ser deixada para secar em sua nova forma em gabaritos ou novas fôrmas sob pressão.

Figura 71- Separação e conformação em estado semi- seco



Legenda:

(a) - Amostra sendo cortada em estado semi-seco

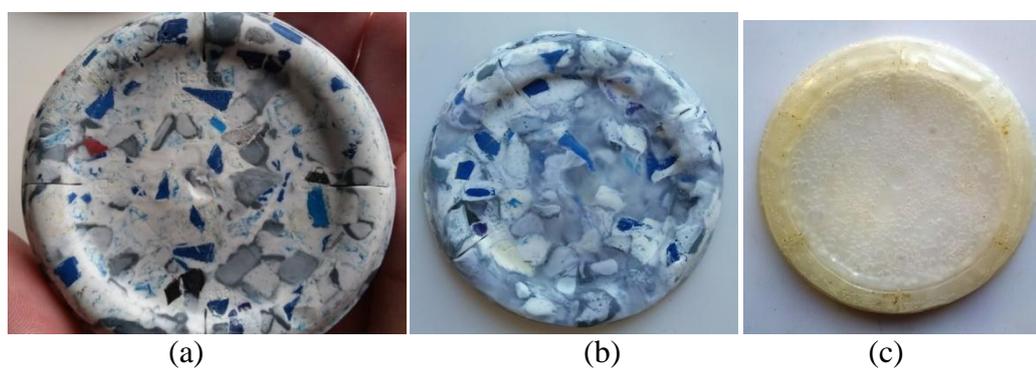
(b) - Amostra dobrada em estado semi-seco

Fonte: O autor, 2018.

Protótipos de porta copos feitos com o uso de molde de PP (tampa de requeijão), matriz PSAI picotado reciclado e PS cristal foram feitos objetivando verificar diferenças na solubilização e conformação desses polímeros. A peça do teste com pedaços grandes de PSAI precisou de pouco solvente, só o suficiente para molhar os pedaços para evitar a formação de bolhas, a secagem aconteceu dentro de um pote fechado a fim de se obter a secagem uniforme e boa difusão do solvente para fora do molde. Durante esse processo foi observado a condensação do solvente no fundo e em volta do molde onde se encontrava a amostra.

A amostra que continha PSAI e PS cristal apresentaram deformações onde havia PS cristal, pois esse se solubilizou mais que o PSAI. No teste de secagem fora do pote fechado, foi claro ver a grande incidência de bolhas criadas pela prisão ocasionada pela rápida secagem da superfície ou defeitos conhecidos como *Blushing* quando utilizados com solventes mais voláteis como a acetona, figura a seguir.

Figura 72-Testes PSAI, PSAI com PS cristal, PS cristal, solvente acetato de etila.



Legenda:

- (a) - Peça de PSAI solubilizado e seca em confinamento
- (b) - Peça de PSAI e PS cristal solubilizado e seco em confinamento.
- (c) - Peça em PS Cristal solubilizada e seca fora de confinamento

Fonte: O autor, 2018.

Uso de solventes puros e de solventes misturados a não solventes foram apresentados nos testes com matriz de PCL, e os mesmos resultados foram obtidos com os demais polímeros como na imagem a seguir:

Figura 73- Dissolução de PSE por solvente e anti-solvente e por solvente puro



Fonte: O autor, 2018.

O uso de um não solvente junto com um solvente faz com que o polímero se torne um material coloidal branco que se assemelha em textura e trabalhabilidade a de uma massa de modelar ou argila, sendo pouco aderentes as mãos ou luvas assim como outros objetos, isso acontece, pois parte do solvente se combinou a parte do polímero e outra parte se ligou ao não solvente.

Já na forma dissolvida do polímero com um solvente puro, o material se assemelha a uma resina transparente, líquida, viscosa e aderente, cuja viscosidade é dependente da interação do tipo de solvente e o polímero. Um exemplo de polímero que pode ficar muito viscoso mesmo dissolvido completamente é o acetato de celulose em acetona, sua dissolução resulta em um estado gelatinoso de difícil trabalhabilidade. Com uso de toluol se melhoram essas características o que possibilita usos combinado com anti-solventes.

Os melhores resultados para a criação de compósitos com o AC dissolvido em acetona foram obtidos ao se misturar a seco o acetato de celulose na forma de granulado fino com serragem ou fibras vegetais picadas, de forma a se obter uma mistura seca homogenia. Depois de colocar o granulado misto no molde é que se dissolveu o polímero molhando a mistura, deixando o molde dentro de um recipiente fechado para obtenção de um tempo adequado de solubilização. Com isso, o solvente pode dissolver o polímero que se ligou a carga de reforço que o cercava. A massa depois foi pressionada contra o molde para retirada de bolhas de ar e melhor contato fibra matriz na conformação, conforme a próxima figura:

Figura74- Conformação de acetato de celulose com serragem grossa de madeira.



Fonte: O autor, 2018.

4.5.2 Teste comparativo matriz coloidal e solubilizada reforço tipo partícula

A seguir, vemos que a adição de serragem de madeira (material de reforço) na massa coloidal é feita por solvatação com o encapsulamento e absorção por parte da massa coloidal do reforço de partículas de madeira. O processo se assemelha a fabricação de pão, onde se sova a massa acrescentando farinha até se obter uma massa homogenia e não aderente.

A proporção certa entre polímero e serragem é determinada pela capacidade máxima do coloide polimérico de absorver as partículas de madeira e ocorre de forma empírica pelo

uso de avaliação organoléptica (COSTA; MEDEIROS, 2017). Por esse método, é possível se obter a máxima saturação de reforço na matriz, independente de seu tamanho e forma podendo ser usados partículas, fibras e cavacos de diferentes tamanhos e geometrias. Esse método possibilita moldagem da forma tanto livre por moldagem manual como pelo uso de fôrmas ou moldes.

O que determina a qualidade final de superfície é o tamanho do material de reforço (quanto menor maior o nível de detalhe e lisura de superfície) e quanto mais longo e fino as fibras ou superfícies de contato das superfícies de reforço, tanto maior será a resistência mecânica. Na figura seguinte vemos a diferença entre a mistura de polímero dissolvido com uso de solvente e anti-solvente e a de polímero dissolvido com uso de solvente puro combinados a serragem fina de madeira.

Figura 75 - Comparação Eco-compósito tipo 4 em diferentes solubilizações



Legenda:

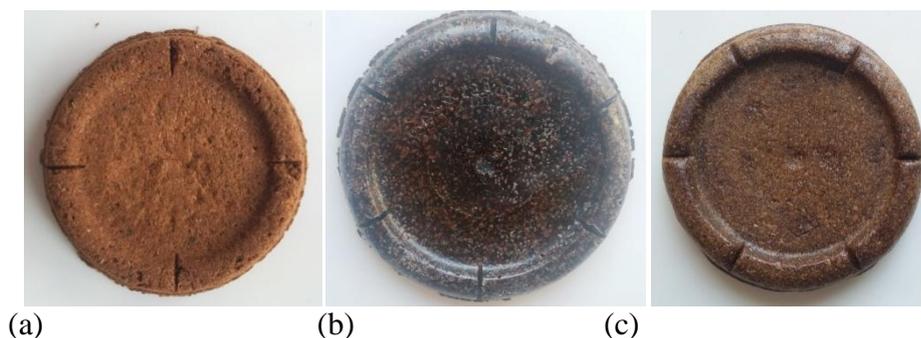
- (a) - PSE dissolvido com mistura solvente e anti-solvente misturado a serragem fina
- (b) - PSE totalmente dissolvido misturado a serragem fina.

Fonte: O autor, 2018.

Na formação de compósitos pelo uso do polímero dissolvido na forma líquida, uma falta ou excesso de reforço pode levar a seguintes situações extremas:

- Muito material de reforço e pouco polímero (Figura 76 (a)) peças foscas e de baixa resistência mecânica.
- Muito material de matriz sem reforço (Figura 76 (b)) tempo de secagem longo e superfície brilhosa com bolhas e resistência do compósito semelhante ao da matriz, mas com comprometimento em função da ocorrência de bolhas.
- Compósito com proporção entre matriz e reforço equilibrada, bom acabamento e boa resistência mecânica (melhor dos dois mundos).

Figura 76- Proporções diferentes em compósitos com solventes puros



Legenda:

(a) - Muito material de reforço, poros.

(b) - Muito material da matriz, brilhoso.

(c) - Equilíbrio entre matriz e reforço, semi-brilho.

Fonte: O autor, 2018.

Outros testes feitos com diferentes materiais de reforço com uso de matriz de PSE dissolvido em solvente e anti-solvente. Reforços usados, piaçava picada, serragem grossa e sisal picado. Figura abaixo

Figura 77- Porta copos de PS com piaçava, serragem grossa e sisal.



Fonte: O autor, 2018.

4.5.3 Teste comparativo matriz coloidal e solubilizada reforço tipo fibra contínua

Uma situação especial acontece na fabricação de compósitos com uso de fibras contínuas alinhadas em um mesmo sentido na forma de feixes uni e bi direcionais como em barras, tarugos e chapas (Figura 78 a, b), ou fibras contínuas multidirecionais usados como reforço, como em mantas e feltros também chamados não tecidos. (Figura 78).

A matriz na forma coloidal obtida pela solubilização da mistura de solventes e anti-solventes se presta muito bem para conformar uma mistura compósita com particulados pequenos, médios e até grandes, mas com uso de reforços de fibras na forma contínuas, seja

ela unidirecional como em feixes, seja multidirecional como em mantas, os melhores resultados são obtidos com o uso da matriz formando uma solução.

Quando as fibras são flexíveis e finas como sisal (Figura 79 (a)) e curauá (Figura 79 (b)), existe uma facilidade maior de conformação e é até possível usar a matriz polimérica em estado coloidal, desde que se faça uso de maiores pressões de conformação. No entanto quando se trata de usar fibras mais rígidas e de maior espessura como a piaçava alguns problemas foram encontrados. Para se obter um feixe contínuo como uma barra redonda, foi encontrado dificuldade no processo de fabricação, pois manter as fibras de diferentes geometrias o mais próximo possível exigia uma força de coesão uniforme.

Como as fibras de piaçava são irregulares em sua secção ao longo de seu comprimento, os melhores resultados foram obtidos amarrando o feixe previamente embebido na solução polimérica de forma a manter sua coesão durante a secagem em um gabarito de pré-forma. Outra possibilidade testada foi colocar as fibras dentro de um tubo flexível e por vácuo puxar a solução polimérica para dentro do feixe ou usar a capilaridade para isso. Ambas funcionaram apresentando vantagens e desvantagens. Para obtenção de chapas e tarugos os problemas se apresentam mais difíceis de resolver criando muitas falhas de preenchimento do material da matriz ou do reforço (Figura 78 b), um melhor resultado foi obtido usando a técnica dos feixes amarrados e emparelha-los lado a lado dentro de uma fôrma para a obtenção de uma superfície fazendo uso de pressão na parte aberta do molde para forçar a acomodação dos feixes à forma ortogonal até sua secagem.

Figura 78 - Eco-compósito tipo 4 fibras contínuas unidirecionais de Piaçava



Legenda:

(a) - Tarugo de compósito de piaçava contínua unidirecional com PS

(b) - Chapa de compósito de piaçava contínua unidirecional com PS

Fonte: O autor, 2018.

Figura-79-Eco-compósito tipo 4 fibras contínuas multidirecionais sisal e curauá.



Legenda:

(a) - Chapa de não tecido de sisal e PS

(b) - Não tecido de curauá e PS conformado sobre molde de PP

Fonte: O autor, 2018.

4.5.4 Testes com processo de fabricação por Separação

Existem varias formas de se separar ou cortar um material, alguns geram resíduos sólidos no processo como as serras e outros vapores como o laser. As facas ou laminas permitem cortes sem geração de resíduos ou com pouco resíduo.

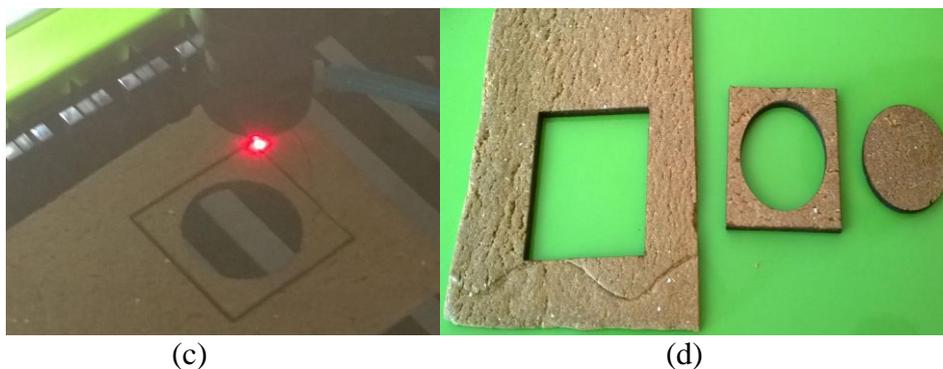
4.5.4.1 Corte com serra circular, serra de fita e corte a laser.

O compósito tanto de PS com fibras como os com particulados, apresentaram corte precisos sem geração de poeira em suspensão. Isso acontece, pois a abrasão criada pela velocidade de corte contribui para que o elemento da matriz se funda, aderindo às partículas quentes que se juntavam a outras partículas criando um precipitado que depois podia ser colhido facilmente e reciclado na etapa de conformação. No corte com laser, pouca ou nenhuma presença de fumaça ou cheiro, sem falhas na zona de corte (Fig. 80).

Figura 80 - Testes de separação por corte (continua)



Figura 80 - Testes de separação por corte (conclusão)



Legenda:

- (a) - Corte com serra circular compósito PS- piaçava
- (b) - Corte com serra de fita compósito PS- serragem grossa
- (c) - Corte com Laser compósito PS- serragem fina
- (d) - Resultado do corte com laser das amostras compósito de PS- serragem fina

Fonte: O autor, 2018.

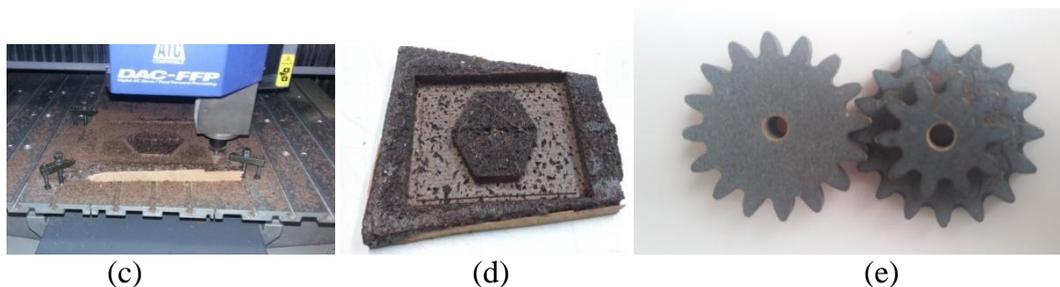
4.5.4.2 Desbaste com desengrosso, plaina elétrica e fresa CNC

A superfície pôde ser retificada, mas sem os benefícios da abrasão dos sistemas de corte contínuos de outras máquinas deixando à mostra a superfície contendo os vazios deixados pelo solvente dentro do compósito, figura abaixo. Na usinagem por fresa CNC os melhores resultados foram obtidos nos compósitos com cargas de partículas finas de madeira e MDF (Figura 81(e)). Os resíduos puderam ser colhidos e reciclados novamente.

Figura 81 - Testes de separação por desbaste (continua)



Figura 81 - Testes de separação por desbaste (conclusão)



Legenda:

- (a) - Uso do desengrosso em uma peça de Eco-compósito de PS e piaçava
- (b) - Uso de desempenadeira em uma peça de Eco-compósito de PS -Serragem grossa
- (c) - Uso de fresa CNC em uma peça de Eco-compósito de PS- piaçava
- (d) - Peça fresada em PS-Piaçava
- (e) - Peça fresada em PS- serragem fina de madeira

Fonte: O autor, 2018.

4.5.5 Testes processo de fabricação por união

Foram testados para esse compósito apenas união por colagem, apesar do mesmo se mostrar viável para fixações mecânicas como encaixes ou pelo uso de pregos e parafusos.

4.5.5.1 Colagem

As peças puderam ser facilmente coladas usando tanto o mesmo polímero usado na matriz do compósito (colagem homogênea), como com um polímero diferente (colagem heterogênea) desde que o solvente usado fosse o mesmo que solubilizasse a matriz do compósito. O polímero foi dissolvido ou por um solvente puro ou com o uso de um solvente com anti-solvente. Bastou aplicar uma demão em cada lado a ser unido e manter pressionado até a evaporação do solvente, veja figura abaixo.

Figura 82-Teste de união por colagem



Fonte: O autor, 2018.

4.5.6 Testes processo de fabricação melhoramento

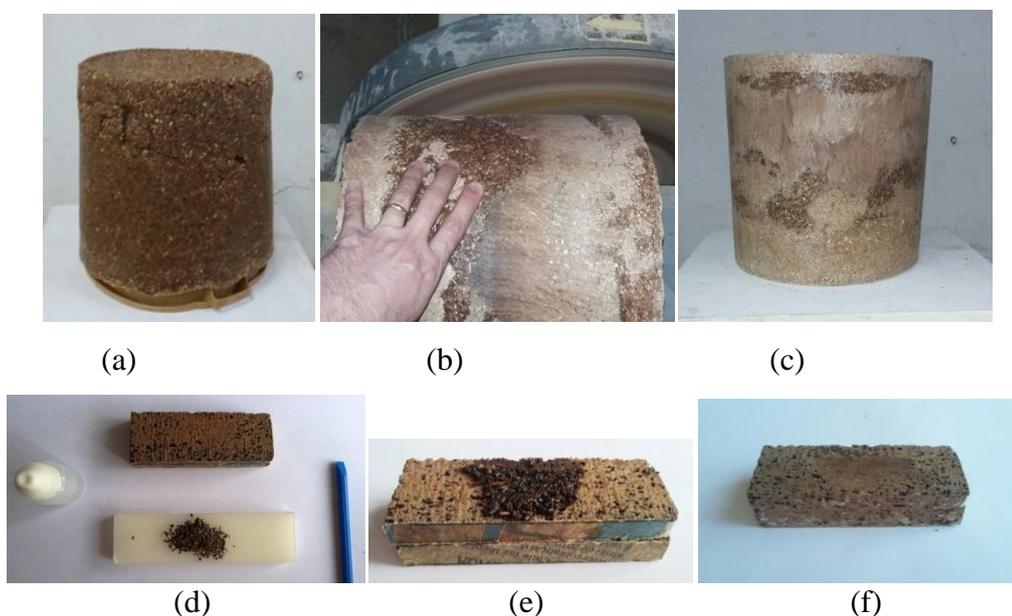
Foi testado o desbaste com uso de lixadeira elétrica de cinta ou disco, o polimento com disco macio de algodão e a correção de imperfeições com o uso de massa feita do próprio compósito.

4.5.6.1 Abrasão por lixa

A abrasão melhora a superfície da peça, mas pode gerar entupimento da lixa em compósitos com proporção alta de matriz em relação ao reforço. Dependendo do sentido e da rotação da lixa, efeitos de cor e textura podem ser criados. (Figura 81-(a,b, c))

Caso haja muitas imperfeições na superfície do material, basta fazer uma pasta ou massa com o resíduo do desbaste com um pouco de solvente (figura 83-(d, e, f)) e depois de seco, caso seja necessário lixar novamente. Depois de ser lixado progressivamente, pode ser facilmente polido sem necessidade de ceras.

Figura 83-Teste de melhoramento por abrasão



Legenda:

- (a) - Peça seca com defeitos e rugosidades decorrente do uso de serragem grossa como reforço
- (b) - Peça sendo lixada em lixadeira de disco
- (c) - Peça pronta lixada
- (d) - Processo para criação de massa de preenchimento
- (e) - Massa aplicada ao local de preenchimento
- (f) - Peça que recebeu massa de preenchimento devidamente lixada

Fonte: O autor, 2018.

4.5.6.2 Polimento

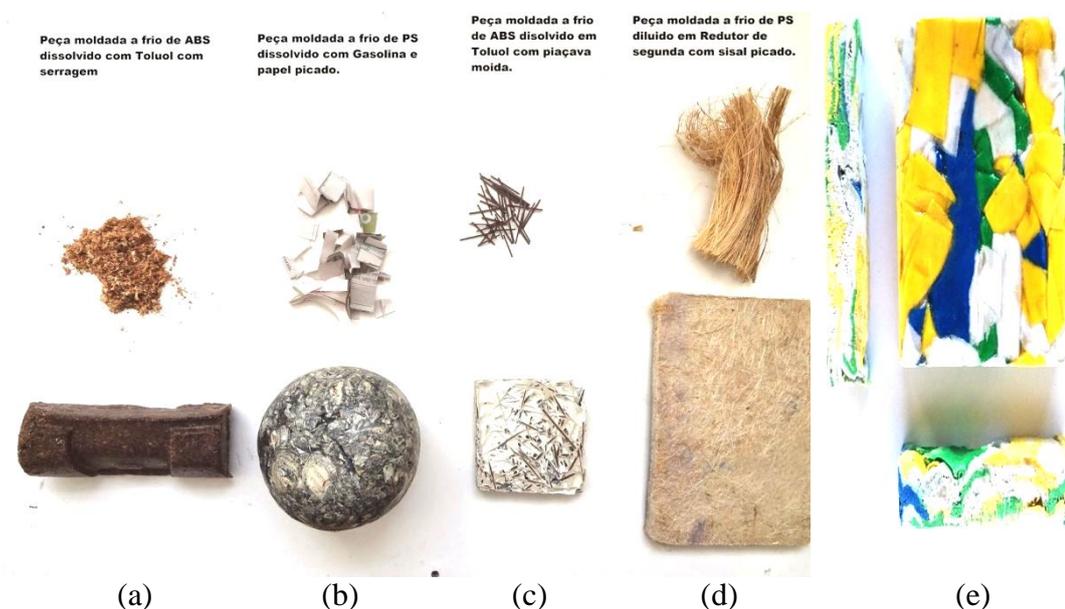
Dependendo do tamanho de partícula usada como carga no compósito, bastará para melhorar o acabamento da peça um simples polimento (figura 84), por vezes sem necessidade do uso de ceras. Para as outras situações de compósitos com reforços de particulados maiores, antes do polimento foi feita a etapa anterior de abrasão com uma ou mais lixas de grãos diferentes.

Figura- 84-Teste de melhoramento polimento



Fonte: O autor, 2018.

Figura 85-Panorama das matrizes, solventes e reforços usados no Eco-compósito 4



Legenda:

- (a) - Peça moldada em fôrma, feita de ABS picotado dissolvido em toluol misturado com serragem fina.
- (b) - Peça moldada manualmente, feita de PSE dissolvido em gasolina misturado a papel jornal picado.
- (c) - Peça moldada em fôrma, de PSAl granulado dissolvido em toluol misturado a piaçava picada de 15 mm
- (d) - Chapa de PSE dissolvido em *Thinner* que foi prensado contra um nãotecido de sisal
- (e) - Amostra de PSE dissolvido em acetato de etila e misturado a retalhos de tecido de algodão colorido

Fonte: O autor, 2018.

4.5.7 Testes na fabricação de protótipos

Na fabricação de protótipos foram feitos vários experimentos visando avaliar as possibilidades de conformação do Eco-compósito sem adicionar outras etapas ao processo. Foram testados desde pequenos produtos até produtos de maior dimensão como bancos e vasos para plantas

4.5.7.1 Testes na Conformação de pequenos objetos

Na fabricação de protótipos foram feitos vários experimentos visando avaliar as possibilidades de conformação do Eco-compósito sem adicionar outras etapas ao processo. Foram realizados testes com os seguintes possibilidades de conformação: conformação manual ou a mão livre (Figura 86 (a),(b),(c)), conformação com molde aberto (Figura 86 (d), (e), (f)), conformação com molde bipartido (figuras 86 (g), (h), (i), (j),(k), (l)) e conformação com molde em várias partes (Figura 86 (m)).

Figura 86- Testes produção de protótipos por conformação (continua)

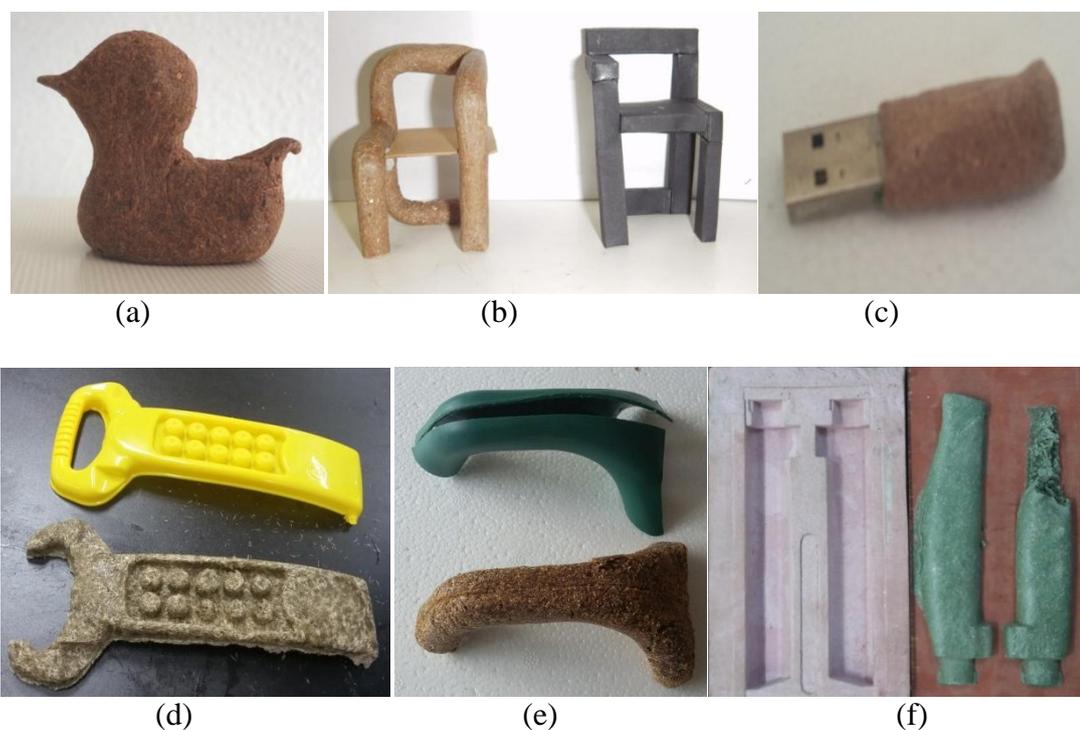
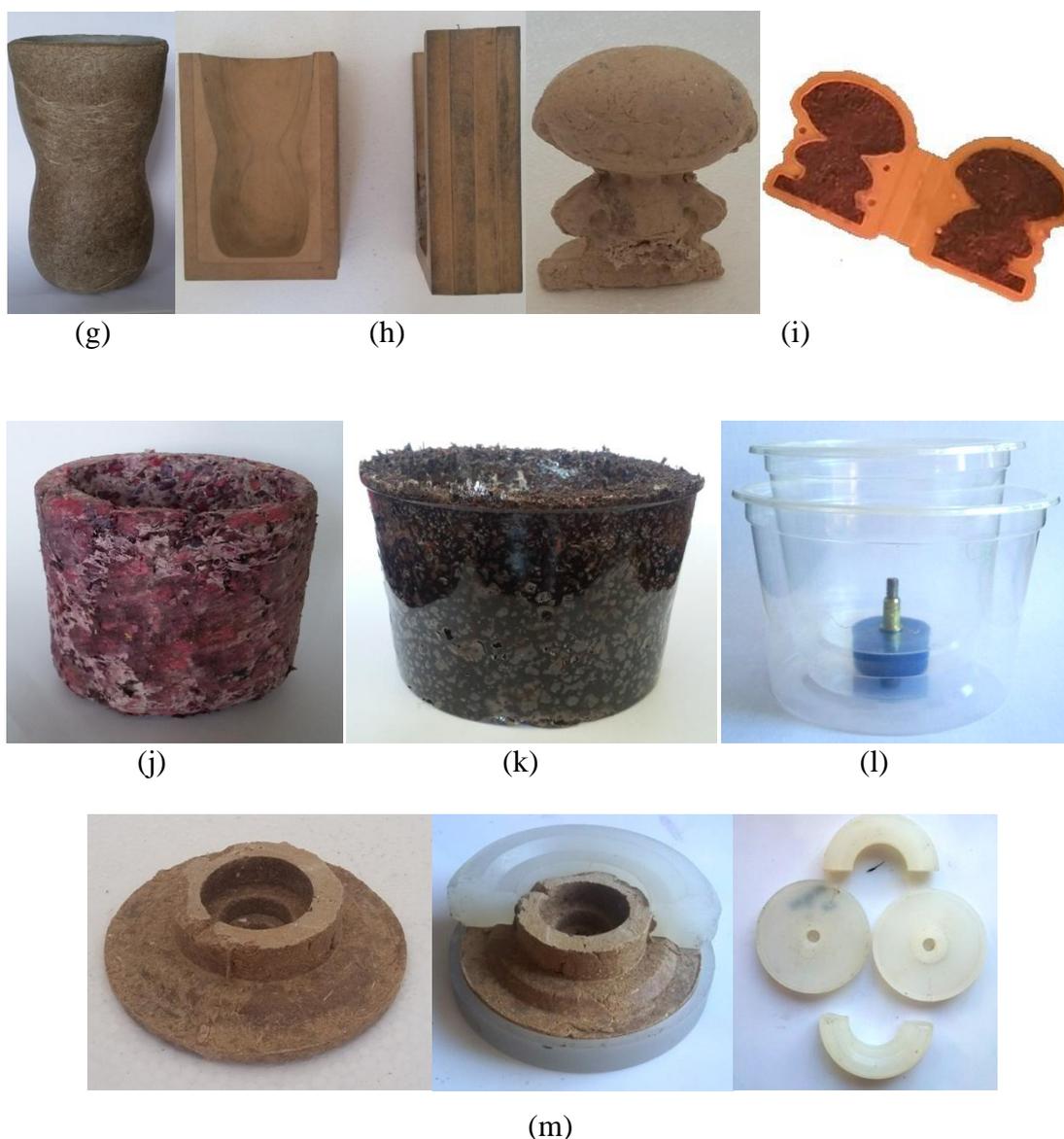


Figura 86- Testes produção de protótipos por conformação (conclusão)



Legenda:

- (a) - Conformação a mão livre- Escultura pato PS- serragem fina
- (b) - Conformação manual com uso de superfícies planas-Modelo reduzido mobiliário PS- serragem fina
- (c) - Conformação manual sobre estrutura- *Pendrive* PS- serragem fina
- (d) - Conformação molde aberto-Molde em PP peça PS - sisal
- (e) - Conformação molde aberto-Molde em PEAD reaproveitado alça de garrafão em PS - serragem fina
- (f) - Conformação molde aberto-Molde em silicone peça em PS pigmentado e serragem fina
- (g) - Conformação molde fechado bipartido-Cálice em PS - serragem fina
- (h) - Conformação molde fechado-Molde fresado em MDF
- (i) - Conformação molde fechado- Peça personagem Júpiter PS- serragem fina, molde de massinha de modelar em PP.
- (j) - Conformação molde fechado com abertura - Peça vaso em PS-papel reciclado colorido
- (k) - Conformação molde fechado com abertura - Peça vaso em PS-piçava
- (l) - Conformação molde fechado com abertura - Molde em PP aproveitamento de potes plásticos
- (m)- Conformação molde fechado - Peça técnica em PS- serragem fina, molde em 4 partes em PP

Fonte: O autor, 2018.

4.5.7.2 Testes na fabricação de objetos de maior dimensão

Para a produção de objetos maiores com mais de 1 kg de peso seco, foi utilizado à produção da massa compósita em escala industrial com uso de maquinário adaptado da indústria de panificação para ganho de escala. Um moinho de faca foi usado para a produção e caracterização do material de reforço e para auxílio na reciclagem do material compósito. Com o maquinário foi possível uma produção de 7 kg de massa a cada 30-40 minutos.

O processo base consistiu em fazer uma triagem, preparar e caracterizar o material de reforço e da matriz, dissolver a matriz, acrescentar o material de reforço, misturar e homogeneizar a massa, conformar a massa e secar.

Na primeira etapa de triagem, tanto a matriz de PSE como o material de reforço, eram vistoriados e os contaminantes como adesivos e resíduos estranhos eram removidos antes da pesagem.

Na segunda etapa pesagem- O PSE e o PSX eram pesados em uma balança digital de uso industrial (Figura 87 (a)) o material de reforço seco era pesado antes ou depois da redução do mesmo a partículas.

Na terceira etapa caracterização- A matriz foi dissolvida e o material de reforço picotado em um moinho de faca peneira com 5 mm. A dissolução da matriz pode ocorrer junto com a etapa de mistura do compósito ou em fase anterior durante ou depois da coleta do resíduo pós ou pré-consumo sendo armazenado em bombonas com tampo hermético ou em reservatórios maiores próprios para produtos voláteis.

A caracterização da matriz de PSE e PSX quando dissolvidas na cuba de mistura e homogeneização da amassadeira (Figura 87 (b), (c)) começa pela quebra da matriz em pedaços que entrem na cuba da amassadeira sendo molhados aos poucos com o solvente (5-6 litros de gasolina comum para 3 kg de PS) sendo a máquina ligada na menor velocidade, isso evita criar respingos do solvente para fora da cuba, com o movimento da hélice da amassadeira pedaços grandes de PSE e PSX são quebrados em menores e espalhados no solvente. A máquina era parada toda vez que o PSE era quase totalmente dissolvido liberando espaço para mais material e solvente. Na outra opção testada, o PSE e o PSX eram dissolvidos na coleta dentro de um tambor/ bombona contendo gasolina.

Para a mistura e homogeneização na amassadeira, a matriz dissolvida no tambor era pesada e separada com um peso equivalente a 3 kg de PS mais o peso do solvente. Essa opção tinha como finalidade verificar a possibilidade de coleta do PSE e PSX descartado no lixo

urbano, de forma a reduzir seu volume durante o transporte ao mesmo tempo em que já solubilizava o material da matriz eliminando uma etapa do processo na fase de mistura e homogeneização na amassadeira.

Na quarta etapa mistura e homogeneização- Com a massa da matriz já dissolvida dentro da amassadeira, o material de reforço foi gradativamente acrescentado até que a massa coloidal da matriz não absorvesse mais material e a massa se descolasse das paredes da amassadeira quando atinge o ponto ideal para a conformação. (Figura 87 (d)).

Figura 87 - Caracterização, dissolução, mistura e homogeneização da massa de Eco-compósito com uso de maquinário industrial.



Legenda:

(a) - Caracterização da matriz de PSE e PSX, pesagem em balança digital industrial.

(b) - Dissolução da matriz com uso da amassadeira

(c) - Matriz dissolvida e na forma coloidal

(d) - Mistura e homogeneização, massa coloidal de Eco-compósito de PS- Piaçava na proporção ideal fibra/matriz.

Fonte: O autor, 2018.

Esse teste permitiu desenvolver formulações para as proporções ideais para cada tipo de carga/reforço utilizado com as diferentes matrizes e seus solventes e anti-solventes. Para o estudo inicial foi adotado como mistura de solvente e anti-solvente a gasolina comum mais barata, que desde seu primeiro teste a mais de 2 anos teve sua formulação alterada afetando o tempo e consumo desse insumo nos testes mais recentes.

3 kg de PSE para 3 kg de serragem fina.

3 kg de PSE para 3,5 kg de sisal picado com 5 mm.

3 kg de PSE para 3,5 kg de serragem grossa

3 kg de PSE para 4 kg de piaçava picada com 5 mm

Protótipos-Banco de 3 pernas

Materiais- Pés de madeira com acento de compósito de PS-serragem grossa e PS-Piaçava picada fina uso de peneira 3mm.

Moldes abertos-Balde reaproveitado de 15 litros de capacidade

Figura 88-Protótipo banco tampo Eco-compósito PS-Serragem grossa e PS piaçava fina



Legenda:

(a) - Moldagem do tampo do banco, simultâneo a fixação dos pés de madeira.

(b) - Protótipo do banco pronto

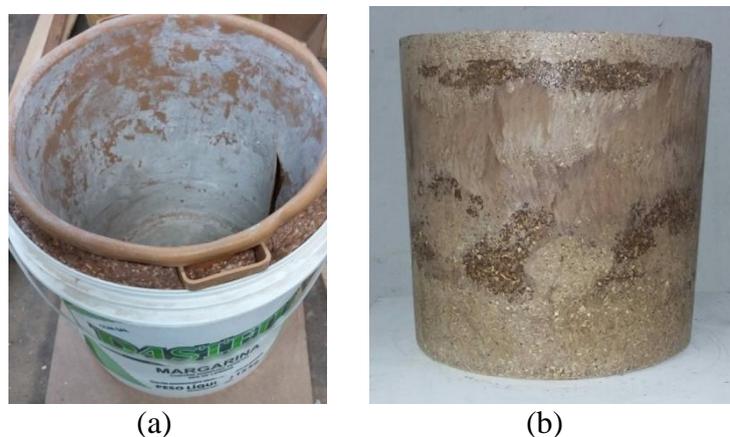
Fonte: O autor, 2018.

Protótipo-Vaso de plantas

Materiais- compósito de PS-serragem grossa

Moldes e contra molde- Balde externo reaproveitado com 15 litros de capacidade, e balde interno usado como contra molde com 10litros de capacidade.

Figura 89- Protótipo vaso de plantas em Eco-compósito PS-Seragem grossa



Legenda:

(a) - Moldes compostos por dois baldes de tamanhos diferentes

(b) - Vaso pronto, com as partes externas lixadas para acabamento.

Fonte: O autor, 2018.

4.6 Processo base Eco-compósito Tipo 5

Diferente dos Eco-compósitos desenvolvidos anteriormente na pesquisa, os Eco-compósito do tipo 5 tratam de materiais que são cultivados mais do que fabricados propriamente. O uso da biotecnologia é comum em áreas como a medicina, biologia e agricultura, no entanto começa a estar presente nas áreas de novos materiais seja como alternativa sustentável aos modernos polímeros seja em alternativa aos tecidos usados na área da moda e vestuário, ou calçadista como alternativa ao couro animal tendo aplicações até mesmo como material de construção.

No âmbito dessa tese optamos por nos aprofundar na produção e aplicação em produtos da celulose bacteriana CB. Como o material abundante e mais usado como reforço em Eco-compósitos se constituem basicamente de celulose e lignocelulose, foi natural a continuidade da pesquisa de Eco-compósitos com materiais biotecnológicos como a celulose produzida por bactérias e fungos. A celulose bacteriana (CB), apesar de mesma fórmula química, é um tipo de celulose com características e propriedades diferentes da celulose vegetal (CV), e despertou interesse em várias áreas de pesquisa COSTA e BIZ (2017), principalmente pela facilidade de produção e a possibilidade de uso em diferentes produtos. Existem diferentes maneiras de se produzir CB, seja com uso de biorreatores por agitação até os métodos caseiros com uso biorreatores estáticos. Até o momento não foi possível escalar os modelos laboratoriais para grandes plantas industriais que permitiriam uma forma mais econômica e sustentável na produção de celulose pura sem as enormes perdas dos sistemas atuais com base na sua extração a partir de árvores que demandam grandes extensões de terra na forma de monocultura como o eucalipto. Aqui apresentamos a produção em planta mínima da celulose a partir da kombucha (bebida probiótica), que é uma técnica de baixa complexidade e custo, facilmente reproduzível em casa sem demandar equipamentos diferentes dos encontrados em uma cozinha. Existem diferentes métodos, mas o processo básico é o mesmo. Nas pesquisas, objetivando apenas a celulose bacteriana e a extração da celulose cristalina, os componentes são em geral reduzidos a uma bactéria, uma levedura, e uma solução ácida contendo uma fonte de açúcar no meio de cultura. Entretanto, nessas condições a colônia fica muito vulnerável a contaminações e merece um nível de assPSEia maior. Como o uso de um S.C.O.B.Y. , que é uma colônia de leveduras e bactérias, os micro-

organismos se protegem mutuamente, minimizando os riscos de contaminação, tornando o sistema mais resiliente.

A vantagem do meio sintético em relação ao complexo/rico é controle de temperatura, controle e monitoramento de processos, facilidade de aplicação de escala e de recuperação e purificação do produto (ZHANG e GREASHAM, apud VIEIRA, 2013). Porém segundo Vieira (2013), o meio de cultivo mais complexo tem custo mais baixo o que aumenta sua viabilidade econômica.

A produção de celulose a partir de kombucha é feita com quatro ingredientes: água, sacarídeo, ácido e S.C.O.B.Y (colônia simbiótica de bactérias e leveduras). O sacarídeo é um açúcar, como glicose, frutose ou glicerol, serve de alimento para os fungos e bactérias. O ácido, normalmente vinagre ou a própria solução ácida resultante da fermentação da kombucha obtida em processo anterior, serve para regular o Ph da cultura no nível ideal para os fungos e bactérias trabalharem e se protegerem de outras bactérias invasoras que podem ser inclusive patogênicas. A kombucha tradicional tem mais um ingrediente que é o chá verde ou chá preto, resultando em uma CB de cor marrom mais clara ou mais escura. Para obter CB com outras cores e transparências usam-se outros ingredientes ou meios de cultura. Abaixo no quadro comparamos a receita de diferentes autores para o meio de cultura e suas condições ideais no cultivo da CB.

Quadro 4- Comparativo entre métodos da produção de CB em biorreatores estáticos

Autor	Líquido fervido	Ácido	Sacarídeo	Chá	Temperatura de cultivo e PH
Suzanne Lee (designer)	1l de água	100ml de vinagre de maçã	100g de açúcar granulado	1 sachê de chá verde	30°C
Ellen Rykkelid (designer)	1l de água	10% de vinagre ou solução fermentada ácida	100g de glucose, frutose ou glicerol (açúcar, frutas, vegetais ou grama)		28°C PH 3
Denise Cristina Moretti Vieira (Dr. em farmácia)	1l água destilada	25% em solução fermentada ácida	9-315g de Sacarose	7g de chá verde	25-30°C PH 3,5-4,5
Denise Cristina Moretti Vieira	1l água destilada		1,7g Abacaxi 100g Sacarose	7g chá verde	25-30°C PH 3,5-4,5
Denise Cristina Moretti Vieira	1l água destilada		500-800ml de suco de mamão 50-330ml de suco de laranja 50-83g de sacarose	7g chá verde	25-30°C PH 3,5-4,5
Denise Cristina Moretti Vieira	1l água destilada		9-75g Suco de Beterraba	7g chá verde	25-30°C PH 3,5-4,5

Fonte: O autor, 2018 com base em Lee, Rykkelid e Vieira.

A receita proposta pela Ellen Rykkelid é uma adaptação da proposta de Suzanne Lee. A principal variação está no uso de outras fontes de sacarídeo, e no meio de cultivo que o S.C.O.B.Y. vai consumir que resultam em variações no tempo de fermentação e nas características da CB, principalmente variando em coloração e transparência além das propriedades mecânicas. Outra diferença acontece com o uso de soluções ácidas como o vinagre, que no caso de Lee, usa vinagre de maçã ou outro, e no caso de Rykkelid, usa a própria kombucha fermentada já ácida da produção anterior. Para Rykkelid (2017), quanto mais ácido o meio, mais rápida a fermentação. Além do vinagre da produção anterior (bebida Konbucha bem curtida) já possuir cultura suficiente para iniciar a fermentação, dispensando o uso de um novo S.C.O.B.Y., outra diferença reside no fato de Ellen Rykkelid não usar chá verde ou outro chá associado à produção de kombucha.

Segundo a pesquisa de Vieira (2013), o chá verde é utilizado, pois se trata de pesquisa na área de farmácia para obtenção do que chamam de biofilme, sendo as propriedades medicinais do chá verde útil e afetam positivamente o crescimento da cultura do S.C.O.B.Y. Além dos estudos de propriedades medicinais do biofilme obtido, na pesquisa de Vieira temos estudos de produtividade e viabilidade econômica das várias formulações de meio de cultivo incluindo o uso de refugo presentes na cadeia produtiva das frutas e legumes.

4.6.1 Testes preliminares com o cultivo do material de reforço

Com base nos métodos apresentados anteriormente, foram feitos os testes de assimilação da técnica de produção da CB, onde foram verificadas as mudanças no cultivo da CB conforme se alterava o meio de cultura como, por exemplo, com relação à fonte de sacarídeos usados no meio de cultivo. Foi adotada a relação de 100 gramas de açúcar para cada litro de água fervida com 7 gramas de chá. Depois de resfriado a mistura, foi adicionada 100 ml de agente acidificante ativo (bebida de kombucha) ou de vinagre com um pedaço de S.C.O.B.Y.

4.6.1.1 Cultivo da CB (celulose bacteriana)

Preparação do meio de cultivo:

1º Etapa - O preparo é semelhante à produção de um chá adoçado: ferver água, fazer a infusão do chá verde ou outro chá apropriado, e adicionar o açúcar.

2º Etapa - Após esfriar a mistura para uma temperatura entre 25-30°, o chá foi coado (no caso de uso de chá a granel) e adicionado ácido (vinagre de maçã) com o S.C.O.B.Y. ou a bebida de kombucha. O recipiente foi coberto com um pano para deixar o oxigênio entrar e os gases como gás carbônico terem liberdade para sair, o material permeável a gases, também evita a entrada de insetos ou outros animais.

A mistura pronta foi colocada em um tanque ou biorreator estático, o mesmo deve ser mantido imóvel em lugar ventilado protegido do sol em temperatura ambiente ideal entre 25-30 graus Celsius. Após 2-3 dias foi possível ver a formação inicial na superfície do líquido de uma fina membrana de CB. Após 2 -3 semanas termos uma membrana mais grossa, cuja espessura dependerá da relação volume superfície (Fig.90).

Dentro do biorreator, a partir desse líquido adoçado, os fungos e bactérias vão produzir álcool, ácido acético, ácido málico, enzimas, ácido glucônico, ácido lático e outros com propriedades probióticas. As leveduras de natureza anaeróbica, quando se reproduzem em excesso produzem muito gás carbônico que pode criar imperfeições na continuidade da CB formada na superfície. As bactérias responsáveis pela produção direta da CB se localizam na superfície uma vez que são aeróbicas.

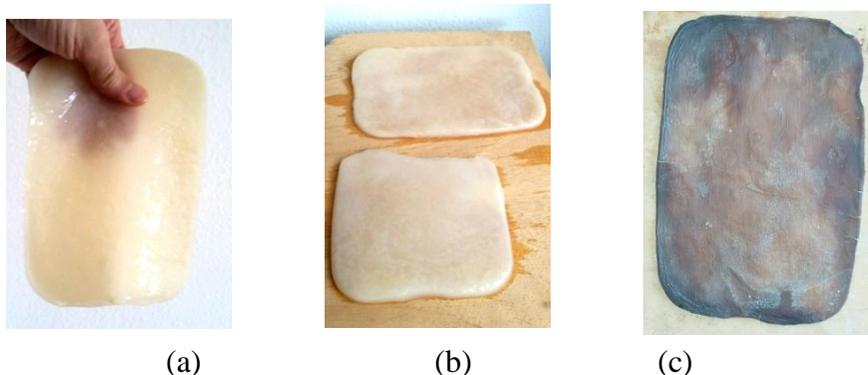
Figura 90 - Cultivo de Kombucha (Biorreator estático)



Fonte: O autor, 2018.

3º Etapa-secagem- Quando essa película chegou a sua máxima espessura, a mesma foi retirada do líquido e lavada gentilmente com água e sabão (Fig.91-a). A CB foi colocada sobre uma superfície plana de madeira para deixar secar (Fig. 91-b). Quando a CB estiver seca, está pronta para ser retirada e usada. (Fig. 91-c). Existem várias formas de se secar a CB, desde esticando-a em um bastidor como se faz com o couro, ou simplesmente deixando secar sobre uma superfície como madeira, tecido ou plástico. O local deve ser bem ventilado a fim de facilitar a evaporação da água da CB.

Figura 91- Retirada da CB do meio de cultivo e posta para secar



Legenda:

(a) - CB retirada do biorreator e lavada com sabão neutro

(b) - CB colocada esticada sobre uma madeira para secar

(c) - CB seca

Fonte: O autor, 2018.

4.6.2 Testes com processo de fabricação por melhoramento

Para se obter texturas lisas é recomendável fazer a secagem sobre superfícies lisas, sempre alisando de tempos em tempos a superfície da celulose gentilmente para obter uma boa conformação. Como a celulose bacteriana é uma nano fibra, ela consegue copiar relevos de décimo de milímetros. Para uma aparência de camurça, basta secar ela sobre uma superfície contendo farinha ou lixa fina. Para se aumentar a espessura de uma folha basta

umedecer as superfícies borrifando água e em seguida juntando e mantendo comprimida até a secagem final.

Uma característica da CB, é que ela é altamente higroscópica, e para que se possa usar a CB como uma alternativa ao tecido ou ao couro em produtos, é recomendável sua impermeabilização. Um tratamento testado foi o uso de cera de carnaúba em pasta, de óleos secativos, impregnação com caseína e PVA com reticulação.

A CB pode ter sua qualidade mecânica e físico-química melhorada através de tratamentos químicos, resultando também em alterações estéticas. Na sua forma purificada permite mais facilmente serem adicionados não só cores como texturas a sua superfície, que podem acontecer tanto em uma etapa anterior ou posterior a secagem da CB. Já foram obtidas em laboratório CB de alta pureza com aparência iridescente.

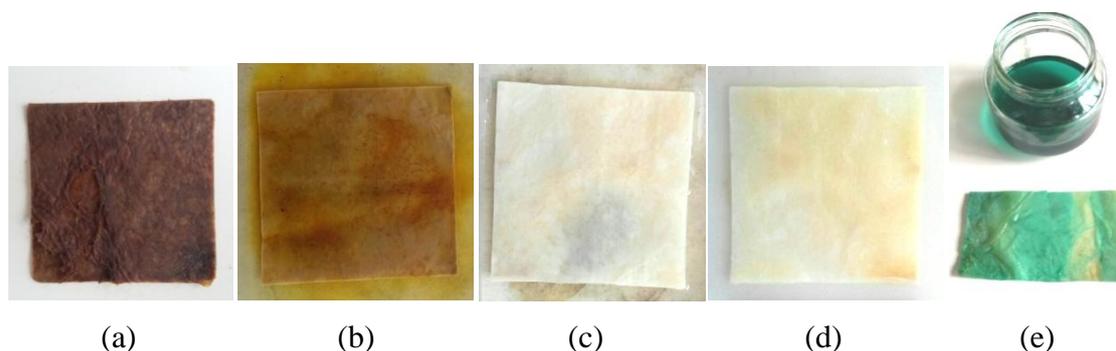
4.6.2.1 Melhoramento por purificação.

Nos testes tivemos resultados melhores quando se purificava a CB depois de seca (Fig.92-a). A CB normalmente tem uma cor natural que varia do rosa claro até o marrom escuro, dependendo do meio de cultivo usado. No tratamento químico usamos primeiro a soda cáustica/ hidróxido de sódio (NaOH)(Fig.-92 b) e depois com água sanitária/ hipoclorito de sódio (NaOCl)(Fig.-c) tal qual se faz com as fibras lignocelulósicas. Foi usado uma concentração 10% de produtos químicos na água, sendo deixado de molho em cada banho por no mínimo 2 horas. Depois a mesma foi lavada com água corrente para retirada dos agentes químicos e neutralizar a celulose que depois foi posta para secar (Fig.92 d).

4.6.2.2 Melhoramento por pigmentação.

Depois do tratamento químico a CB muda de cor, de marrom para branco quase transparente, sendo facilmente pigmentada embebendo ela em corantes ou pigmentos dissolvidos em água antes ou depois de posta para secar. (Fig.92e) .

Figura 92- Purificação e pigmentação da CB



Legenda:

- (a) - CB seca sem tratamento de purificação
- (b) - CB em tratamento químico com Hidróxido de sódio a 10%
- (c) - CB em tratamento químico com hipoclorito de sódio a 10%
- (d) - CB seca após tratamento
- (e) - CB pigmentada com corante alimentar dissolvido em água

Fonte: O autor, 2018.

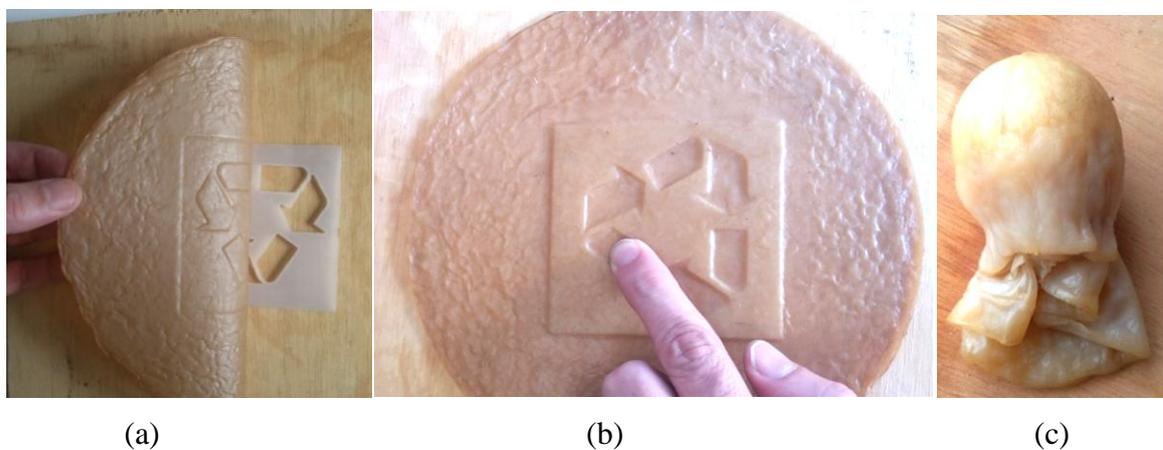
4.6.3 Testes com processo de fabricação por conformação

Como a CB é um organismo vivo, ela cresce e ocupa toda a superfície do líquido, sua forma será resultante do formato do recipiente usado. Sendo assim é possível reduzir a perda de materiais excedentes pré-estabelecendo formas de contorno pelo formato do biorreator.

4.6.3.1 Conformação pós-cultivo

Durante a secagem é possível conformar a celulose no sentido da espessura criando formas de alto e baixo relevo (Fig.93 a e b), assim como formas tridimensionais (Fig.93c), deixando-a secar sobre um molde ou gabarito.

Figura 93- Conformação durante a secagem da CB



Legenda:

(a) - Conformação e relevo com uso de estêncil em PP com 1 mm de espessuras

(b) - CB sendo alisada sobre o estêncil e suas cavidades para a conformação

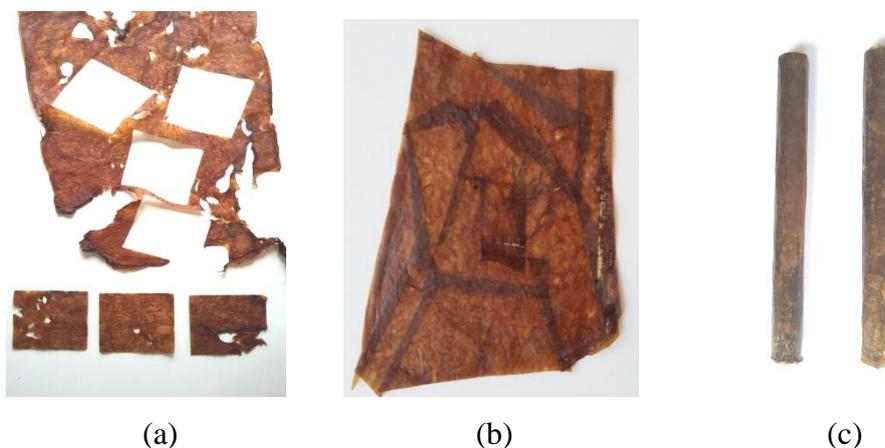
(c) - CB envolta sobre uma forma tridimensional para secagem e conformação

Fonte: O autor, 2018.

4.6.4 Testes de fabricação por separação, união e laminação

Molhada ou seca ela é fácil de ser cortada com tesoura ou estilete, sendo que para unir um pedaço em outro, basta umedecer as partes a serem coladas com água e pressionar até que esteja totalmente seco, dispensando costuras e outras fixações mecânicas (Fig.94 a). Para a formação de compósitos rígidos, foi possível o uso de polímeros solubilizados ou em estado líquido, para compor com camadas alternadas de CB e polímero um laminado compósito como nos tubos da figura 94 c.

Figura 94-Separação, união e laminação com CB.



Legenda:

- (a) - CB seca cortada com estilete
- (b) - CB em retalhos unidos com água e pressão
- (c) - Tubos de compósito de CB e caseína

Fonte: O autor, 2018.

4.6.5 Testes com alteração do meio de cultivo

Nesses testes foram verificados como a mudança da fonte de sacarídeos alterava a CB assim como o uso de diferentes chás. Foi usado o açúcar refinado branco, açúcar cristal, açúcar demerara, açúcar mascavo, além de sucos de frutas como a maçã e de legumes como cenoura e beterraba. O chá mais usado foi o chá verde, junto a ele o chá de hibisco foi usado em menor quantidade como forma de controle da população de leveduras que causavam imperfeições na superfície da CB decorrente da produção de gás carbônico. Uma proporção usada com bons resultados, foi de 10 partes para 1, de chá verde para o hibisco. As amostras de cor mais claras eram de chá verde e hibisco com açúcar cristal. Quantidades maiores de hibisco matavam a colônia. O chá mate também foi usado e gerou uma CB de crescimento rápido e mais pura e rígida, no entanto mais fina. Os testes com suco de frutas e legumes apresentaram películas de CB mais finas e com maior incidência de contaminações e descontinuidades da superfície de CB. A purificação melhorava significativamente as propriedades mecânicas da CB e tornava a mesma quase transparente conforme o grau de cristalinidade da CB cultivada.

Figura - 95 Testes com alteração do meio de cultivo e processos de fabricação



Fonte: O autor, 2018.

4.6.6 Testes com a fabricação de protótipos

Com base nos testes preliminares tanto do cultivo da CB como dos processos de fabricação, foi possível a criação de protótipos de teste visando seu uso como alternativa ao couro animal.

4.6.6.1 Carteira de documento CB não purificada

Todo o processo de fabricação do protótipo 1 (Fig. 96), e do porta cartões (Fig. 97), podem ser vistos em: <https://www.instructables.com/id/Kombucha-Wallet/>

Figura 96 - Carteira de CB não purificada



Fonte: O autor, 2018.

Figura 97- Porta cartões de CB não purificada

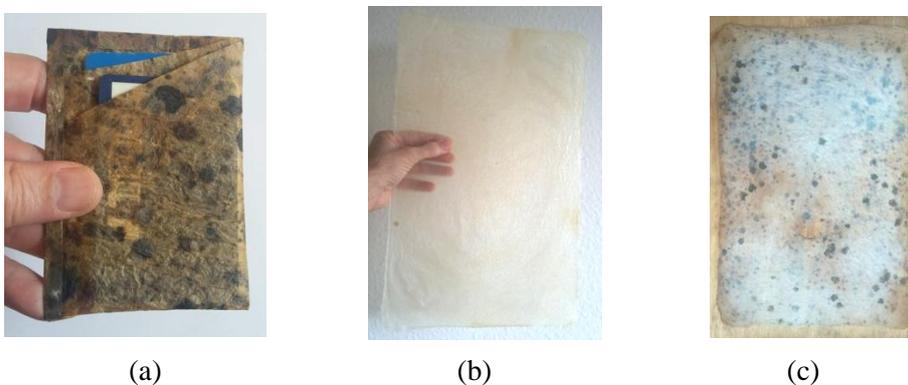


Fonte: O autor, 2018.

4.6.6.2 Micro carteira de documento CB purificada com pigmento de bactéria

Foi feito um teste com a construção de um protótipo de carteira de documentos (fig. 98 a) onde foi adotada uma CB purificada (Fig. 98 b) com soda caustica e água sanitária, que teve como detalhe diferencial estético, a coloração e padronagem obtidas da contaminação com bactérias e fungos sobre a CB purificada (Fig. 98 c).

Figura -98-Mini carteira de CB purificada



Legenda:

(a) - Carteira pronta e impermeabilizada com cera de carnaúba

(b) - CB seca que foi purificada em banhos químicos de soda caustica e água sanitária

(c) - CB umedecida e posta sobre uma chapa de madeira contendo bactérias benígnas para pigmentação

Fonte: O autor, 2018.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os Eco-compósitos foram avaliados segundo seu processo de fabricação básico e resultados na forma de amostras e protótipos. Os testes preliminares foram importantes para o rápido avanço da pesquisa e a identificação das similaridades e diferenças entre os Eco-compósitos. Sobre os Eco-compósitos desenvolvidos nessa pesquisa podemos concluir que:

Os Eco-compósitos que utilizam etapas de solubilização de polímeros apresentam características próprias no que se refere tanto a formação do compósito como dos processos de fabricação de produtos protótipos e sua reintrodução ao ciclo produtivo. Alguns pontos importantes referentes aos resultados são abaixo discutidos.

1-Quanto à criação do compósito

As matrizes solubilizadas apresentaram na forma de solução e na forma de coloide, características distintas. Para a criação de uma boa interface fibra/ matriz, tanto o estado solubilizado com solventes puros, como com solventes puros e anti-solventes da matriz, permitiu uma boa aderência, onde se destacaram os melhores resultados quando foram utilizados polímeros que usavam água como meio de dissolução ou dispersão, como os polímeros naturais de base proteica como caseína e colágeno ou sintética como o PVA. Isso provavelmente aconteceu por haver uma maior compatibilidade em termos de hidrofília entre as fibras e as matrizes.

Dependendo de como se caracterizou o material de reforço (fibras longas, curtas ou partículas) e do processo de conformação adotado, se optará por uma ou outra forma de se compor a fase dispersa com a fase contínua. Em geral os feixes de fibras contínuas e de nãotecidos, se beneficiam de uma maior fluidez da matriz na forma de solução, criando boas interfaces fibra/matriz facilitando sua conformação ou laminação.

Já nos sistemas compósitos com fibras curtas e particulados o uso da matriz na forma coloidal facilitou o controle organoléptico das misturas entre fibra /matriz ajudando a encontrar com mais facilidade as proporções ideais entre as partes, mesmo quando se adotava mistura de grãos de diferentes tamanhos de fibra e partícula. Pelo método com matriz em solução, houve uma demanda maior de amostras para se chegar a um ponto ideal para a conformação, como pôde ser visto nos testes preliminares com a matriz de policaprolactona.

Nos Eco-compósitos estudados, ficou evidente o quanto a quantidade, e o comprimento das fibras/cargas, afetaram não só o tempo de secagem, e contração das peças

nos moldes, assim como a resistência mecânica e o acabamento superficial. Ou seja, com fibras curtas e particuladas se obteve melhores acabamentos superficiais e capacidade de conformação cuja reprodução de detalhes foi limitada pelo tamanho dos grãos ou partículas usados como carga. As fibras longas, mais finas e contínuas permitiram a criação de peças com melhor desempenho mecânico. Sendo que quanto menos solvente e polímero utilizou na solubilização, menor foi o tempo de secagem. A velocidade de secagem também foi maior, nos casos em que as redes de fibras e partículas podiam facilitar a difusão e capilaridade do solvente contido no polímero para fora do molde.

2-Quanto à fabricação de protótipos

Todas as técnicas de fabricação puderam ser utilizadas, fazendo uso tanto de técnicas manuais com uso de ferramentas simples ou de máquinas para aumento da capacidade produtiva, o que validou o potencial de uso desses Eco-compósitos tanto em plantas mínimas artesanais como industriais. Tendo rendido exposições internacionais como a Feira internacional de Milão.(Fig.99)

Figura 99- Mobiliário em Eco-compósito tipo 1 na Feira de móveis de Milão



Legenda: Mobiliário produzido por alunos do curso de desenho industrial da UNIVERCIDADE

Fonte: O autor, 2000.

3-Quanto à geração de resíduos

Quando resíduos foram gerados em alguma etapa do processo na forma sólida como cavacos ou partículas, os mesmos não ficavam em suspensão no ambiente de trabalho, e puderam ser facilmente coletados e reintroduzidos no processo de fabricação com menos consumo de solventes no processo como indicado nos testes preliminares com Eco-compósito do tipo 4. Mesmo nos eco- compósitos termofixos do tipo 3, foi possível o aproveitamento

dos resíduos, que foram utilizados como cargas na produção, ou como material para biodegradação em compostagens.

4-Quanto à geração de poluentes na forma de COVs.

Nos testes preliminares com o Eco-compósito do tipo 4 durante a etapa de secagem, os resultados corroboraram com os estudos de evaporação de solventes em polímeros como em tintas e vernizes, e com o estado da técnica nas pesquisas com recuperação de solventes por condensação como no caso da reciclagem de PSE por solubilização em limoneno.

5-Quanto à secagem

Os Eco-compósitos fabricados por solubilização de polímeros encontraram na etapa de secagem, seu maior tempo na produção, que foi tanto maior ou menor dependendo do solvente usado, da temperatura de volatilização e pressão, e da espessura e superfície exposta da peça para a evaporação.

6 - Quanto à toxicidade e manuseio dos materiais na fabricação

Os materiais e insumos principais foram pré-selecionados visando à seleção ou ciência nas escolhas dos mesmos quanto aos critérios não só ambientais como de toxicidade ao contato humano. Os que usaram solventes como água ou solventes naturais renováveis como álcool, acetato de etila ou acetona ou mesmo limoneno, são de menor impacto ambiental e toxicidade, mas não significando, no entanto, o não uso de equipamentos de EPI.

7-Sustentabilidade

O grupo de Eco-compósitos que trouxe maior potencial para um impacto positivo para o meio ambiente, foi o Eco-compósito 4 que se utiliza dos plásticos não biodegradáveis PSE e PSX seguidos do PS e ABS como material da matriz. Uma vez que esses plásticos são descartes abundantes do tipo pós-consumo, sendo de baixo ou nenhum interesse comercial para a reciclagem tradicional, o uso dele como insumo em plantas industriais ou artesanais para produção de ecoprodutos, podem ser adotados como tecnologia social, gerando empregos a partir de bens e serviços que se alinham a visão de uma economia do tipo circular.

O segundo grupo que contribui de forma positiva para o meio ambiente, é o grupo de Eco-compósitos do tipo 1. Como sua matéria prima principal, é o papel descartado, ao torná-lo um material para a construção de produtos, ele sobe na cadeia de valor pelo Upcycling.

Como não envolve o uso de solventes tóxicos de difícil acesso, podem ser produzidos artesanalmente em escolas e universidades como exemplo de modelo para programas de reciclagem e reaproveitamento de materiais.

O terceiro grupo que merece destaque é o grupo do Eco-compósito do tipo 5, esses estão associados a novas áreas da tecnologia que são a biotecnologia e nanotecnologia. No entanto o mais importante no desenvolvimento desses Eco-compósitos além do baixo impacto ambiental e menor custo de produção (DONNI et al 2010) na obtenção de celulose de alta pureza e nanométrica com propriedades mecânicas e físico-químicas superiores a celulose vegetal, é o fato de se tratar de um novo conceito de produção que está mais voltado para o cultivo e crescimento de novos materiais e produtos, onde de forma simultânea, se produz mais de um produto (A bebida probiótica de kombucha na forma gaseificada e não gaseificada, vinagre e a celulose bacteriana).

Nos Eco-compósitos 2 e 3 encontramos matrizes não tóxicas e de natureza biodegradável, sendo que algumas usam a água como solvente ou meio de dispersão, podendo ser usados sem preocupação pelos mais variados segmentos para o artesanato e para a produção de protótipos.

8-Manutenção, recuperação, reaproveitamento e reciclagem

Pensando em um sistema voltado para a economia circular, os produtos em Eco-compósitos antes de serem descartados para a reciclagem ou compostagem, devem ter as alternativas de recuperação ou de renovação das peças estudadas a fim de estendermos ao máximo sua função e utilidade (Fig. 100). Quando isso não for possível, se deve tentar o Upcycling e como último recurso a reciclagem e a compostagem poderão ser considerados assim como a recuperação energética. Basicamente temos dois materiais a serem reciclados, os materiais que compõem o material polimérico usado nas várias matrizes, e o material de reforço ou carga. As fibras podem ser separadas de suas respectivas matrizes por intermédio da solubilização da matriz em tanques, mas seu tempo de dissolução e condições ideais ainda não foi totalmente estudado para a grande escala. Não é recomendável triturar o material para facilitar a reciclagem por solubilização, pois isso levará a quebra das cadeias poliméricas e encurtamento das fibras, o que poderá levar a uma perda das propriedades mecânicas do material, tornando-o uma reciclagem em cascata. Os Eco-compósitos que tem matriz reticulada e que não podem ser solubilizados podem ser triturados e usados como carga em novas peças ou em último caso usados como material para compostagem.

Figura 100- Manutenção de uma peça em Eco-compósito tipo 1 c



Legenda:

- (a) - Peça arranhada sendo recuperada com uso de um soprador térmico
- (b) - Peça recuperada depois de ter a matriz do compósito aquecida e fundida localmente

Fonte: O autor, 2018.

9-Testes de conformidade de produtos e de caracterização de materiais.

Testes preliminares de caracterização mecânica foram feitos tanto de forma simplificada (Fig.101 a) como de forma normatizada (anexo B) para o Eco-compósito do tipo 1 A. Não foram feitos ensaios de caracterização normatizada do Eco-compósito com matriz de resina de breu e óleos secativos assim como para os demais Eco-compósitos. No entanto foram feitos testes preliminares de flexão em amostras como auxílio para o adequado dimensionamento e forma, na aplicação dos materiais Eco-compósitos nos protótipos de mobiliário, assim como estudos de distribuição de carga e tensão, com uso de modelos reduzidos (Fig.101 c). Estes e outros testes práticos foram aplicados aos protótipos (Fig.101 b). Nos testes simplificados, as amostras foram submetidas a um carregamento simples do tipo distribuída com dois pontos de apoio (Fig. 101 a) e para os protótipos de mobiliário, foram usados como referência para os testes, o Regulamento de Avaliação da Conformidade (RAC) usado pelo INMETRO, para cadeiras plásticas monobloco de uso adulto.

Foram feitos testes de carregamento estático com 160 kg feitos com o auxílio de uma bombona plástica com 200 l de capacidade. Esses testes foram feitos nos protótipos de bancos e cadeiras (Fig.101 d). A bombona colocada vazia sobre o mobiliário a ser testado, foi gradativamente cheia com água até atingir o volume correspondente a massa de 160 kg. Testes com fixações mecânicas como parafusos, pregos e acabamentos com laminados também foram feitos de forma preliminar. (fig.102)

Figura 101-Testes de caracterização e conformidade



Fonte: O autor, 1999.

Para o desenvolvimento de testes simplificados, é recomendável usar como base as normas existentes (anexo B) mesmo tendo como resultados um grau de imprecisão maior, essa imprecisão é compensada pela ampla faixa apresentada no comportamento dos materiais de origem natural, sendo esses testes de natureza qualitativa preliminar também apresentados por Stevens (2002) como forma de comparação entre amostras de biopolímeros.

Figura 102 - Testes diversos com fixações mecânicas e acabamentos com laminados e compósitos tipo sanduiche.



Fonte: O autor, 1998.

Figura. 104- Exposição na UNIVERCIDADE unidade Ipanema



Fonte: O autor, 1999.

Sugestões para trabalhos futuros

- 1- Testar formas de caracterização simplificadas acessíveis aos artesãos, com base nas normas existentes que possam ser usados tanto para avaliar como comparar, as propriedades não só mecânicas e físico-químicas como de biodegradação dos materiais, assim como no controle dos processos de fabricação e desenvolvimento de novos Eco-compósitos aplicados a eco-produtos.
- 2- Estudar formas de recuperação dos solventes durante o processo de secagem dos Eco-compósitos que sejam de baixo custo e com tecnologia apropriada.
- 3- Testar quais matrizes podem formar laminados rígidos com o uso de reforços de celulose bacteriana, e quais podem melhorar as propriedades de usabilidade da mesma como alternativa ao couro e ao tecido em vestuários, calçados e acessórios.
- 4- Estudar formas de purificação da celulose bacteriana para obtenção de aspecto iridescente de forma a atender a produção artesanal.
- 5- Estudar outros materiais para o Ecodesign com base em biotecnologia, que possam ser produzidos em plantas mínimas como tecnologia de materiais compósitos, como o cultivo de fungos miceliais usando de resíduos agrícolas como fonte para o meio de cultivo.
- 6- Testar o uso de RFID como forma de identificação, controle de inventário e rastreamento dos produtos em Eco-compósito, visando também facilitar a logística de retorno ao ciclo produtivo, controle de qualidade e identificação das endemias diferenciais na fabricação de ecoprodutos desenvolvidas artesanalmente e em pequena escala e seu destino de consumo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D7568**: Standard Specification for Polyethylene-Based Structural-Grade Plastic Lumber for Outdoor Applications. Pensilvânia, EUA, 2017. 20 p.

_____. **D6662**: Standard Specification for Polyolefin-Based Plastic Lumber Decking Boards. Pensilvânia, EUA, 2017. 15 p.

_____. **D7031**: Standard Guide for Evaluating Mechanical and Physical Properties of Wood-Plastic Composite Products. Pensilvânia, EUA, 2011. 8 p.

_____. **D3878**: Standard Terminology for Composite Materials. Pensilvânia, EUA, 2018. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS. **Simbologia técnica brasileira de identificação de materiais**. 2016. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/comitesdetrabalho/meio-ambiente-e-sustentabilidade/reciclagem/simbologia-de-identificacao/>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16182**: Embalagem e acondicionamento: simbologia de orientação de descarte seletivo e de identificação de materiais. Rio de Janeiro, 2013. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13370**: Nãotecido terminologia. Rio de Janeiro, 2017. 13 p.

ARAÚJO, C.R et. Al. Thermal Properties of commercial and castor oil polyurethane composites with curaua fiber. In : INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 4.,2002,São Pedro. **Anais...**São Carlos : USP, 2002.p.547-550.

BALTAZAR-Y-JIMENEZ, Alexis et Atmospheric air pressure plasma treatment of lignocellulosic fibres: impact on mechanical properties and adhesion to cellulose acetate butyrate, **Composites Science and Technology**, Elsevier, 2009, v. 68, n. 1, p.215.

BARDINI, I.; MARCHIORO, T. **Um estudo exploratório do uso de vidro reciclado como agregado de concretos**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2007.

BELGACEM, M.N. et al. Effects of corona modification on the mechanical properties of polypropylene cellulose composites, **Jornal of Applied Polymer Science**, New York, v.53, p. 379-385. Jul. 1994.

BISANDA,E.T.N. The effect os alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fiber, **Applied Composite Material**, V.7, p. 331-339, 2000.

CAJAL, Alberto. **Cuadro Sinóptico: Características, Elaboración, Tipos**. 2017. Disponível em: < <https://www.lifeder.com/caracteristicas-cuadro-sinoptico/>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

CALLISTER JR., WILLIAM D. **Ciência e engenharia dos materiais: uma Introdução**, 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. ISBN: 85-216-2188-5

_____. **Ciência e tecnologia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

CARVALHO, L.H. Chemical modification of fiber for plastics reinforcement in composites. In: LEÃO, A.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E. **Lignocellulosic-Plastic composites**. São Paulo: USP; UNESP, 1997. p.197-222

CARVALHO, Laura Hecker de. **Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras Vegetais**. Campo Grande: UFCG, 2003.

CARVALHO, R.F. **Compósitos de fibra de sisal para uso em reforço de estrutura de madeira**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CELLA, Rafael Ferraz. **Reciclagem de espumas semi-rígidas de poliestireno pela dissolução em terpenos e secagem em secador de tambor**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis 2012.

CITADIN, Daniela Gava. **Produção e caracterização de poliestireno expansível a partir da reciclagem de embalagens de poliestireno extrusado pós-consumo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CONTRERAS, Ismael de Jesús Benítez; DIAZ, Jorge Andrés Vélez **Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Facultad de ingeniería, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, 2013.

CORTEZ, Joaquim Gabriel; CUNHA, Clemilson José da. **Processamento de uma madeira plástica**. 2013. Monografia (Engenharia de Materiais) - Universidade do Vale do Paraíba, São José dos campos, 2013.

COSTA et.al. Extração de óleo essencial da casca da laranja utilizando um extrator caseiro. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas. **Anais...** Palmas: IFTO, 2012.

COSTA, Pedro Z. R. da; BARBOSA, João C. L. O uso do poliuretano de óleo de mamona no design de produtos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 4., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CIPED, 2007.

COSTA, Pedro Z. R. da; PEREIRA, Fernando. O uso de Eco-compósitos de matriz polimérica com reforço de fibras de origem celulósica no design de produtos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL 1., 2016, São Paulo; WORKSHOP DESIGN &

MATERIAIS, 7., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2016.

COSTA, Pedro Z. R. da; PEREIRA, Fernando; MEDEIROS, Ligia M. Uso da avaliação organoléptica no auxílio à caracterização de materiais poliméricos no design de produtos. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN DA ESDI, 2., 2016, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ESDI/UERJ, 2016.

COSTA, Pedro Zöhner Rodrigues da Costa, BIZ, Pedro 2017. Cultivando materiais: o uso da celulose bacteriana no design de produtos. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN DA ESDI, 3., 2017, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ESDI/UERJ, 2017.

D'ALMEIDA et. al. Acetilação da fibra de bucha (*Luffa cylindrica*). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 15, n. 1, p. 59-62, 2005.

DIAS, V.S. **Estudo do processo de recozimento na reciclagem de vidros para fabricação de produtos utilitários**. 2014. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2014.

DOMINGEZ ET. AL. **Reciclado de poliestireno**: obtención de un adhesivo. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.

DONINI, Igor A. N. et al. Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana, **Eclética química**, v. 35, n.4, 2010.

EUROPEAN NETWORK OF BUILDING RESEARCH INSTITUTES (ENBRI). **Development of a framework for environmental assessment of building materials and components**: proposal to European community Brite Euram Program. [S.l.] : ENBRI, 1994.

ESA, Faezah; TASIRIN, Siti M.; RAHMAN, Norliza A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. Agriculture and Agricultural Science Procedia 2. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOOD ENGINEERING, 2., 2014, Kuala Lumpur. **Anais...** Kuala Lumpur: International Conference on Agricultural and Food Engineering: CIGR, 2014.

FUAD-LUKE, Alastair. **Manual de diseño ecológico**: um catálogo completo de mobiliário y objetos para La casa y la oficina. Palma de Mallorca: Cartago, 2002.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1984.

FREIRE, Ana Karla Freire de Oliveira. **Análise da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de uçu na fabricação de pisos e revestimentos**. 2011. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Centro técnico e científico da PUC-RJ. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2011.

GARCÍA, María Teresa et al. Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process, **Waste Management**, p. 1814-1818, 2009.

GRACH, F. C. **Incorporação de resíduos de embalagens pós-consumo provenientes das agroindústrias na fabricação de bandejas de polpa moldada**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GROVES, Alexander; MURAKAMI, Azusa. **Sea chair**. 2012. Disponível em: <<https://www.studioswine.com/work/sea-chair/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

GROVES, Alexander; MURAKAMI, Azusa. **Can city**. 2013. Disponível em: <<https://www.studioswine.com/work/can-city/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

GEA, Saharman et al. Investigation into the structural, morphological, mechanical and thermal behaviour of bacterial cellulose after a two-step purification process. **Bioresource technology**, v. 19, n. 102, p. 9105-9110, 2011.

GRUSHKIN, Daniel. Meet The Woman Who Wants To Grow Clothing In A Lab. **Popular Science**, 2015. Disponível em <<http://www.popsci.com/meet-woman-who-wants-growing-clothing-lab>>. Acesso em 23 ago. 2017.

GUEDES, B. et al. **O plástico**. 4. ed. São Paulo: Editora Érica, 1997.

HAKKENS, Dave Hakkens. **Precious plastic**. 2013. Disponível em: <<https://preciousplastic.com/>>. Acesso em: 30 dez. 2017.

HATTORI, Kazuyuki et al. Dissolution of polystyrene into p-cymene and related substances in tree leaf oils, **Journal of Wood Science**, v. 56, p. 169-171, 2010.

HATTORI, Kazuyuki et al. Solubilization of Polystyrene into Monoterpenes, **Advances in Polymer Technology**, v. 27, p. 35-39, 2008.

JONES, Robert M. Mechanics of composite materials. Vol. 193. Washington, DC: Scripta Book Company, 1975

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

KAMPOURIS, E.M.; PAPASPYRIDES, C. D.; LEKAKOU, C. N. A model recovery process for scrap polystyrene foam by means of solvent systems. **Conservation & Recycling**. v. 10, n. 4, p. 315-319. 1987.

KLEIN, Letícia. **Você sabe o que significam os símbolos de reciclagem?** 2018. Disponível em: <<http://conexoplaneta.com.br/blog/voce-sabe-o-que-significam-os-simbolos-de-reciclagem/>>. Acesso: 25 maio 2018.

LADCHUMANANANDASIVAM, R. **Ciências dos Polímeros e engenharia das fibras**. Natal: UFRN, 2005.

LEFTERI, Chris. **The plastics handbook**. Hove, UK: RotoVision, 2008.

LIMA, Marco Antonio Magalhães Lima. **Introdução aos materiais e processos para designers**. 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006. v.1. 225 p.

LION FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz. **Desenvolvimento e caracterização de compósito a partir da borra da piaçava para construção da parábola de um fogão solar a concentração**. 2013. 197 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

LOPES, Fernanda F. M. et al. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental** [online]. v.14, n.7, p.783-788, 2010.

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

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 2009.

MANZINI, Ezio. **A matéria da invenção**. Lisboa: Porto Editora, 1993.

MANZINI, Ezio, VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2002.

MARTINEEZ, Karim Yaneth Pérez ; TOSSO, Angela Vitor. Planejamento da produção na indústria de embalagens de polpa moldada, **Gestão & produção**, São Carlos , v. 23, n. 3, Jul./Set. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1409-14>>. Acesso em: 30 maio 2018.

MENDONÇA, PAULO DE TARSO R. **Materiais Compostos e Estruturas-Sanduiche, projeto e análise**. São Paulo: Editora Manole, 2005.

MIRANDA, Rossana Martins. **Estudo do comportamento mecânico de um Eco-compósito para aplicação como painéis divisórios de ambientes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

MCDONOUGH, William Andrews; BRAUNGART, Michael. **Cradle to cradle**. Nova Iorque: Farrar, Straus and Giroux, 2002.

NOGUCHI, T.; MIYASHITA, M.; WATANABE H. **Mechanical Properties of Polystyrene Recycled Using d-Limonene**. Center for Environmental Technology. Japan: Sony Corporation Frontier Science Laboratories, 2011.

NOGUCHI T.; MIYASHITA M., INAGAKI Y., WATANABE H. A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 1: a new recycling technique, **Packaging Technology and Science**, v. 11, p. 19–27. 1998.

OLIVEIRA, Luan Carvalho Santana de. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz de resina poliéster e resíduos de madeira produzidos em marcenarias**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

OLIVEIRA, P.F. **Reciclagem de Embalagens de Alimentos Produzidas a partir de Poliestireno Extrusado Pós-Consumo**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PAZZINI, Caio Eller. **Estudo de solubilidade do poliestireno (ps) e da policaprolactona (pcl) em diferentes solventes orgânicos**. 2015. Monografia (Engenharia Química)- Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2015.

REBELO, Viviane S. M. **Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia Piassaba) para produção de painéis de partículas de média densidade**. 2016. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

RONG, M.Z. et al. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites, **Composites Science and Technology**, Oxford, v. 6, n. 10, p. 1437-1447, 2001.

RODRIGUES et al. Antimicrobial Activity of Broth Fermented with Kombucha Colonies, **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, v. 1, n. 1, 2009.

RYKKELID, Ellen. **Growing Products**. Disponível em :
face<<http://growingproducts.tumblr.com>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Fibre-polymer composites, **Cement Concrete Composites**, v.12, n.2, p.117-136, 1990.

SANCHES, Nadir de; MENDES, Luis Claudio; GOMES, Ailton de Souza. **Projeto IMA – 477/98**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1998.

SANTANA et. al. **Elaboração de um kit didático para aulas práticas de fundição**. Santo amaro - BA: IFBA, 2015.

SAUER, Christiane. **Made of: new materials sourcebook for architecture and design**. Berlin: Gestalten, 2010.

SETAKi, Foteini; SAKKAS, Panos; RADULOVIC, Danko. **The new raw- plastic /Belgrade**. 2015. Disponível em: <<http://www.thenewraw.org/work/the-new-raw-plastic-belgrade/>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

SUBRAMANIAN, P. M. Plastic Recycling and Waste Management in the US. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 28, 2000.

SCHERER, Robert. **Casein: its preparation and technical utilisation**. London: Scott, Greenwood & son, 1906.

SCHIMER, W. N.; QUADROS, M.E. Compostos orgânicos voláteis biogênicos emitidos a partir de vegetação e seu papel no ozônio troposférico urbano, **Revista da Sociedade Brasileira de Autorização Urbana**, Piracicaba, SP, v.5, n.1, p.25-42, 2010

SCHLISCHTING, Rodrigo. **Influência da adição de poliestireno expandido no processo de polimerização do estireno em suspensão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SCHNEIDER et. al. Produção de tinta com resíduos de casca de laranja e poliestireno expandido (PSE). In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6., 2013, São José Dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: FIRS, 2013.

SCHUH, T.; GAYER, U. Automotive applications of natural fiber composites. Benefits for the environment and competitiveness with man-made materials. In: LEÃO, A.L.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E. **Lignocellulosic-plastics composites**. São Paulo: USP, 1997. p.181-195.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil)- Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, E.J.D. et al. Degradação da fibra de coco imersa em soluções alcalinas de cimento e NaOH, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.981-988, 2015.

SILVA, Francisco Claudivan da. **Desenvolvimento e caracterização de um Eco-compósito de poliuretano de mamona e fibra de lã canina**. 2015. 111f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

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

SOBIOLOGIA. **Simbologia da reciclagem**. 2008-18. Disponível em: <<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/reciclagem/reciclagem3.php>>. Acesso em: 4 fev., 2018.

SONY. **Orange R-net: Sony High-quality Foamed Polystyrene Recycling System**. Tokyo, Japan: SONY, 2003. Disponível em: <https://www.sony.net/SonyInfo/csr_report/issues/report/1997/qfhh7c00000dlstq-att/e_1997_03.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2017.

SOUZA, Débora Rosa da Silva. **Síntese e caracterização de poliuretano à base de Poli(ϵ -Caprolactona) reforçado com nanocristais de celulose**. 2013. 93f. Dissertação (mestrado) – Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAULA, C.M.S.S. **Efeito da Influência do Tratamento Químico de Fibras de Sisal na Resistência Mecânica de Compósitos sisal/epóxi**. 1996. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, SP, 1996.

SPINGER et. al. **Surface characterization of natural fibers**: surface properties and the water up-take behavior of modified sisal and coir fibers. Berlin: Universität Berlin, 2001.

STEVENS, E. S. **Green plastics**: an introduction to the new science of biodegradable plastics. New Jersey: Princeton University Press, 2002.

TAVARES et. al. Eco-compósito de Madeira Plástica Produzido com Acabamento Rústico da Superfície por Gravação à Laser. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7., 2017, Ponta Grossa. **Anais...** Paraná: CBEP, 2017.

TAVARES et. al. **Produção de biocompósito com macrofungo e resíduo de palmeira Lorena**. 2013. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/969224/1/ProducaoBiocomposito0001.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

TAVARES, Jaciomar Alves. **Projeto, construção, testes e operação de um extrator de óleos vegetais**. 2007, 76 p. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

THINKSTOCK. **Códigos de reciclagem**. [20--] Disponível em: <<http://www.thinkstockphotos.com.pt/image/ilustra%C3%A7%C3%A3o-de-arquivo-c%C3%B3digos-de-reciclagem/475635054/popup?sq=codigos%20de%20reciclagem%20de%20materiais%20plasticos/f=CPIHVX/s=DynamicRank>>. Acesso em: 29 maio 2018.

THOMPSON, Rob. **Manufacturing processes for design professionals**. New York: Thames & Hudson, 2007.

TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras natu-raís, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.1, p.79-88, 1997.

VENCESLAU, Emerson barros Venceslau. **Avaliação de modelos e proposta de metodologia para projeto de misturas de solventes aplicadas a tintas e vernizes**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VIEIRA, Denise Cristina M. **Produção de Biofilme (membrana de biocelulose) por Gluconacetobacter Xylinus em meio a resíduo de frutas e folhas de chá verde**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas)- Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

WIKIPEDIA. **Kokospalme**. 2018. Disponível em: <<https://de.wikipedia.org/wiki/Kokospalme>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

WINANDY, J.E. STARK, N.M. CLEMONS, C.M. Considerations in recycling of wood-plastic composites. In: GLOBAL WOOD AND NATURAL FIBER COMPOSITES SYMPOSIUM, 5., 2004, Florida. **Anais eletrônicos...** Florida: ACEEE, 2004. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2004/fpl_2004_winandy_001.pdf> Acesso em: 11 maio 2010.

ZOCH, Vanessa Pozzi Zoch. **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico utilizando Resíduos Minimamente Processados**. Monografia (Graduação em engenharia florestal)- Faculdade de Tecnologia , Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ZÖHRER, P. **Elemento compósito organo-cerâmico e seu processo de obtenção**. 1997, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI97049921, data de depósito: 01/10/1997, título: "Elemento compósito organo-cerâmico e seu processo de obtenção" , Instituição de registro:INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Instituição(ões) financiadora(s): O próprio..

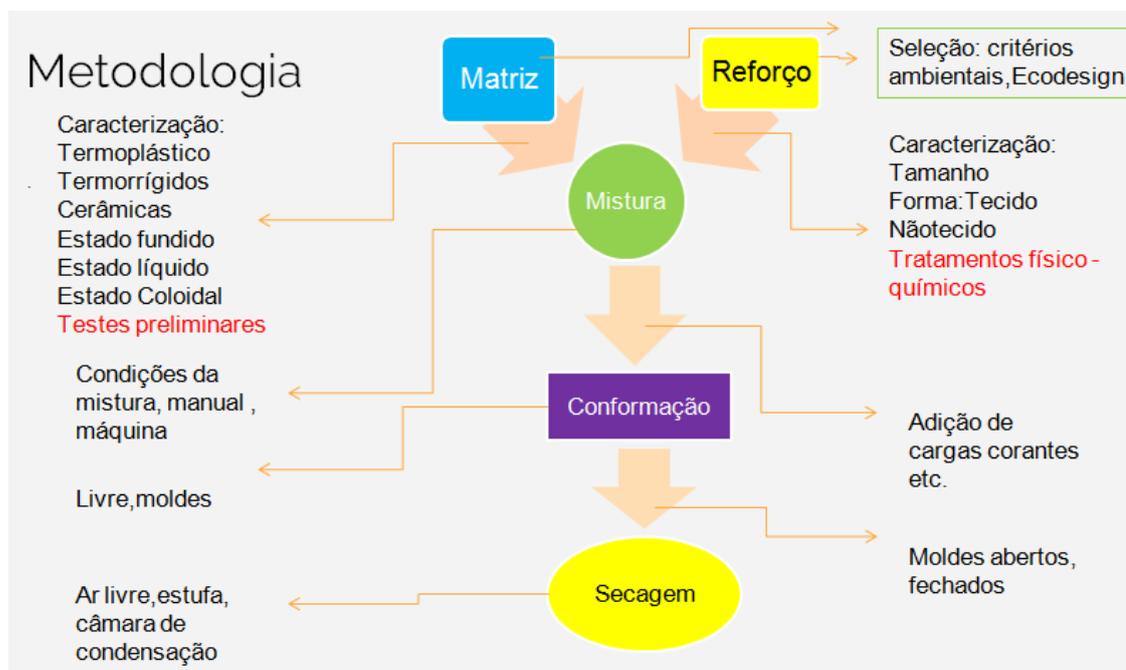
ZÖHRER, P. **Estruturas obtidas a partir de composto organo cerâmico de alta resistência e seus processos de fabricação**. 1998, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI98032640, data de depósito: 28/08/1998, título: "Estruturas obtidas a partir de composto organo cerâmico de alta resistência e seus processos de fabricação" , Instituição de registro:INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

ZÖHRER, P. **Elemento celulósico e processo de fabricação de um elemento celulósico**. 2001, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI0100139-6, data de depósito: 19/01/2001, título: "Elemento celulósico e processo de fabricação de um elemento celulósico" , Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

ZHOU, T et al. Electrically Conductive Bacterial Cellulose Composite Membranes Produced by the Incorporation of Graphite Nanoplatelets in Pristine Bacterial Cellulose Membranes, **Polymer Letters**, v.7, n.9, 2013, p. 756–766.

APÊNDICE - Fluxograma geral da metodologia aplicada no processo de fabricação dos Eco-compósitos

Figura 105 - Fluxograma geral da metodologia aplicada no processo de fabricação dos Eco-compósitos



Fonte: O autor, 2018.

ANEXO A - Tabela de materiais recicláveis

Figura 106- Quadro ampliado dos códigos para materiais recicláveis, com base na lista de códigos de identificação de resina (RIC) e códigos definidos pela Comissão Europeia.

Recycling codes										
PLASTIC	1 PETE PET polyethylene terephthalate	2 HDPE PE-HD high-density polyethylene	3 PVC V polyvinyl chloride	4 LDPE PE-LD low-density polyethylene	5 PP PP polypropylene	6 PS PS polystyrene	7 OTHER O all other plastics	9 ABS ABS acrylonitrile butadiene		
	01 PET polyethylene terephthalate	02 PE-HD high-density polyethylene	03 V polyvinyl chloride	04 PE-LD low-density polyethylene	05 PP polypropylene	06 PS polystyrene	07 O all other plastics	09 ABS acrylonitrile butadiene		
BATTERY	8 LEAD lead-acid battery	9 Alkaline alkaline battery	19 Alkaline alkaline battery	10 NICD nickel-cadmium battery	11 NIMH nickel-metal hydride battery	12 Li lithium battery	13 SO silver-oxide battery	14 CZ zinc-carbon battery		
	08 LEAD lead-acid battery	09 Alkaline alkaline battery					13 SOZ silver-oxide battery			
PAPER	20 PAP cardboard, corrugated fibreboard	21 PAP other cardboard, non-corrugated solid fibreboard	22 PAP general paper (office paper)	23 PPB paperboard	24 PPB paperboard (newsprint, white and gray cardboard)	METAL	40 FE steel	41 ALU aluminium		
	20 PCB cardboard, corrugated fibreboard			23 PBD paperboard						
BIOMATTER / ORGANIC	50 FOR wood	51 FOR cork	60 TEX cotton	60 COT cotton	61 TEX jute	62 TEX other textiles	63 TEX	64 TEX	65 TEX	
							66 TEX	67 TEX	68 TEX	
GLASS	70 GL GLS mixed glass container / multipart container	71 GL GLS clear glass	72 GL GLS green glass	73 GL GLS dark amber glass	74 GL GLS light amber glass	75 GL GLS light leaded glass	76 GL GLS leaded glass (Leaded Crystal-such as Chandeliers and Swarovski)	77 GL GLS copper mixed / copper backed glass	78 GL GLS silver mixed / silver backed glass	79 GL GLS gold mixed / gold backed glass (some computer terminals)
COMPOSITES	80 C/PAP paper or cardboard + miscellaneous metals	81 C/PAP paper or cardboard + plastic	82 C/PAP paper or fibreboard + aluminium	83 C/PAP paper or fibreboard+tin	84 C/PAP paper and cardboard +plastic +aluminium	85 C/PAP paper or fibreboard +plastic +aluminium +tin	87 C/PAP biodegradable plastic	90 C/LDPE plastic and aluminium		

Fonte: THINKSTOCK, [20--].

ANEXO B - Testes de caracterização de Eco-compósitos

Quadro 5 – Ensaio de resistência à compressão do Eco-compósito 1A

AMOSTRA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)
IMA-477-01	0,40
IMA-477-02	0,48
IMA-477-03	0,43
IMA-477-04	0,40
IMA-477-05	0,46
IMA-477-06	0,91
IMA-477-07	1,12
IMA-477-08	0,71

Fonte: SANCHES; MENDES; GOMES, 1998.

Quadro 6- Dimensões dos corpos de prova para Eco-compósitos

Ensaio	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Normas utilizadas
<i>Tração</i>	200	25	8	ASTM D638
<i>Flexão</i>	200	25	8	ASTM D790
<i>Biodegradação</i>	200	25	8	ASTM D5209
<i>Degradação Ambiental</i>	200	25	3	ASTM D1435
<i>MEV</i>	10	10	8	ASTM E 1382
<i>Absorção de água</i>	10	10	8	ASTM D570
<i>Densidade</i>	10	10	3	ASTM D2726

Fonte: OLIVEIRA, 2017.