

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

AMANDA SOUSA MONTEIRO

**EXPIRAL - MÉTODO INTERDISCIPLINAR PARA DESENVOLVIMENTO
E APLICAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS PARA O DESIGN**

SÃO PAULO 2024



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

AMANDA SOUSA MONTEIRO

**eXpiral - método interdisciplinar para desenvolvimento
e aplicação de novos materiais para o design**

SÃO PAULO | 2024

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

AMANDA SOUSA MONTEIRO

**eXpiral - método interdisciplinar para desenvolvimento
e aplicação de novos materiais para o design**

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM RELAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB RESPONSABILIDADE DA AUTORA E ANUÊNCIA DA ORIENTADORA. A versão original, em formato digital, ficará arquivada na Biblioteca da Faculdade. São Paulo, 08 de Janeiro de 2024

-

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Design: Processos e Linguagens.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Dantas.

SÃO PAULO | 2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação

Serviço Técnico de Biblioteca

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Monteiro, Amanda Sousa

EXpiral - método interdisciplinar para desenvolvimento e aplicação de novos materiais para o design / Amanda Sousa Monteiro; orientadora Denise Dantas. - São Paulo, 2023. 239.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Design.

1. Materiais Para o Design. 2. Experiência do Usuário. 3. Novos Materiais. 4. Manicaria Saccifera Gaertn. 5. Compósitos Poliméricos. 6. Método de Design. I. Dantas, Denise, orient. II. Título.

Nome: MONTEIRO, Amanda Sousa

Título: **eXpiral - método interdisciplinar para desenvolvimento e aplicação de novos materiais para o design**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Design: Processos e Linguagens

Aprovada em: 21/11/2023

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa Dra. Denise Dantas

Instituição: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Profa. Dra.

Instituição:

Julgamento:

Profa. Dra.

Instituição:

Julgamento:

Profa. Dra.

Instituição:

Julgamento:

**Para Suely, minha mãe.
Obrigada por ser o meu pilar.**

Agradecimentos

Uma pesquisa não se faz sozinha. São muitas vozes, discussões, trocas, ensinamentos e experiências.

Agradeço, primeiramente, à minha mãe Suely, à irmã Luísa e ao esposo João, pelo carinho, incentivo e apoio em todos os momentos. Graças ao amor de vocês, a vida é muito mais leve e significativa.

À minha orientadora Denise Dantas, que sempre foi uma amiga e uma grande professora. Agradeço pela insistência, paciência e dedicação com todos os temas que esta pesquisa promove. Muitas das discussões aqui presentes foram desenvolvidas ao longo dos anos de nossa parceria.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e ao programa Novos Talentos; ao coorientador Takashi Yojo, Maria José Miranda, Suelem Macena, Cassiano Souza, Zinaldo Dias e muitos outros envolvidos. Graças ao programa, foi possível criar um novo material e investigá-lo, com todo o suporte necessário. À FIPT - Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pela bolsa concedida do programa Novos Talentos.

A todos os amigos que, de alguma forma, estiveram presentes e me ajudaram nestes anos de trabalho, seja partilhando aprendizados ou auxiliando. Em especial, Lorena Bentes e Raony Pinheiro, pela tradução e testes de trabalhabilidade desenvolvidos.

À equipe do aplicativo X-MAT, Paulo Rosa e Marcello Sarmiento, pelo trabalho em conjunto na formulação do aplicativo. Lei Aldir Blanc e Instituto Ágata pelo financiamento de sua execução.

À Imperveg pela doação de resina de mamona. A Hilson Rabelo da empresa Fibras da Amazônia, pela disponibilização do material fibroso tururi utilizado nesta pesquisa.

Em especial, aos participantes das análises da experiência do usuário e pesquisadores que auxiliaram na construção dos compósitos. Muito obrigada a todos pela cooperação e pela investigação da experiência em vários dos seus sentidos.

Resumo

Esta tese tem como objetivo propor um método para a criação, avaliação e aplicação de novos materiais em produtos, a partir de experimentos empíricos, associados a métodos projetuais do campo do design. O método ***eXpiral*** é composto por sete etapas, que pretendem guiar designers de produto na: (1) pesquisa exploratória para seleção de materiais; (2) compreensão das questões referentes ao material; (3) manipulação do material, criação do novo material e caracterização de suas propriedades; (4) compreensão da experiência do usuário através de ferramentas de design; (5) projeto de produto com o novo material; (6) formulação de fichas descritivas do material e do projeto; e (7) revisão e iteração com os resultados das etapas anteriores. O método proposto foi aplicado no desenvolvimento de dois novos materiais: Material 1 - compósito de tururi (*Manicaria Saccifera* Gaertn.) e resina poliuretana à base de mamona; e Material 2 - compósito de tururi e resina epóxi, ambos confeccionados com o método de infusão a vácuo, caracterizados quanto à sua densidade, teor de umidade, resistência à tração e propriedades flexurais, além da caracterização da experiência dos usuários utilizando duas ferramentas originais: o mapa de experiência e o aplicativo X-MAT. Através da aplicação proposta, o método mostrou-se eficaz no desenvolvimento experimental dos novos materiais, tornando possível apreender aspectos técnicos de maneira interdisciplinar, assim como sua trabalhabilidade, experiência do usuário e soluções de uso inovadoras para o design de produtos.

Palavras-chave: materiais para o design; tururi; *Manicaria saccifera*; compósitos; experiência do usuário.

Abstract

This thesis aims to propose a method for the creation, evaluation, and application of new materials in products based on empirical experiments associated with design methods. The ***eXpiral*** method consists of seven steps intended to guide product designers in: (1) exploratory research for material selection; (2) understanding the material-related implications; (3) the material manipulation, the creation of the new material, and the characterization of its properties; (4) understanding the user experience through design tools; (5) product design using the new material; (6) developing of material and project description sheets; and (7) the review and iteration with the results of the previous stages. The proposed methodology was applied to the development of two new materials: Material 1 - tururi composite (*Manicaria Saccifera* Gaertn.) and castor oil-based polyurethane resin; and Material 2 - tururi composite and epoxy resin, both made using the vacuum infusion method, characterized in terms of their density, moisture content, tensile strength, and flexural properties, in addition to the characterization of the user experience using two original tools: the experience map and the X-MAT app. Through the proposed application, the method proved to be effective in the experimental development of the new materials, making it possible to grasp technical aspects in an interdisciplinary manner, as well as its workability, user experience, and innovative usage solutions for product design.

Keywords: materials for design; tururi; *Manicaria saccifera*; composites; user experience.

Lista de figuras

Fig. 1 – Diagrama do quadro referencial teórico	35
Fig. 2 – Modelo de Desenvolvimento de Produtos	38
Fig. 3 – Modelo representativo do gráfico de materiais da <i>Ansys Granta EduPack</i>	42
Fig. 4 – Acervo físico da <i>Material ConneXion</i>	43
Fig. 5 – Acervo físico da materioteca do <i>Politecnico di Milano</i>	44
Fig. 6 – Website Materialize FAUUSP	44
Fig. 7 – Sintetização do método MDD	49
Fig. 8 – Aplicação do MDMS	51
Fig. 9 – <i>Material StoneCycling</i> de Tom van Soest	53
Fig. 10 – <i>Polyfloss</i> da <i>Polyfloss Factory (Royal College of Art)</i>	54
Fig. 11 – Exemplo de Material Tinkering com experimentações de fibras de alho-poró. Projeto de Esra Erdogan, Claudia Fumagalli, Clémence Paillieux e Yui Hasegawa (2016)	55
Fig. 12 – Estrutura da Experiência com o Produto	57
Fig. 13 – A estrutura da experiência com materiais	58
Fig. 14 – Modelo de emoções de um produto	61
Fig. 15 – Procedimentos exploratórios para percepção de objetos	64
Fig. 16 – Exemplos de formas de manipulação dos materiais	65
Fig. 17 – Processo de geração de dados para a ferramenta	67
Fig. 18 – Ordem das ações seguidas na ferramenta MoM	68
Fig. 19 – Utilização do atlas expressivo sensorial	69
Fig. 20 – Relação entre parâmetros e propriedades expressivo-sensoriais	69
Fig. 21 – Amostras organizadas de acordo com sua expressão sensorial	70
Fig. 22 – Mapa de caracterização da experiência do usuário do <i>Ma2e4-toolkit</i>	72
Fig. 23 – Cartões com vocabulário da experiência emocional e interpretativa	72
Fig. 24 – Conjunto de imagens que apoiam os cartões de vocabulário	73
Fig. 25 – Modelo Permatius	74
Fig. 26 – Amostras de materiais isomórficos utilizados no estudo de toque	76
Fig. 27 – Sintetização do Método	78
Fig. 28 – Exemplo do teste de mapeamento de amostras	79
Fig. 29 – Etapas do método integrado de seleção de materiais	79
Fig. 30 – Modelo de sintetização do método <i>eXpiral</i>	83

Fig. 31 – Modelo de exploração de materiais	84
Fig. 32 – Ficha 1, referente a escolha do material	87
Fig. 33 – Modelo de ciclo de vida do produto	89
Fig. 34 – Ficha 2, referente a características do material	91
Fig. 35 – Ficha 3, referente a manipulação do material	98
Fig. 36 – Atributos da experiência com o material	100
Fig. 37 – Ficha 4, referente a experiência com o material	101
Fig. 38 – Ficha do material (resumo do processo)	103
Fig. 39 – Resumo do método <i>eXpiral</i>	106
Fig. 40 – Material fibroso tururi <i>in natura</i>	107
Fig. 41 – Arquipélago do Marajó - Pará	107
Fig. 42 – Extração de tururi na cidade de Muaná - Pará	108
Fig. 43 – Típica embarcação da região do arquipélago do Marajó	109
Fig. 44 – Bolsas de tururi confeccionadas pela cooperativa Flor do Marajó	110
Fig. 45 – Compósito tipo parquet de tururi e resina de mamona	112
Fig. 46 – Ciclo de vida do compósito de tururi e resina epóxi vinil éster	115
Fig. 47 – Balança semianalítica utilizada para pesagem	117
Fig. 48 – Micrômetro utilizado para medição da espessura	118
Fig. 49 – Pontos de medição da espessura	118
Fig. 50 – Impurezas encontradas no interior do material pré-limpeza	119
Fig. 51 – Espécime cortado	119
Fig. 52 – Layout do compósito de 4 camadas (tamanho 60x30 cm)	122
Fig. 53 – Esquema representativo do processo de laminação a vácuo	123
Fig. 54 – Arquitetura do sanduíche	124
Fig. 55 – Bomba de Vácuo Surya	124
Fig. 56 – Resina antes da aplicação no sistema a vácuo	125
Fig. 57 – Montagem do material compósito por infusão a vácuo	126
Fig. 58 – Modelo de layout de retirada de corpos de prova	127
Fig. 59 – Medição de corpos-de-prova para determinação da densidade	128
Fig. 60 – Determinação da densidade em imersão em água	129
Fig. 61 – Dinamômetro utilizado para ensaios de tração	130
Fig. 62 – Dinamômetro utilizado para ensaios de flexão	131
Fig. 63 – Medição de corpos-de-prova para determinação em três pontos.	131
Fig. 64 – Mapa de experiência e cartões do <i>Ma2e4-toolkit</i>	134

Fig. 65 – Mapa de caracterização da experiência adaptado	135
Fig. 66 – Cartão de vocabulário afetivo	136
Fig. 67 – Cartão de vocabulário interpretativo	136
Fig. 68 – Fluxo de uso do aplicativo para pesquisadores	138
Fig. 69 – Fluxo de uso do aplicativo para usuários	138
Fig. 70 – Modelo de envio de amostras para análise no aplicativo X-MAT	139
Fig. 71 – Fluxo de análise de materiais no aplicativo X-MAT	140
Fig. 72 – Fluxo de análise de materiais no aplicativo X-MAT	141
Fig. 73 – Modelo de associação de significados	144
Fig. 74 – Placa de compósito desenvolvida, Material 1 - compósito de tururi e resina poliuretana à base de mamona; e Material 2 - compósito de tururi e resina epóxi	152
Fig. 75 – Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus Densidade	153
Fig. 76 – Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus Teor de Umidade	154
Fig. 77 – Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus suas propriedades mecânicas de tração	157
Fig. 78 – Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus suas propriedades mecânicas de flexão	160
Fig. 79 – Gráfico para as diferenças entre os valores médios da resistência à flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP	162
Fig. 80 – Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus módulo de flexão	163
Fig. 81 – Gráfico para as diferenças entre os valores médios do módulo de flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP	165
Fig. 82 – Micrografias longitudinais da fibra de tururi. (a) ampliação de 20x e indicação de escala correspondente a 5000 microns; (b) ampliação de 32x e indicação de escala correspondente a 500 microns; (c) ampliação de 80x e indicação de escala correspondente de 500 microns; (d) ampliação de 128x e indicação de escala correspondente a 500 microns	166
Fig. 83 – Corte da placa de compósito com serra circular manual	167
Fig. 84 – Análise visual de corte com serra de bancada	167
Fig. 85 – Corte circular na placa de compósito	168
Fig. 86 – Análise visual de corte com serra “tico-tico”	168
Fig. 87 – Análise visual de furo	169
Fig. 88 – Análise visual de escareamento e inserção de parafuso	169
Fig. 89 – Diferença entre as faces do compósito	170

Fig. 90 – Diferença entre a região polida (no retângulo azul) e a original	170
Fig. 91 – Amostras utilizadas durante a oficina com o mapa de experiência	171
Fig. 92 – Materiais da oficina, por participante	172
Fig. 93 – Análise de uma participante durante a oficina	173
Fig. 94 – Análise do nível interativo	174
Fig. 95 – Análise do nível sensorial	174
Fig. 96 – Análise do nível afetivo	175
Fig. 97 – Análise do nível interativo	176
Fig. 98 – Primeiro esboço em baixa fidelidade do aplicativo X-MAT	178
Fig. 99 – Primeiro fluxograma do aplicativo X-MAT	179
Fig. 100 – Desenho em baixa fidelidade do aplicativo X-MAT	180
Fig. 101 – Fluxograma do aplicativo X-MAT	181
Fig. 102 – Cores do aplicativo X-MAT	182
Fig. 103 – Botões do aplicativo X-MAT	182
Fig. 104 – Tela de início do aplicativo	183
Fig. 105 – Acessos usuários e pesquisadores	183
Fig. 106 – Telas de análise sensorial tátil e visual	184
Fig. 107 – Tela de análise interpretativa	184
Fig. 108 – Tela de análise afetiva	185
Fig. 109 – Resultado dos testes de experiência com usuários	190
Fig. 110 – Modelo de associação de termos	190
Fig. 111 – Brainstorming de possíveis aplicações	191
Fig. 112 – Painel semântico de propostas de aplicação	192
Fig. 113 – Associação de produtos e significados pontuados por usuários	192
Fig. 114 – Compósito aplicado em escudo de guitarra	193
Fig. 115 – Compósito aplicado em escudo de guitarra	194
Fig. 116 – Detalhe do escudo de compósito de tururi e resina epóxi	194
Fig. 117 – Desenho técnico do escudo fabricado	195
Fig. 118 – Resumo das etapas de exploração do material	197

Lista de tabelas

Tabela 1 – Propriedades físicas da fibra de tururi	113
Tabela 2 – Comparação de propriedades mecânicas de fibras vegetais	113
Tabela 3 – Resistência à tração de compósitos com fibras vegetais e resina epóxi	114
Tabela 4 – Comparação entre testes de impacto para compósitos de tururi	115
Tabela 5 – Características da resina epóxi vinil éster	121
Tabela 6 – Layouts dos compósitos (M: compósito matriz mamona com fibras de tururi; e E: matriz epóxi com fibras de tururi)	122
Tabela 7 – Resultado de medição da espessura	151
Tabela 8 – Resultados do ensaio de tração dos compósitos com fibras de tururi	155
Tabela 9 – Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de tração dos compósitos com fibras de tururi	158
Tabela 10 – Resultados de resistência à flexão dos compósitos com fibras de tururi	158
Tabela 11 – Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de flexão dos compósitos com fibras de tururi	160
Tabela 12 – Resultados obtidos para as diferenças entre os valores médios da resistência à flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP	161
Tabela 13 – Resultados de módulo de flexão dos compósitos com fibras de tururi	162
Tabela 14 – Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de flexão dos compósitos com fibras de tururi	164
Tabela 15 – Resultados obtidos para as diferenças entre os valores médios de módulo de flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP	164

Lista de quadros

Quadro 1 – Etapas da pesquisa	29
Quadro 2 – O papel das novas tecnologias na ciência	37
Quadro 3 – Principais áreas de estudo de materiais	38
Quadro 4 – Possíveis atributos objetivos e subjetivos dos materiais	39
Quadro 5 – Revisão de diferentes fontes que definem os aspectos materiais eficazes para o processo de seleção de materiais	41
Quadro 6 – Disciplinas de materiais em graduação de Design no Brasil, por região	45
Quadro 7 – Lista de Propriedades Sensoriais	60
Quadro 8 – Lista de atributos percebidos nos produtos	63
Quadro 9 – Propriedades Sensoriais	75
Quadro 10 – Descritores de componentes estético-sensoriais dos materiais	80
Quadro 11 – Tipos de manipulação de materiais	94
Quadro 12 – Principais atributos técnicos dos materiais	95
Quadro 13 – Perfis de junção	96
Quadro 14 – Principais perfis de acabamento de superfície artesanais	97
Quadro 15 – Relação entre pesquisas e etapas utilizadas no aplicativo X-MAT	137
Quadro 16 – Relação entre análises utilizadas e propriedades do material	178

Lista de equações

Equação 1	128
Equação 2	129
Equação 3	132

Sumário

1. Introdução à pesquisa	19
1.1. Justificativa	21
1.2. Objetivos	23
1.2.1. Objetivo geral	23
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. Questão central da pesquisa	23
1.3.1. Subproblemas da pesquisa	24
1.3.1.1. Subproblema 1	24
1.3.1.2. Subproblema 2	24
1.3.1.3. Subproblema 3	24
1.3.1.4. Subproblema 4	24
2. Método de pesquisa	26
2.1. Procedimentos metodológicos	29
2.2. Definições de conceitos e termos	31
3. Quadro referencial teórico	34
3.1. Introdução	34
3.2. Materiais e Design	36
3.2.1. Definição	36
3.2.2. Métodos projetuais clássicos	40
3.2.3. Metodologias alternativas	46
3.2.3.1. <i>Material Driven Design</i>	48
3.2.3.2. <i>DIY Materials</i>	52
3.3. Experiência com o material	56
3.3.1. Definição	56
3.3.2. Experiências sensoriais	59
3.3.3. Experiências emocionais	60
3.3.4. Experiências interpretativas	62
3.3.5. Experiências interativas	64
3.3.6. Métodos e ferramentas	65

3.3.6.1. MoM	66
3.3.6.2. <i>The Expressive-sensorial Atlas</i>	68
3.3.6.3. <i>Ma2e4-toolkit</i>	70
3.3.6.4. Permatius	74
3.3.6.5. Ferramentas para tradução interdisciplinar de experiências materiais	76
3.3.6.6. Piselli <i>et al.</i>	77
4. Método Espiral	81
4.1. Introdução	81
4.2. Etapas do método do <i>eXpiral</i>	84
4.2.1. Etapa I: Seleção do material	84
4.2.2. Etapa II: Compreensão do material	88
4.2.3. Etapa III: Manipulação do material	92
4.2.4. Etapa IV: A experiência dos usuários com o material	99
4.2.5. Etapa V: Aplicação do material	101
4.2.6. Etapa VI: Apresentação do material	102
4.2.7. Etapa VII: Revisão e iteração do projeto	104
5. Método Espiral - Aplicação	105
5.1. Etapa I: Seleção do material	106
5.1.1. Investigação	106
5.1.2. Questionamento	109
5.1.3. Escolha	111
5.2. Etapa II: Compreensão do material	111
5.2.1. Ciclo de vida do material	115
5.3. Etapa III: Manipulação do material	116
5.3.1. Preparação	117
5.3.2. Manipulação	120
5.3.3. Layout dos compósitos	121
5.3.4. Transformação	122
5.3.4.1. Processo de fabricação dos compósitos	122
5.3.5. Verificação	126
5.3.5.1 Layout de corte dos corpos de prova	127
5.3.5.2 Densidade e teor de umidade	128

5.3.5.3 Teste de resistência a tração de materiais compósitos	129
5.3.5.4 Teste para propriedades flexurais de materiais compósitos	130
5.3.5.5 Análise estatística	132
5.3.5.6 Trabalhabilidade	132
5.4. Etapa IV: A experiência com o material	133
5.5. Etapa V: Aplicação do material	142
5.5.1. Definição e análise do problema	142
5.5.2. Requisitos de projeto	143
5.5.3. Criatividade	143
5.6. Etapa VI: Apresentação do material	144
5.7. Etapa VII: Revisão e iteração do projeto	145
6. Resultados e discussão	146
6.1. Método <i>eXpiral</i> aplicado	148
6.1.1. Etapa I e II: seleção e compreensão do material	148
6.1.2. Etapa III: manipulação do material	150
6.1.2.1. Preparação	151
6.1.2.2. Materiais compósitos	152
6.1.2.3. Densidade dos materiais compósitos	153
6.1.2.4. Teor de umidade dos materiais compósitos	154
6.1.2.5. Ensaio de resistência à tração dos materiais compósitos	155
6.1.2.6. Ensaio de resistência à flexão dos materiais compósitos	158
6.1.2.7. Trabalhabilidade do material	166
6.1.3. Etapa IV: experiência com o material	170
6.1.3.1. Mapa de experiência	171
6.1.3.2. Aplicativo X-MAT	177
6.1.4. Etapas V, VI e VII: aplicação, apresentação e iteração	187
6.1.5. Método <i>eXpiral</i> sintetizado	196
Conclusões	198
Referências	204
Apêndices	215

CAPÍTULO I

Introdução à pesquisa

Os materiais têm desempenhado inúmeras funções nas culturas das sociedades pós-industriais ocidentais. Centro de grande parte das discussões ambientais e tecnológicas, são analisados, revisitados e modificados em uma busca constante por melhores práticas, sejam requisitos ambientais, energéticos ou no aprimoramento da qualidade dos objetos. Neste cenário, o design de produtos mostra-se um campo de novas aplicações, que pode ser o motor para uma mudança cultural na forma como as inúmeras possibilidades materiais são utilizadas e percebidas.

Bonsiepe (2012) aponta que o designer de produto tem capacidade de assumir a responsabilidade por tais melhorias, e menciona como a utilização de recursos como maquinário, processos produtivos e materiais pode resultar em produtos e serviços com qualidades funcionais e estéticas superiores. O autor também relembra o papel da metodologia projetual na busca por tais aprimoramentos: uma sequência lógica de passos que os profissionais da área devem seguir, desde a formulação do problema até a elaboração de propostas para solucionar as questões delimitadas.

Partindo dos pressupostos de Bonsiepe (2012) para uma metodologia projetual adequada à realidade do século XXI, é importante pontuar a busca por alternativas que se adéquem à complexidade dos problemas contemporâneos. Isso implica compreender

o papel da produção em um contexto político, econômico e geográfico, bem como considerar a disponibilidade de recursos tecnológicos e ambientais. Sobre este último aspecto, visando as práticas pertinentes à realidade brasileira, há oportunidades para um movimento criativo: a exploração das potencialidades locais, com foco em uma abordagem voltada ao projeto e adaptando o processo para diferentes realidades, promovendo assim a inovação.

Quanto às potencialidades locais, é notório o aumento da conscientização a respeito dos problemas ambientais nas últimas décadas, o que tem conduzido a uma maior discussão e reorientação dos comportamentos sociais e industriais. Nesse cenário, o design de produtos pode promover a utilização de recursos renováveis, como as fibras naturais, que têm sido exaustivamente estudadas devido ao seu caráter de matéria-prima biodegradável e ao seu potencial de aplicação em diversas áreas, desde a indústria têxtil até os compósitos ecológicos (Kozlowski *et al.*, 2005).

Mesmo diante dessas diversas oportunidades, designers de produto ainda pouco exploram o potencial da metodologia projetual voltada ao desenvolvimento de novos materiais – em grande parte, por estarem condicionados extensivamente ao estudo de aplicação dos materiais existentes em seus projetos. Destaca-se aqui esta questão, uma vez que representa um campo que permite avanços no design de produtos, podendo ser gerador de novas experiências e comportamentos entre os usuários. Os designers têm a possibilidade de mudar sua abordagem quanto aos materiais, deixando de ser meros selecionadores de alternativas para se tornarem geradores e pensadores originais que, a partir de um diálogo direto com os produtores e engenheiros, impulsionam o desenvolvimento e a aplicação de novos materiais em suas criações (Ashby; Johnson, 2011).

Recentes pesquisas incentivam e direcionam os designers e profissionais de áreas afins na criação e desenvolvimento das novas propostas de materiais, tendo como base os processos criativos pertinentes ao campo do design. Métodos como o *Material Driven Design* (MDD), de Karana *et al.* (2015), e o *DIY Materials*, de Rognoli *et al.* (2015) podem ser considerados uma forma inovadora de se trabalhar novos materiais, situando-os como ponto de partida no processo de design e definindo-se padrões para a criação de produtos baseados na experiência dos usuários e dos criadores. Estes métodos permitem que a criatividade seja o motor no processo de desenvolvimento de materiais, investigando

desde as primeiras etapas como estes se relacionam com a produção de novos produtos.

Para que os métodos experimentais alcancem uma plena eficácia, todavia, é necessário que se estabeleça uma ponte entre as práticas criativas e a metodologia formal de desenvolvimento de materiais. Promover uma abordagem metodológica interdisciplinar, que leve em consideração os principais aspectos de cada área, adaptando-os e dando origem a um processo iterativo compartilhado, é de suma importância.

Partindo-se de tal definição, esta tese perpassa várias etapas do trabalho interdisciplinar entre o design de produtos e a engenharia de materiais. Demonstra-se como o designer pode participar do processo de exploração de potencialidades locais, manipulação criativa de materiais, compreensão de aspectos técnicos, investigação da experiência dos usuários e aplicação, com base em todas as análises realizadas, em um projeto de produto. Reforça-se a relevância da experiência de planejar, investigar, modificar e participar ativamente de todos os processos de desenvolvimento de um novo material, tendo a criatividade como força motriz.

1.1

Justificativa

O Design transforma materiais em produtos comercializáveis mediante processos criativos e técnicos. Aplicar seus processos metodológicos à criação de materiais possibilitará que o designer explore a concepção e desenvolvimento de novos materiais, abrangendo todas as etapas desse ato projetual. Esta integração entre as áreas do design e das engenharias é importante devido às possibilidades criativas passíveis de serem aplicadas no desenvolvimento de novos materiais, principalmente no que diz respeito à experiência dos usuários com essas novas propostas. Assim, o papel do designer se amplia para além do projeto e desenvolvimento de produtos e processos, visando também encontrar soluções que abarquem outras nuances, como os requisitos ambientais e sociais.

O desenvolvimento de novos materiais por designers ainda não é um processo amplamente difundido e aceito. Isso porque, em muitos casos, os processos técnicos da engenharia de materiais se sobrepõem aos processos criativos, entendidos como mais importantes ou relevantes para o funcionamento adequado dos processos produtivos e a segurança no uso dos produtos. Entretanto, os estudos citados de Karana *et al.* (2015) e Rognoli *et al.* (2015) demonstram que a incursão de designers nessa área não

somente é viável, como também é desejável, por incorporar a esse processo aspectos sensoriais e subjetivos normalmente desconsiderados pelas ciências exatas. Contudo, estes mesmos métodos propostos pelas autoras falham em sua aplicação ao não estabelecer procedimentos para a caracterização física dos novos materiais, o que limita sua aplicabilidade no desenvolvimento de novos produtos.

Por esta razão, justifica-se a presente pesquisa, pela necessidade de gerar uma nova abordagem a partir dos métodos propostos pelas autoras, que permita aos acadêmicos, pesquisadores e profissionais de design desenvolver de forma criativa todas as etapas da concepção de novos materiais, perpassando atributos tangíveis (técnicos e dimensões de uso), intangíveis (a experiência com o material) e aplicações em novos produtos.

A relevância acadêmica repousa em uma nova proposta metodológica que possa ser aplicada no ensino e nas experimentações dos designers de produto, unindo suas capacidades investigativas, exploratórias e criativas em projetos de novos materiais. Também reforça o olhar criativo sobre as potencialidades locais, quanto aos materiais que podem ser explorados. Além disso, discute-se o ensino de design sobre materiais e a necessidade do trabalho interdisciplinar para a compreensão e aplicação de novos materiais.

A relação entre as áreas do design, engenharia de materiais e experiência do usuário é também uma importante questão nesta pesquisa; pois, como exposto por Manzini (1993), há um grande intervalo de tempo entre o desenvolvimento de novos materiais e sua efetiva aplicação na indústria. Tal demora é justificada por diversos motivos científicos, técnicos e econômicos; todavia, também se aponta a ausência de uma rede de significados para o novo material. Durante as etapas de pesquisa e desenvolvimento, há pouca aproximação com os possíveis usuários, o que resulta em lacunas sobre como o material é compreendido, sentido, interpretado e manipulado. Ressalta-se que as análises da experiência do usuário são úteis durante todo o planejamento – seja de um material ou de produto –, pois permitem a adaptação das criações para uma maior aceitação, fundamentando-se nos princípios identificados durante a condução dessas análises.

Com esta perspectiva justifica-se a presente pesquisa, como um possível caminho para promover um trabalho interdisciplinar entre o design e a engenharia de materiais. Aproveita-se a visão criativa do designer, suas possibilidades de explorar a experiência dos usuários, bem como o viés técnico da engenharia, que assegura a replicabilidade

e o conhecimento das propriedades dos novos materiais. O método proposto pela tese perpassa todas essas questões de forma estruturada, com a intenção de ser aplicado tanto no ensino sobre materiais quanto em ambientes profissionais e de pesquisa.

1.2

Objetivos

1.2.1

Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é propor um método para a criação, avaliação e aplicação em produtos de novos materiais, a partir de experimentos empíricos, associados à metodologia projetual do campo do design.

1.2.2

Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar e validar procedimentos para seleção de um material a ser explorado, incluindo manipulação, análise mecânica e teste de trabalhabilidade;
2. Desenvolver e testar procedimentos para avaliação da experiência dos usuários com o material desenvolvido, por meio de ferramentas qualitativas;
3. Elaborar e testar procedimentos para definição dos padrões técnicos e de experiência do material, indicando sua possível aplicação em produto de acordo com os resultados obtidos;
4. Desenvolver uma aplicação-teste para o método, a fim de testar as etapas constituintes e sua eficiência na geração de um novo material, bem como sua aplicação no design de produtos.

1.3

Questão central da pesquisa

Como estabelecer um novo método que permita aos designers desenvolver e avaliar novos materiais, levando em conta a percepção das características semânticas e estéticas, bem como a avaliação de aspectos físicos e funcionais dos materiais, cuja eficácia seja

validada por meio de experimentos indutivos empíricos envolvendo os usuários, e seja complementada por ensaios mecânicos de caracterização para verificar as potencialidades técnicas dos materiais em questão?

1.3.1

Subproblemas da pesquisa

1.3.1.1

Subproblema 1

Como se desenvolve a **manipulação de materiais**, segundo a perspectiva dos designers?

1.3.1.2

Subproblema 2

Como se desenvolve a relação de **experiência com um material**, segundo a perspectiva dos usuários?

1.3.1.3

Subproblema 3

Como se insere a **caracterização física do novo material** no processo metodológico do design?

1.3.1.4

Subproblema 4

Como se organiza a interação entre as etapas de **manipulação de materiais, sua caracterização, experiência de usuários e sua aplicação** em um projeto de design?

CAPÍTULO II

Método de pesquisa

Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa exploratória, uma vez que considera a perspectiva de diversos atores e participantes, aplicando uma variedade de abordagens e de métodos, e trazendo a reflexividade entre a pesquisadora e a pesquisa. É importante ressaltar que o objetivo não é estabelecer causalidade ou quantificar fenômenos, tampouco formular leis gerais ou generalizar suas descobertas, conforme indica Flick (2009, p. 21-23). Os dados obtidos, por sua vez, são analisados indutivamente, tendo o processo e seus significados como focos principais da investigação.

Os procedimentos metodológicos que dão suporte a esta abordagem qualitativa têm como objetivo: o controle da pesquisa, a definição de como os dados são adquiridos, a organização de suas relações lógicas e o estabelecimento de uma abordagem para refiná-los e sintetizá-los (Silva; Menezes, 2003).

Por sua natureza, a presente pesquisa é flexível em relação a suas estratégias e métodos de coleta de dados, conforme indica Gray (2012, p. 137). Pode ser definida como pesquisa aplicada, pois visa resolver problemas práticos e aplica conhecimentos teóricos para aprimorar práticas existentes, sendo direcionada para a aplicação direta de seus resultados à solução de problemas reais para o avanço das tecnologias e técnicas utilizadas no campo da criação de materiais para o design.

Essa abordagem busca contribuir tanto para a melhoria da sociedade quanto da indústria, em seus aspectos práticos. Seus resultados serão aplicados no desenvolvimento de novos produtos e na otimização de processos, bem como aprimorar a eficiência dos processos e sua aplicação em realidades locais (Yin, 2015; Creswell, J. W.; Creswell, J. D., 2021). Também se identifica como pesquisa exploratória, uma vez que investiga aspectos metodológicos de criação de materiais para o design de forma mais abrangente e superficial, a fim de proporcionar maior familiaridade com o tema e gerar novos insights para pesquisas futuras mais detalhadas. Trata-se de uma etapa inicial na definição deste problema de pesquisa, para um futuro delineamento de estudos mais complexos. Desse modo, esta pesquisa exploratória visa entender o contexto da pesquisa em criação de materiais para o design, identificando variáveis relevantes e buscando compreender as relações entre elas para propor novas abordagens à sua aplicação (Lakatos; Marconi, 2021).

Os procedimentos metodológicos adotados incluíram o levantamento bibliográfico e a análise de exemplos notáveis que norteiam a questão fundamental. Ademais, realizou-se a análise temática dos dados para compreender os padrões associativos presentes nos exemplos analisados. Também foi conduzida uma experimentação empírica, que consistiu na aplicação da abordagem teórica proposta a um caso específico, visando compreender se os procedimentos elencados eram efetivamente aplicáveis a uma situação real (Gray, 2012).

Para análise dos dados, utilizou-se a análise temática comparativa. Nesse caso, a análise temática foi empregada para identificar e explorar os temas emergentes nos dados levantados, e, posteriormente, adotou-se a abordagem comparativa para examinar e comparar os temas encontrados entre diferentes grupos ou contextos. A análise temática comparativa possibilita a identificação dos principais temas nos dados, bem como a compreensão das semelhanças e diferenças entre esses temas em diferentes grupos ou situações. Tal procedimento se mostrou particularmente útil, dada a natureza comparativa desta pesquisa que envolve diferentes grupos: designers, engenheiros e usuários. Esta abordagem permitiu uma análise mais aprofundada, ao incorporar tanto a identificação de temas (análise temática) quanto a comparação entre os temas nos diferentes contextos (abordagem comparativa).

A escolha por esta forma de tratamento de dados foi motivada pela intensidade e

profundidade propostas nas análises, que envolveram tanto as observações da pesquisadora quanto as respostas captadas por temas e categorias. Isso facilitou o intercâmbio de informações entre as duas áreas estudadas (design e engenharia de materiais). A análise perpassou três fases: (1) Desmontagem dos textos; (2) Estabelecimento de relações entre as unidades; (3) Captação do novo emergente. Cada uma dessas fases se subdividiu conforme descrito abaixo:

(1) Desmontagem dos textos:

- **Preparação dos dados:** organização e familiarização com os dados coletados para organização dos grupos temáticos.
- **Análise temática em cada grupo:** identificação dos temas emergentes em cada conjunto

(2) Estabelecimento de relações entre as unidades;

- **Identificação de temas comuns e diferentes:** comparação dos temas identificados em cada grupo para estabelecer relações de similaridade e diferenças.
- **Análise das semelhanças e diferenças:** exploração das semelhanças e diferenças nos temas entre os grupos, buscando compreender suas particularidades.

(3) Captação do novo emergente

- **Síntese dos resultados comparativos:** síntese dos achados da pesquisa, destacando as semelhanças e diferenças entre os temas e discutindo suas implicações.

Os procedimentos descritos acima foram empregados em todas as etapas da pesquisa qualitativa, que compreendeu a abordagem metodológica de criação de materiais para o design. Como última etapa do estudo, foi realizada a aplicação do novo método em um caso real, que envolveu também aspectos quantitativos para a caracterização física do material desenvolvido. Portanto, nesta etapa final de validação, tornou-se necessário utilizar a análise estatística para compreender os dados obtidos após os ensaios de caracterização do material.¹

Foi utilizada a análise de variância (ANOVA), através do teste F, para verificar se existiam diferenças significativas entre as médias dos resultados obtidos nos ensaios mecânicos. Para comparar os meios de tratamento foi aplicado o teste de Diferença

¹ Os dados referentes aos ensaios realizados no material estão expostos no Apêndice 7

Significativa de Tukey (teste posterior).

O nível de significância adotado foi de (α) de 5%, tendo como Hipótese nula (H0) – equivalência entre médias; na qual, para valores de P inferiores a α , rejeita-se H0. A análise estatística foi conduzida utilizando integralmente o ambiente R CORE TEAM (2020) e o ambiente de desenvolvimento integrado R STUDIO TEAM (2020), com apoio de pacotes adicionais.

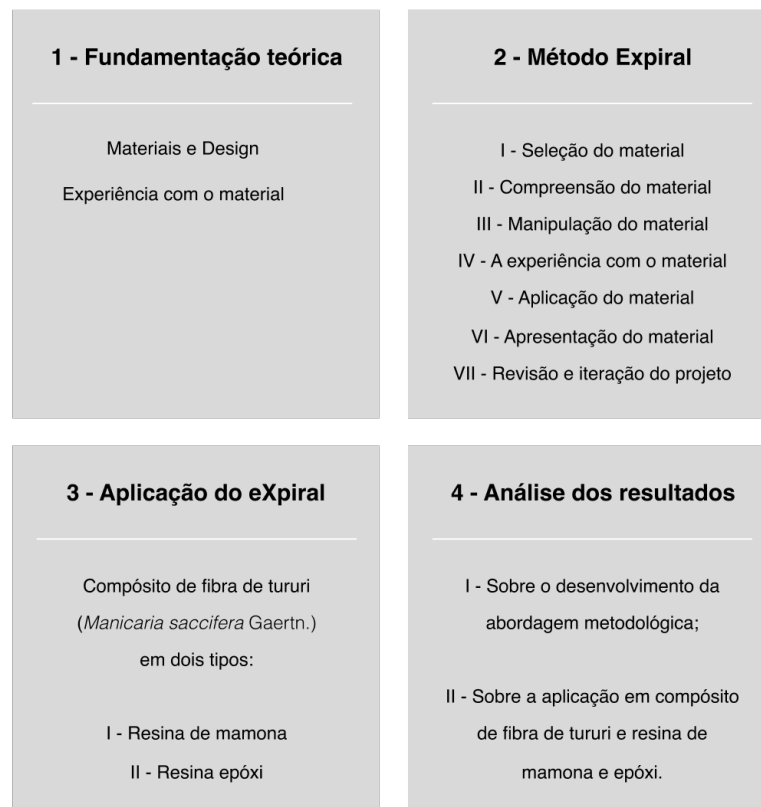
2.1

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos apresentados desempenharam um papel fundamental na condução desta pesquisa de doutorado, ao proporcionar um roteiro estruturado e assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos. As etapas da pesquisa são sintetizadas no **Quadro 1**, e explanadas em sequência.

Quadro 1 - Etapas da pesquisa.

Fonte: Monteiro (2023).



A primeira etapa da pesquisa foi a fundamentação teórica necessária ao aprofundamento das questões pertinentes ao estudo. Sua elaboração se deu por meio da pesquisa

bibliográfica. A fundamentação teórica foi dividida em duas grandes partes, descritas abaixo:

i) A primeira parte diz respeito aos materiais e ao design de produtos, com foco nas metodologias projetuais: buscou-se compreender a relação entre a área e os materiais, analisando metodologias tradicionais de criação de produtos e também novas metodologias que focam no desenvolvimento de materiais, de modo a elaborar uma crítica às abordagens existentes.

ii) A segunda parte trata da síntese dos dados obtidos acima para elaboração de um novo método para a criação de materiais para o design a partir da experiência, investigando os aspectos tangíveis e intangíveis que permeiam os materiais; também aborda as ferramentas que permitem a análise qualitativa dos materiais e como estas análises podem ser mais bem aproveitadas no design de produtos;

O método, doravante denominado **eXpiral** e apresentado nesta segunda etapa, foi desenvolvido a partir da aplicação e crítica das ferramentas *Material Driven Design* (MDD), proposta por Karana *et al.* (2015), e *Ma2E4*, desenvolvida por Camere e Karana (2018); além das pesquisas de Wilkes *et al.* (2015) e Piselli *et al.* (2018) sobre as questões sensoriais dos materiais.

Na terceira etapa, é descrita e realizada uma aplicação-teste do método **eXpiral**, por meio do desenvolvimento de um novo material utilizando os métodos apresentados nas pesquisas de Seyam *et al.* (2017) e Rodrigues (2014) para fabricação de compósitos poliméricos com fibras vegetais, utilizando o método de infusão a vácuo. Para definição da experiência dos usuários com este novo material, utilizou-se uma adaptação da ferramenta *Ma2E4 Toolkit*, de Camere e Karana (2018), denominada **mapa de experiência**; e também o aplicativo **X MAT**, originalmente desenvolvido por esta pesquisa, com base nas ferramentas de Camere e Karana (2018), Wilkes *et al.* (2015) e Piselli *et al.*, (2018) para apreensão de análises sensoriais, emocionais, visuais e interpretativas dos materiais. Ao final do método, após a realização de todas as análises, é proposta uma especulação projetual para aplicação do novo material.

Como finalização do estudo, na quarta etapa, os resultados foram discutidos com base em uma análise textual discursiva para as questões intangíveis (relativas à experiência dos usuários) e uma análise estatística para as questões tangíveis (caracterização dos ensaios realizados para determinação de propriedades mecânicas do novo material). A análise geral da aplicação do **eXpiral** utilizou novamente a análise comparativa, visando

identificar as semelhanças e diferenças obtidas a partir dos novos procedimentos propostos, em comparação com os procedimentos originalmente descritos na literatura – o que permitiu apontar as vantagens e desvantagens percebidas na nova proposta, além de fornecer direcionamentos para futuras aplicações em outros contextos.

2.2

Definições de conceitos e termos

A seguir, serão apresentados alguns conceitos e termos utilizados nesta pesquisa, de modo a estabelecer um conjunto coeso de definições.

Design de produto

“(…) o exercício das capacidades projetuais para interpretar as necessidades de grupos sociais e elaborar propostas viáveis, emancipatórias, em forma de artefatos instrumentais e artefatos semióticos” (Bonsiepe, 2011, p. 21).

“(…) deve ser entendido no seu significado mais amplo e atual, que não se aplica somente um produto físico (definido por material, forma e função) mas que se estende ao sistema-produto” (Manzini; Vezzoli, 2008, p. 19).

Abordagem Metodológica

“(…) guia metodológico (...) de natureza prática, como tamanho da amostra, forma de seleção dos participantes, instrumentos e técnicas usados para coletar dados e a forma como os estudos reportam o processo de análise dos dados” (Teodoro et al., 2018, p. 4).

Experiência do usuário

“(…) abrange todos os aspectos da interação do usuário final com a empresa, seus serviços e produtos. (...). Para alcançar uma experiência de usuário de alta qualidade (...), deve haver uma fusão perfeita dos serviços de diversas disciplinas, incluindo engenharia, marketing, design gráfico e industrial, e design de interface” (Nielsen Norman Group, 2023,

tradução nossa).²

Experiência com materiais

“(…) as experiências que as pessoas têm com e através dos materiais de um produto; bem como o conhecimento e as habilidades que os designers devem possuir se quiserem ‘projetar para a experiência’ por meio da aplicação de materiais” (Pedgley *et al.*, 2016, p. 614, tradução nossa).³

Ciência de Materiais

“(…) ciência dos materiais envolve a investigação das relações que existem entre as estruturas e as propriedades materiais” (Callister, 2002, p. 2).

“O estudo científico de materiais – a ciência dos materiais – procura entender as origens fundamentais das propriedades do material e, por fim, manipulá-las” (Ashby; Johnson, 2011, p. 56).

Engenharia de materiais

“(…) a engenharia de materiais consiste, com base nessas correlações estrutura-propriedade, no projeto ou engenharia da estrutura de um material para produzir um conjunto predeterminado de propriedades” (Callister, 2002, p. 2).

Compósitos

“(…) são combinações de dois ou mais materiais em uma configuração e escala predeterminada. Combinam as propriedades atraentes das outras famílias de materiais e ao mesmo tempo evitam algumas de suas desvantagens” (Ashby, 2012, p. 30).

²“(…) encompasses all aspects of the end-user’s interaction with the company, its services, and its products. (...). In order to achieve high-quality user experience in a company’s offerings there must be a seamless merging of the services of multiple disciplines, including engineering, marketing, graphical and industrial design, and interface design” (Nielsen Norman Group, 2023).

³“(…) as both the experiences that people have with, and through, the materials of a product; as well as the knowledge and skills that designers must possess if they are to ‘design for experience’ through the application of materials” (Pedgley *et al.*, 2016, p. 614).

Projeto

“(…) é o processo de traduzir uma nova ideia ou uma necessidade de mercado em informações detalhadas com as quais pode-se fabricar um produto. Cada um desses estágios exige decisões sobre os materiais com os quais o produto será feito (…)” (Ashby, 2012, p. 2).

Atributos técnicos

“Esses são os dados necessários para o projeto técnico – para o cálculo de cargas de segurança, temperaturas, fluxos de calor e vida útil em operação” (Ashby; Johnson, 2011, p. 57).

CAPÍTULO III

Quadro Referencial Teórico

3.1

Introdução

Desde a instituição do design como área de conhecimento técnico-científico, percebe-se a grande importância dos materiais, que permitem com que a criação humana seja materializada em um produto. A exploração criativa, elemento chave da atitude projetual, rompe barreiras ao adentrar campos dominados pela rigidez científica e forja uma nova modalidade de conhecimento: exploratório, experimental e inovador. Tradicionalmente, não houve espaço para a inserção das atividades criativas nas ciências exatas, como é o caso da atuação do design com as engenharias. Todavia, nos últimos anos urge a necessidade de unir esforços, fazendo da pesquisa interdisciplinar um espaço para a inovação (Ashby; Johnson, 2011).

Há também necessidade de se questionar o porquê das criações, tendo em vista as questões ambientais e sociais que novos produtos acarretam e que se tornam cada vez mais presentes nas discussões de design por conta das inúmeras problemáticas que anos de crescimento acelerado causaram. Sobre a experiência humana, faz-se urgente entender o que as pessoas esperam e como se relacionam com a matéria, para que

as pesquisas e produções humanas não existam desprendidas de necessidades reais e tomem em consideração os sentimentos, interpretações e interações dos usuários (Manzini, 1993).

Para compreender tais questões, a revisão de literatura desenvolvida nesta tese buscou elencar conhecimentos relacionados ao objeto de estudo, materiais e design, de maneira a elucidar com clareza as questões teóricas pertinentes à compreensão da pesquisa. São apresentadas as principais considerações sobre as temáticas: materiais e o design; metodologia projetual e experiência com materiais. Na **Figura 1** é apresentado um diagrama com o resumo do referencial teórico utilizado.

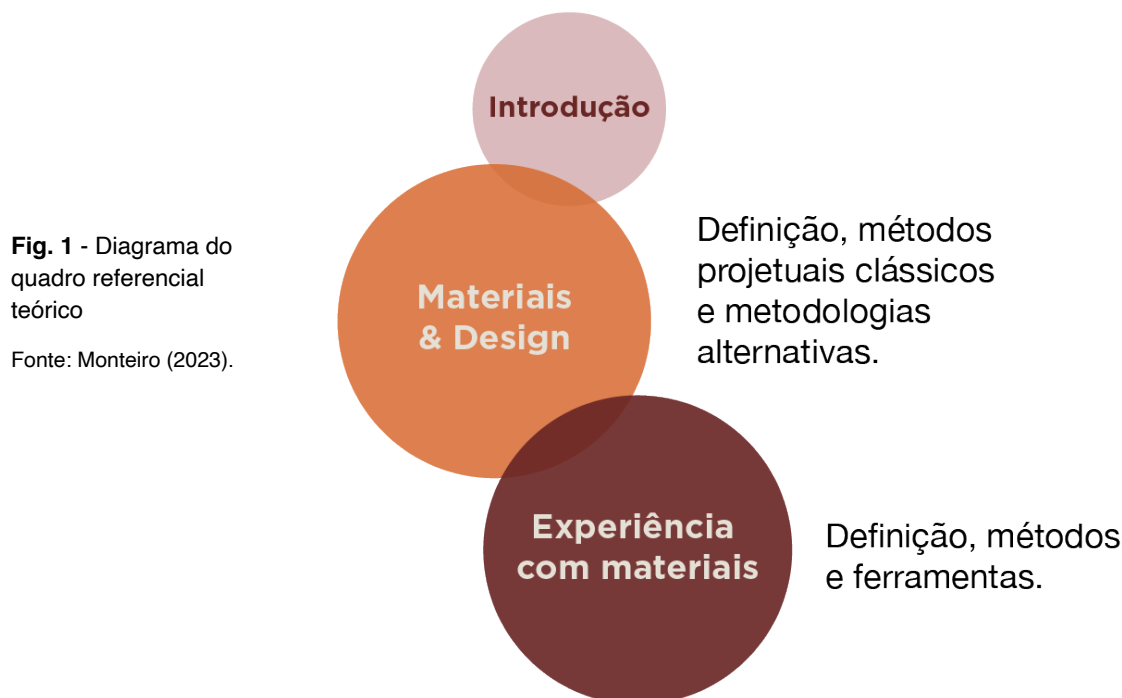


Fig. 1 - Diagrama do quadro referencial teórico

Fonte: Monteiro (2023).

A primeira parte propõe uma revisão a respeito da conceituação dos materiais no Design de Produtos. Aborda as metodologias clássicas e como a interação dos designers e materiais ocorre, focando nas principais práticas envolvidas na seleção de materiais. Em seguida são levantadas questões a respeito das metodologias alternativas, com as mudanças ocorridas nos últimos anos na metodologia projetual, analisando a mudança de postura quanto ao trabalho com os materiais por parte dos designers. Algumas metodologias alternativas para criação de materiais, como o *Material Driven Design* (Karana et al., 2015) e o *DIY Materials* (Rognoli et al., 2015) são apresentadas, levando até à apresentação de

novos materiais desenvolvidos por designers.

Na segunda parte foram explanadas questões referentes à experiência com os materiais. Conceituam-se a experiência e a compreensão dos aspectos tangíveis e intangíveis que permeiam o uso dos materiais. Trata-se também de novas práticas destinadas a relacionar emoções e a experiência com os materiais, ilustradas com a apresentação de novas abordagens metodológicas, ferramentas e *softwares* desenvolvidos para facilitar a interpretação desses comportamentos.

3.2

Materiais e Design

3.2.1

Definição

A história da humanidade é narrada por meio das grandes mudanças sociais, políticas e tecnológicas ocorridas ao longo de sua evolução. Do ponto de vista tecnológico, a relação com a matéria tem evoluído, principalmente devido à sua capacidade de manipulação. A relação derivada desse contato é tão impactante que é até mesmo utilizada para denominar algumas eras históricas, como, por exemplo, a Idade da Pedra e Idade do Bronze, demonstrando “(...) uma indicação do nível de sofisticação tecnológica alcançado por diferentes culturas” (Doordan, 2003, p. 2, tradução nossa)⁴.

Segundo Manzini (1993), durante aproximadamente um milhão de anos, a humanidade utilizou basicamente cinco materiais: madeira, pedra, osso, chifre e pele. Foi somente na revolução do período Neolítico (10.000 a.C. a 4.000 a.C.) que outros materiais foram empregados, como a lã e as fibras vegetais. A partir disso, a evolução das técnicas de trabalho gerou alternativas que viriam a marcar profundamente a vida em sociedade, como os metais, chegando à revolução industrial com uma completa transformação de operação e assim um número crescente de possibilidades tecnológicas.

A definição de material é complexa e, dependendo da disciplina em estudo, podem ser adotadas diferentes abordagens. Para Manzini (1993), um material pode ser definido como algo que, sob certas condições, se comporta de determinada maneira. Sobre as condições, podem ser considerados os sistemas de carga, as condições ambientais e

⁴ “(...) the level of technological sophistication achieved by different cultures” (Doordan, 2003, p. 2).

os sistemas de observação. Quanto ao comportamento, trata-se do desempenho deste material. Além das questões técnicas mencionadas, também há a identidade do material, que é construída conforme as condições de utilização e as significações geradas por seus usuários.

Ashby e Johnson (2011) comentam o papel da ciência frente às novas tecnologias, principalmente no que diz respeito à promoção da inovação em materiais e processos. No **Quadro 2** são apresentados alguns dos papéis das novas tecnologias com enfoque em materiais, processos e produtos. Por meio dos exemplos expostos, torna-se evidente como o encontro entre novas tecnologias e processos impulsiona requisitos que promovem progressos tecnológicos, bem como um aprofundamento nas questões estéticas e simbólicas nos produtos industriais.

Quadro 2 - O papel das novas tecnologias na ciência

Fonte: Ashby; Johnson (2011, p. 11).

Novos materiais	Novos processos	Novos produtos
Estruturais	Moldagem	Leves
Funcionais	Junção	Menos caros
Compósitos	Acabamento de superfície	Vida útil mais longa
Multicamadas		Nova funcionalidade
		Baixo impacto ambiental
		Elementos estéticos de design
		Design emocional

Aprofundando-se nesta relação, as inovações tecnológicas são submetidas a uma extensa série de estudos, até que sejam efetivamente refletidas em produtos e utilizadas em larga escala. Em particular, destacam-se aquelas que dizem respeito à criação e à manipulação de materiais. A ciência dos materiais assume o papel de compreender as origens fundamentais das propriedades intrínsecas dos materiais, considerando aspectos de suas estruturas atômicas e eletrônicas, para então manipulá-las. Entre essas propriedades, incluem-se aquelas que dizem respeito aos comportamentos físicos, mecânicos, térmicos, elétricos e ópticos.

Atualmente, apoiadas pela Física e Química, tais propriedades são amplamente conhecidas, proporcionando assim a maior ênfase de pesquisa na capacidade de manipulá-

las. Nesse contexto, a área da engenharia de materiais concentra-se especificamente nos aspectos relacionados às propriedades físico-químicas dos materiais. Por meio de uma abordagem analítica, ela descreve os objetivos e as restrições associadas a esses materiais em relação às suas aplicações. No **Quadro 3** é apresentada uma síntese de três áreas relacionadas ao estudo de materiais pertinentes a esta pesquisa.

Ciência dos materiais	Engenharia de materiais	Design de Produtos
Estudo das relações entre a estrutura de um material e suas propriedades mecânicas, elétricas, magnéticas e químicas.	Pesquisa, transformação e criação de novos materiais, além de descoberta de novas formas de uso para os já existentes.	Especificação de materiais e processos de produção em projeto de produtos.

Quadro 3 - Principais áreas de estudo de materiais

Fonte: Adaptado de Ashby; Johnson (2011).

Sobre a relação dos materiais e o design de produto, o principal aspecto de encontro entre as temáticas diz respeito à seleção de materiais. A escolha de materiais em um projeto é uma etapa central no desenvolvimento de produtos. A decisão envolve equipes multidisciplinares e é dependente de diversas variáveis. É um processo complexo e interativo, que se inicia nas primeiras fases do projeto (Calegari; Oliveira, 2014). Na **Figura 2**, expõe-se um modelo de método clássico de design de produtos, com destaque ao papel dos materiais no âmbito do processo criativo, com as diferentes especificações que influenciam na escolha, assim como as fases em que são realizadas.

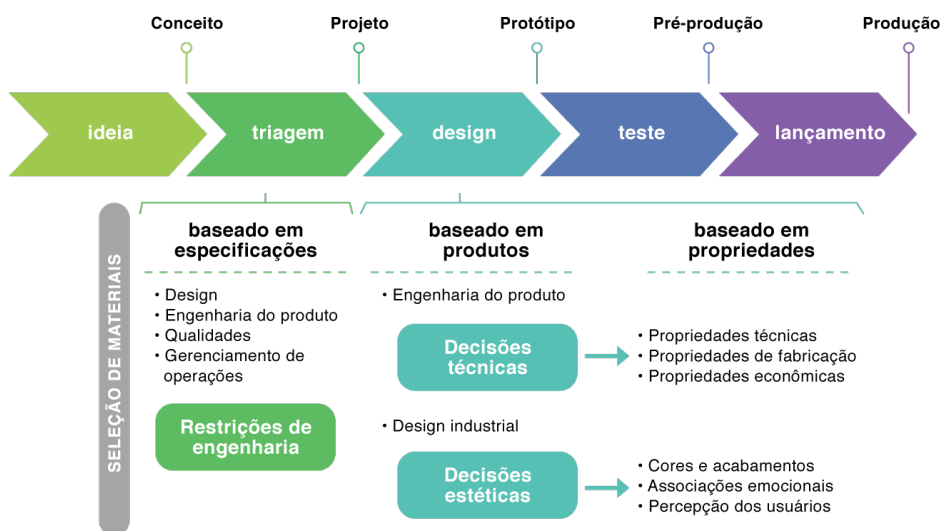


Fig. 2 - Modelo de Desenvolvimento de Produtos

Fonte: Piselli *et al.* (2018, p. 260). Adaptado por Monteiro (2023), tradução nossa.

Para o design de produtos, além das especificações técnicas e os atributos

funcionais (**Quadro 4**), outras duas nuances são de extrema importância: os atributos estéticos e simbólicos. Com estes ainda se relaciona o valor cultural, derivado da repetição de desempenho dos materiais, ou seja, o acúmulo de memória baseado no seu uso, destacando que “Materiais revelam decisões históricas, culturais, sociais e pessoais sobre as combinações ideais de forma e função do produto” (Akin; Pedgley, 2014, p. 1, tradução nossa)⁵.

Quadro 4 - Possíveis atributos objetivos e subjetivos dos materiais

Fonte: Dias (2009, p.140).

Perfil objetivo	Perfil subjetivos	
Atributos técnicos	Atributos estéticos	Outras influências
Gerais	A1 - Forma A2 - Cor	Perfil do usuário
Preço	A3 - Transparência	Característica geográfica
Densidade	A4 - Brilho A5 - Tátil e háptica A6 - Textura	A48 - Contexto geográfico
Técnicos	A7 - Som A8 - Cheiro A9 - Sabor A10 - Temperatura A11 - Prop. física e mecânica A12 - Expressão pelo processo	Característica demográfica
Atributos físicos		A49 - Gênero
Atributos mecânicos		A50 - Idade
Atributos térmicos		A51 - Profissão
Atributos elétricos		A52 - Experiência
Atributos de processo		Característica psicográfica e socioeconômica
Ambientais	Atributos práticos	A53 - Estilo de vida A54 - Barato-luxo
Legalidade	A13 - Identificação A14 - Usabilidade A15 - Ergonomia A16 - Affordance A17 - Contexto de uso A18 - Conforto A19 - Segurança e Proteção A20 - Limpeza e higiene A21 - Saúde e salubridade A22 - Sustentabilidade A23 - Qualidade A24 - Desempenho A25 - Confiabilidade A26 - Resistência A27- Eficiência Energética A28 - Durabilidade	Influência de comportamento
Disponibilidade		A55 - Tendência
Uso de recursos naturais		A56 - Consumo virtual
Impactos da extração de recursos		A57 - Consumo consciente e ético
Conteúdo energético		A58 - Benefícios
Uso de materiais locais		
Uso de materiais renováveis		
Resíduos e emissões industriais		
Conteúdo de material reaproveitado		
Potencial de reaproveitamento		
Qualidade do ambiente de uso		
Sociais		
Extração de recursos e manufatura		
Econômico	Atributos simbólicos	
Custo de ciclo de vida	A29 - Cultura e Tradição A30 - Memória A31 - Envelhecimento A32- Natural e artificial A33- Autêntico e imitação A34- Artesanal e industrial A35- Inovação A36- Identidade A37- Valor de marca A38 - Valor de imagem A39 - Preço A40 – Valor social A41- Valor Sentimental A42- Fetiche A43- Metáfora A44- Associação A45- Padrões A46- Estilo De Design A47- Personalidade	
Estéticos		
Atributos óticos		
Atributos táteis		
Atributos acústicos		
Atributos gustativos		
Atributos olfativos		
Atributos de processos		
<ul style="list-style-type: none"> • conformação • usinagem • junções • superfícies 		

⁵ “Materials reveal historical, cultural, social and personal decisions about the ideal combinations of product form and function” (Akin; Pedgley, 2014, p. 1).

No livro “A Matéria da Invenção”, Manzini (1993) cita a questão do valor cultural evocado pela memória coletiva dos materiais. Enfatiza a capacidade humana de reconhecer algo como parte de sua história, por conta da repetição de utilização. Historicamente, os materiais comumente utilizados acumularam significações próprias que lhes conferem certas possibilidades, ou seja, comportamentos previsíveis. Madeira, vidro, ferro e plástico são alguns exemplos, todos assegurados por uma profunda experiência e intimidade.

Aprofundando nas questões referentes aos métodos projetuais, a seguir trata-se das questões que envolvem os materiais no design de produto, primeiramente o seu papel nos métodos clássicos de design, passando então para as vertentes que promovem um novo direcionamento ao processo criativo, envolvendo os materiais e sua manipulação.

3.2.2

Métodos projetuais clássicos

Quanto aos métodos projetuais de design, utilizou-se nesta pesquisa a definição de Gui Bonsiepe (2012) no texto “Metodologia Clássica e metodologia alternativa.” O autor considera metodologias clássicas aquelas oriundas da década de 1960, quando houve o auge da metodologia projetual no campo do design. Caracterizada como uma academização da metodologia e sua institucionalização como disciplina universitária, mostra-se como uma tentativa de igualar a prática projetual à sistematização de outras áreas de conhecimento. A metodologia, assim, é o estudo da estruturação dos diversos métodos utilizados nos processos projetuais (Bonsiepe, 2012).

Para Papanek (1985), um método é a interação entre ferramentas, processos e materiais. O designer deve buscar métodos que façam o uso honesto e otimizado de materiais, assim como das ferramentas. No contexto dos métodos de design, a seleção de materiais é uma etapa estratégica. A escolha dos materiais em um projeto tem relação direta com a fabricação, funcionamento, posicionamento no mercado e interpretação semântica do produto. Os aspectos técnicos são os principais parâmetros na escolha, embora as questões de interpretação e semântica sejam fatores igualmente importantes (HAUG, 2019).

Karana *et al.* (2008) desenvolveram um levantamento sobre a etapa de seleção de materiais nos métodos clássicos de design, apresentados no **Quadro 5**. É notável

que os autores citados priorizam nas escolhas de materiais, os atributos técnicos e os fatores econômicos associados ao projeto. São aspectos quantificáveis e que se apoiam em outras áreas como as engenharias, marketing e economia.

Quadro 5 - Revisão de diferentes fontes que definem os aspectos materiais eficazes para o processo de seleção de materiais

Fonte: Karana *et al.* (2008, p. 1083). Adaptado por Monteiro (2023), tradução nossa.

Materials (1967)	Patton (1968)	Esin (1980)	Ashby (1992)	Lindbeck (1995)
Propriedades mecânicas	Requisitos de serviço	Requisitos de produção	Propriedades gerais	Propriedades mecânicas
Custo	Requisitos de fabricação	Requisitos econômicos	Propriedades mecânicas	Propriedades físicas
	Requisitos econômicos	Manutenção	Propriedades térmicas	Propriedades químicas
			Desgaste	Propriedades elétricas
			Corrosão / oxidação	Propriedades acústicas
				Propriedades ópticas
Budinski (1966)	Mangonon (1999)	Ashby & Johnson (2002)	Ashby (2005)	
Propriedades químicas	Fatores físicos	Atributos Gerais	Propriedades gerais	
Propriedades físicas	Fatores mecânicos	Atributos técnicos	Propriedades mecânicas	
Propriedades mecânicas	Processamento e fabricação	Atributos ecológicos	Propriedades térmicas	
Propriedades dimensionais	Durabilidade dos fatores componentes	Atributos estéticos	Propriedades elétricas	
Questões de negócios	Custo e disponibilidade		Propriedades ópticas	
	Códigos estatutários e outros		Propriedades ecológicas	
	Perfil da propriedade		Resistência ambiental	
	Perfil de processamento			
	Perfil ambiental			
	Atributos Gerais			
	Atributos técnicos			
	Atributos ecológicos			
	Atributos estéticos			

Basear a seleção dos materiais em aspectos técnicos de modo seguro dentro da dimensão de uso de um produto é um grande desafio. Segundo Ashby e Johnson (2011), para tomar decisões sobre o uso eficiente de materiais é necessário ter uma base sólida de conhecimentos técnicos sobre os materiais e os seus processos produtivos. Tais conhecimentos são possíveis a partir de caracterizações que geram dados brutos, os quais precisam ser destilados por análises estatísticas adequadas para que possam ser

convertidos em atributos conhecidos como “propriedades do material”.

Quanto aos métodos de investigação sobre materiais utilizados por designers, são aproveitados diferentes meios de pesquisa, sendo os mais comuns: bibliotecas de materiais, catálogos de fornecedores, *softwares* de seleção de materiais e livros da área de design, arquitetura e engenharia de materiais (Ramalhete, 2012). Sobre as ferramentas de seleção de materiais, são apresentadas a seguir as principais fontes de dados para a atividade.

Os softwares de seleção de materiais operam por meio de uma base virtual, com uma ampla gama de informações técnicas sobre os materiais e a definição de critérios de projeto por parte dos usuários, fornecendo como resultado as opções que melhor se alinham às predefinições de projeto. O “Ansys Granta EduPack” (Figura 3) é um dos métodos de seleção de materiais mais utilizados por sua profundidade e abrangência, fundamentado em índices de desempenho e gráficos de propriedades de materiais (ASHBY, 2012). Segundo os desenvolvedores, o *software* “(...) inclui um banco de dados de materiais e informações de processos, ferramentas de seleção de materiais e uma variedade de recursos de apoio” (Ansys, 2023, tradução nossa⁶). Portanto, a escolha dos materiais é embasada em seus atributos técnicos, tornando-se imprescindível que o utilizador do *software* possua conhecimentos específicos, oriundos da engenharia de materiais.

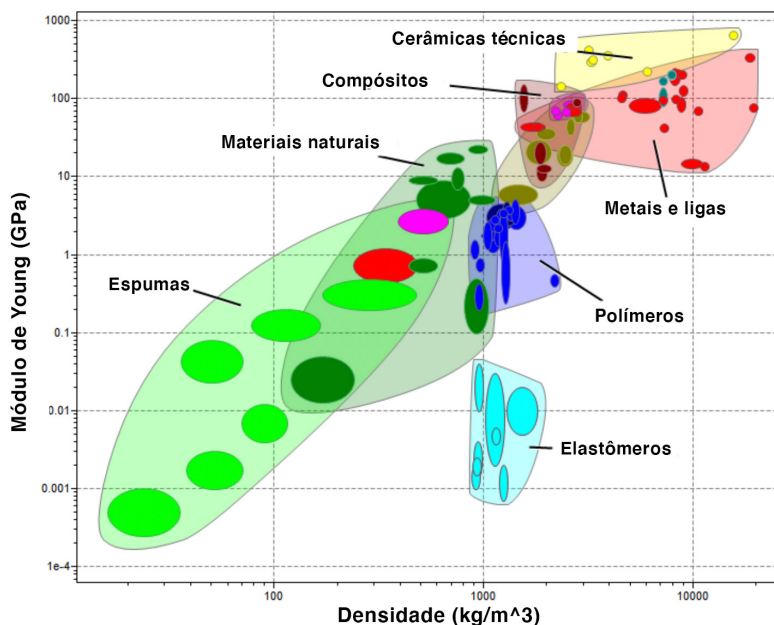


Fig. 3 - Modelo representativo do gráfico de materiais da Ansys Granta EduPack

Fonte: ANSYS (2023), tradução nossa.

6 “(...) includes a database of materials and process information, materials selection tools and a range of supporting resources” (Ansys, 2023).

Para Edwards (2014), apesar da qualidade do software e da metodologia que o respalda, o sistema apresenta falhas na indústria e carece de suporte adequado para os requisitos não técnicos, como a estética e atributos emocionais, tão importantes para o design de produtos. A dificuldade em mensurar tais atributos como dados quantificáveis é a principal razão para essa lacuna, uma vez que os procedimentos de caracterização físico-química não se aplicam a esse propósito.

Como possível solução a este problema, foram desenvolvidas novas abordagens para a exploração de materiais, com destaque para as bibliotecas físicas e virtuais de materiais, também conhecidas como materiotecas. Por meio da catalogação de amostras, compilação de dados técnicos e amostras/fotografias dos materiais, o objetivo é fornecer orientações a designers para a seleção de materiais, com base em estímulos estéticos e sensoriais. Nos últimos anos, houve um crescimento significativo no número de bibliotecas de materiais. No entanto, esse aumento também se reflete na quantidade de materiais disponíveis, tornando difícil catalogar e armazenar todas as possibilidades existentes. Um exemplo mundialmente conhecido é a *Material ConneXion* (**Figura 4**), que opera sob o modelo de assinatura e está presente em nove países. No contexto acadêmico, destacam-se a materioteca do *Politecnico di Milano* (**Figura 5**), que conta com 8.000 amostras de materiais, e a *Materialize*, da FAUUSP, com 500 amostras (**Figura 6**), ambas dando suporte aos cursos de design das referidas instituições.

Fig. 4 - Acervo físico da Material ConneXion

Fonte: Material ConneXion (2023).





Fig. 5 - Acervo físico da materioteca do Politecnico di Milano

Fonte: Polimi (2023).

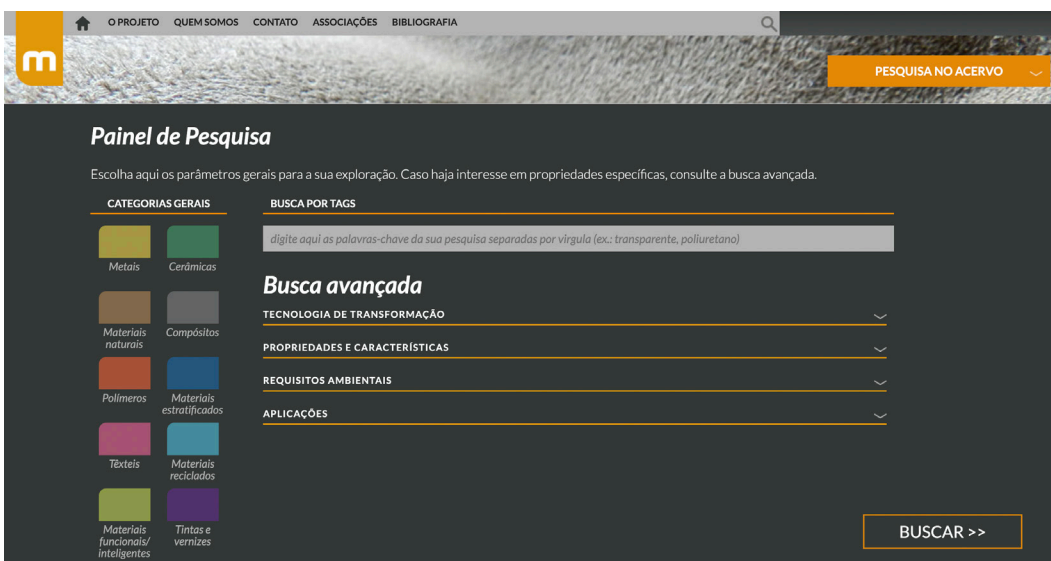


Fig. 6 - Website Materialize FAU USP

Fonte: Materialize (2023).

Os *softwares* e as bibliotecas de materiais oferecem suporte para as etapas de seleção de materiais, mas ainda assim, não possuem formas de relacionar seus aspectos tangíveis (oriundos de caracterização dos materiais) com aqueles intangíveis (que surgem nas relações pessoais estabelecidas durante o uso de um material). Essa relação torna-se ainda mais dificultosa quando um novo material é utilizado, pois ambos os aspectos ainda não são compreendidos, gerando assim uma alternativa sem qualquer precedente, desprovida de uma rede de significações.

Aprofundando a questão dos materiais e design, é válido mencionar o papel da educação voltada aos materiais e as disciplinas que lhe dão apoio. No **Quadro 6** é apresentada uma breve análise das disciplinas de materiais nos principais cursos de graduação em design de produto no Brasil, por região, conforme o ranking de cursos de graduação elaborado pela *Folha de S. Paulo* (2022). As ementas de cada curso foram analisadas individualmente, por meio dos documentos disponibilizados pelas universidades.

Como demonstrado no quadro, não é oferecido o apoio necessário à compreensão das caracterizações e outros dados técnicos, tampouco para o estudo dos aspectos subjetivos dos materiais. Estes últimos englobam as interações sensoriais, emocionais, interativas e interpretativas associadas a esses materiais.

Quadro 6 -
Disciplinas de materiais em graduação de Design no Brasil, por região

Fonte: Monteiro (2023).

Região Norte	Região Nordeste	Região Sudeste	Região Centro-oeste	Região Sul
<p>UFAM – Amazonas</p> <p>Carga horária: 60h, características e propriedades dos principais materiais, emprego dos materiais.</p>	<p>UFC – Ceará</p> <p>Carga horária: 48h, materiais e técnicas de produção tradicionais. Produção tecnologicamente viável e uso socialmente responsável.</p>	<p>USP – São Paulo</p> <p>Carga horária: 60h, conhecimentos técnicos básicos – teóricos e práticos - sobre os materiais e processos de produção utilizados no design.</p>	<p>UnB – Brasília</p> <p>Carga horária não disponível. Propriedades comportamento, processamento, projeto e utilização dos materiais industriais.</p>	<p>UFRGS – Rio Grande do Sul</p> <p>Carga horária: 45h, seleção de materiais (ecodesign), correlação entre propriedades, estrutura, processos de fabricação e desempenho dos diferentes materiais para o design.</p>
<p>UEPA – Pará</p> <p>Carga horária: 60h, aspectos técnicos dos materiais, descrição das características físicas processos de fabricação, conformação, aplicação e descarte.</p>	<p>UFPE – Pernambuco</p> <p>Sem informação sobre disciplina de materiais.</p>	<p>UFMG – Minas Gerais</p> <p>Carga horária 60h – 45h (optativas), elementos da ciência dos materiais: propriedades e características; processos, produção e conformação para o design.</p>	<p>PUC - Goiás</p> <p>Carga horária: 60h, materiais e sistemas de produção industrial.</p>	<p>UFSC – Santa Catarina</p> <p>Carga horária: 54h, estrutura, características, propriedades, aplicações e processos industriais e resistência dos materiais.</p>

Para Pedgley *et al.* (2016), sobre a questão da falta de suporte nas disciplinas de design, tal problemática decorre de o estudo de materiais ser prioritariamente focado na investigação de suas características técnicas, deixando aspectos subjetivos em segundo plano. O estudo aponta para novas possibilidades levando em conta a experimentação com os materiais:

Os materiais sempre foram considerados um elemento fundamental na educação em design industrial. As metodologias aplicadas aos materiais e ao ensino de design flutuaram ao longo dos anos, refletindo mudanças no contexto, período histórico e renovação de abordagens institucionais nas escolas de design (Pedgley *et al.*, 2016, p. 614, tradução nossa).

Levando em consideração as questões supracitadas, surge a necessidade dentro do design de produtos de investigar os materiais sob uma nova perspectiva, levando em conta a compreensão de aspectos intangíveis e subjetivos que dizem respeito à experiência dos usuários com os materiais e o desenvolvimento de materiais sob a óptica criativa do designer. A seguir, são abordados alguns aspectos fundamentais para a compreensão dessa nova abordagem, dando ênfase a pesquisas realizadas nos últimos 15 anos que têm impulsionado essa área de estudo.

3.2.3

Metodologias alternativas

Em contraponto às metodologias clássicas de design de produtos, que vem sendo utilizadas desde os anos 1960, destacam-se as chamadas metodologias alternativas. De acordo com Bonsiepe (2012), “alternativo” diz respeito a uma opção diversa do *status quo* dominante. Considera o projeto de produtos alternativos, enfoque diferenciado ao mundo natural, ênfase aos diferentes fatores de produção, atitude diferente diante da produção e consumo, design equitativo, design participativo e também um novo modo de apresentar e articular as necessidades.

Nesta pesquisa, são priorizados os últimos dois pontos mencionados, visto que se propõe a criação de um método que enxerga o meio em que se está como fonte de novos materiais e também se reforça a manipulação dos materiais e processos para geração de propostas únicas. Ao circular neste cenário, também se promove o desenvolvimento de tecnologias alternativas, com ênfase nos processos e habilidades para criação de materiais.

É fundamental refletir sobre a relação entre materiais, tecnologia e seres humanos. Essa relação tornou-se consideravelmente mais complexa com o desenvolvimento de novas possibilidades no campo dos materiais e as mudanças no design de produtos, que se tornaram um espaço aberto para a experimentação. Segundo Doordan (2003) os materiais são um ponto crítico de discussão no design de produtos. Questões que abordam a origem do material utilizado, bem como o impacto desse material na forma, função e percepção do design final dos objetos, são de extrema importância.

Para Ashby e Johnson (2011) os avanços na área da engenharia de materiais permitem avanços na área do design e vice-versa. Todavia, apenas o primeiro campo conta

com um ensino altamente desenvolvido e sistematizado. Para o designer de produtos, não há abundância de suporte semelhante, levando os profissionais a trabalharem somente na perspectiva de escolha de materiais e não de um pensador original, que encontra soluções passíveis de serem replicadas.

Como um dos pioneiros a tratar da questão dos novos materiais para o design de produtos, Manzini (1993) define este cenário como “um novo ambiente técnico e cultural, no âmbito do qual se vem dando a transformação da matéria” (Manzini, 1993, p.17). Aponta que, no século XX, observou-se um notável crescimento na disponibilidade de materiais, o que abriu espaço para experimentações – tanto no desenvolvimento de novos materiais, sem precedentes na indústria, quanto na transformação dos já existentes.

Ao tratar do assunto, Manzini também aponta para a falta de referências interpretativas ao se deparar com os novos materiais, pois são geradas sensações dúbias e confusas sobre suas propriedades (já que não há caracterizações físico-químicas completas), configurações (não se sabe ao certo o que é possível fazer já que sua aplicabilidade não é profundamente estudada) e também de significados (não há uma cultura acerca do material). Além disso, cresce o número de materiais sob medida, que passam a existir após o processo produtivo como um componente do produto acabado, servindo a apenas uma função e tendo suas possibilidades pouco exploradas.

Ashby e Johnson (2011) reforçam que os avanços na área da engenharia de materiais e design geraram novos comportamentos e experiências, enfatizando também as possibilidades criativas nestes avanços, já que materiais e processos podem ser importantes fontes de inspiração para designers de produtos. Todavia, citam também os riscos associados ao se trabalhar com novos materiais, corroborando com Manzini (1993) sobre as caracterizações incompletas e a falta de referências, o que resulta em uma falta de confiança tanto nas questões técnicas quanto subjetivas dos novos materiais.

Apesar das questões mencionadas, a necessidade de utilização de novos materiais em projetos de produto vem ao encontro de questões criativas assim também como resposta às problemáticas ambientais em crescente demanda, já que oferecem a possibilidade de substituição de materiais comumente utilizados e extremamente poluentes por alternativas que venham ao encontro dos requisitos ambientais. A capacidade investigativa e de resolução de problemas oriundas do método projetual permite aos designers direcionarem seus esforços ao encontro de soluções que sejam

ecologicamente corretas e economicamente viáveis. As inovações com materiais locais, se adequadamente projetadas para melhorar a qualidade de vida, têm também grande potencial de mudança (Kandachar, 2014).

Manzini (2008) defende que designers possuem a capacidade de orientar estrategicamente as próprias atividades, ou seja, possuem a habilidade de definir objetivos que combinem necessidades do projeto com critérios da sustentabilidade. Projetar soluções sustentáveis é projetar e desenvolver “(...) de tal forma que o consumo dos recursos ambientais seja reduzido e que as qualidades dos contextos de vida sejam regeneradas” (Manzini, 2008, p.36).

Entre as chamadas metodologias alternativas, se destacam aquelas que dizem respeito à criação de novos materiais sob a perspectiva mencionada nos parágrafos anteriores. Como critério para essa categoria, foram selecionadas **pesquisas desenvolvidas por designers de produtos ou orientadas por design, que geram, por uma sequência lógica, uma variação ou combinação de materiais.** Deve-se atentar que os métodos que são apresentados focam na criação artesanal e criativa, não necessariamente ligada a uma validação científica. Tais métodos e ferramentas geram novos materiais e são desenvolvidos por designers e para o design.

3.2.3.1

Material Driven Design

Entre os métodos selecionados que visam a criação e manipulação de materiais voltados ao design, destaca-se o *Material Driven Design* (MDD) de Karana *et al.* (2015). O método promove o material como ponto de partida do projeto de design, perpassando por etapas que investigam a experiência do designer e dos usuários na formulação de propostas originais:

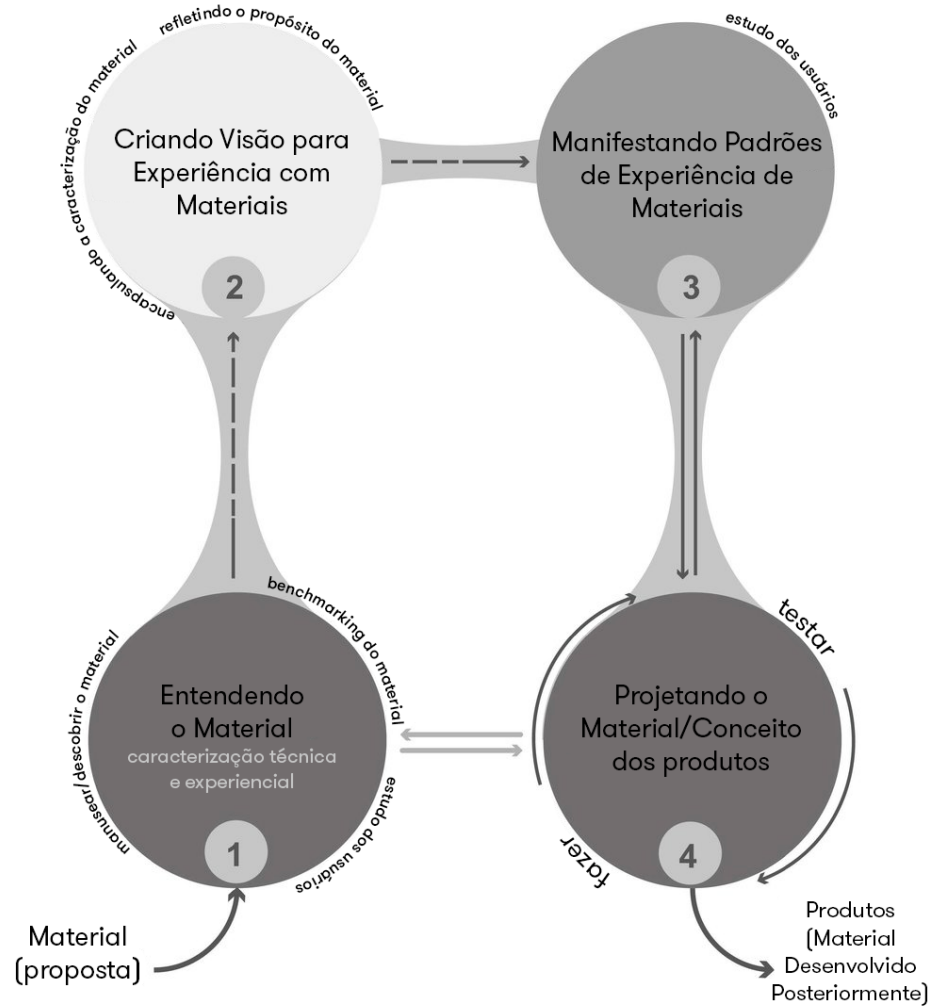
O método sugere que, quando um material é o ponto de partida no processo de design, o designer faz uma jornada pelas propriedades materiais e qualidades experienciais para experiência em materiais, desde a visão de experiência de materiais até qualidades experienciais e propriedades materiais e, finalmente, produtos. As atividades para apoiar esta jornada são organizadas em quatro etapas principais, a saber: (1) Compreender o material: caracterização técnica e experiencial, (2). Criar uma visão para a experiência do material, (3). Manifestar os padrões da experiência do material, (4) Projetar material / conceitos de

produto (Karana *et al.*, 2015, p. 49, tradução nossa)⁷.

Os autores sustentam que o método pode auxiliar designers a adquirir competências na exploração, compreensão e definição de propriedades materiais únicas que privilegiem as qualidades experienciais observada pelos usuários. Dessa forma, a problemática existente na seleção de materiais, que diz respeito à dificuldade em conhecer e utilizar atributos intangíveis em um projeto, seria abrangida. A experiência do usuário é o elemento central no desenvolvimento das propostas, conforme se ilustra na **Figura 7**:

Fig. 7 - Sintetização do método MDD

Fonte: Karana *et al.* (2015, p. 40), tradução nossa



⁷ "The method suggests that when a material is the point of departure in the design process, the designer takes a journey from material properties and experiential qualities to materials experience vision, from materials experience vision to experiential qualities and to material properties, and finally to products. Activities to support this journey are organized under four main steps as: (1) Understanding The Material: Technical and Experiential Characterization, (2) Creating Materials Experience Vision, (3) Manifesting Materials Experience Patterns, (4) Designing Material/Product Concepts" (Karana *et al.*, 2015, p. 49).

Como mencionado anteriormente, o método é composto por quatro etapas. Primeiramente, o designer deve entender o material a partir de duas perspectivas: a caracterização técnica, ou seja, seus aspectos tangíveis, e a experiência dos usuários, ou aspectos intangíveis. O objetivo é articular qual é o papel de um determinado material utilizando a experimentação, manuseio, compreensão do posicionamento entre materiais similares ou alternativos e estudo da percepção dos usuários. É uma compreensão geral do que o material é, faz e como é percebido pelas pessoas.

Sobre a caracterização técnica, se o material já é conhecido e utilizado pela indústria, é possível encontrar as informações em dados fornecidos pelos produtores ou *softwares* específicos. Os autores mencionam que para materiais ainda não investigados, a caracterização também pode ser realizada em cooperação com outras áreas para realização de testes padronizados. Espera-se que o designer compreenda os atributos técnicos e processos de manufatura, além de limitações e propriedades únicas do material.

No que concerne à caracterização da experiência, inicialmente o designer deve refletir sobre as características sensoriais, interpretativas, afetivas e interativas do material. Após as primeiras análises, é preciso investigar a percepção dos usuários sobre essas mesmas questões. Para apreender as respostas, indica-se a realização de grupos focais, questionários online e entrevistas, com perguntas que perpassem todos os aspectos da experiência com o material. Por fim, cria-se um mapa mental com os achados, para auxiliar o designer a descobrir motivações implícitas e gerar conteúdo para as próximas etapas do método.

Como segunda etapa, são criadas visões da experiência com o material. O termo expressa como um designer visualiza o papel de um material na criação ou contribuição de uma experiência única para o usuário, seja no contexto de sua aplicação em um produto ou seu posicionamento relação a outros produtos, pessoas e sociedade. É um trabalho criativo que parte das análises anteriores e visa associar os materiais a formas inovadoras de uso. O trabalho de reflexão sobre estes amplos aspectos é subjetivo e gera requisitos para aquele material, que podem então orientar onde serão aplicados de forma original e qual a interação pretendida entre o usuário e o material.

Em sequência, na terceira etapa, são gerados padrões de experiência a partir de uma análise dos processos ocorridos anteriormente, considerando os achados do designer, a percepção dos usuários e visão do material. Essa fase tem como objetivo

estabelecer relações entre a visão da experiência dos materiais e suas qualidades formais. Para determinar tais padrões, os autores sugerem a ferramenta *Meaning Driven Materials Selection* – MDMS (Seleção de Materiais Orientados por Significado), desenvolvido por Karana e Hekkert (2010). A ferramenta aborda como aspectos-chave dos materiais (forma, usuário, processos de fabricação etc.) desempenham um papel na atribuição de significados pelos usuários. Na **Figura 8**, um exemplo da utilização da ferramenta MDMS para estabelecimento de padrões baseado nas visões e experiência dos usuários.

Fig. 8 - Aplicação do MDMS

Fonte: Karana *et al.* (2015, p. 40), tradução nossa



Sobre a utilização da ferramenta, o usuário deve selecionar um material que acredita ter determinada qualidade, fornecer uma imagem do material (aplicado em um produto) e explicar a sua escolha, avaliando o material em relação a um conjunto de escalas sensoriais. Os resultados são analisados de forma qualitativa e quantitativa, englobando as descobertas do estudo e instigando o designer a trabalhar criativamente as descobertas, formulando relações entre todas as informações levantadas sobre o material.

Na última etapa, o designer deve integrar os achados e definições das fases anteriores em um projeto de material ou produto. Neste sentido, há dois cenários: materiais estabelecidos podem ser alterados somente quanto às suas propriedades sensoriais, por meio da manipulação de acabamentos, formas e possibilidades de manufatura. Para os materiais em desenvolvimento, pode-se utilizar os achados para alterar a configuração do material, procurando evocar as visões e padrões definidas nas etapas anteriores no próprio material. Com padrões previamente estabelecidos e testados quanto à sua significância para os materiais, são projetados produtos com aplicação destes, passando por uma nova rodada de análises para avaliar o sucesso da aplicação.

É importante mencionar, mesmo que não tenha sido abordado pelos autores do método, que qualquer manipulação na configuração de um material implica em uma nova rodada de testes para a constatação de suas características técnicas. Apesar do indiscutível potencial do método como ferramenta criativa para o desenvolvimento de materiais e ineditismo da abordagem, faltam etapas conectadas à investigação formal e técnica das propostas. A elaboração e caracterização físico-química devem ser conduzidas com rigor científico, uma vez que a produção deve aderir a critérios específicos e meticulosamente investigados no desenvolvimento de novas propostas de materiais. Assim, assegura-se que o material em questão seja adotado de forma adequada como uma alternativa no design de produtos, garantindo sua replicabilidade.

Outro ponto sobre o método é o posicionamento em relação aos novos materiais. No MDD não há ferramentas ou estratégias que possam auxiliar designers a explorar possibilidades e compreender as características desconhecidas desses novos materiais. Além disso, faltam exemplos de aplicação que perpassem todas as fases e forneçam uma visão prática de sua utilização. Ainda assim, é reforçada a importância do método quanto à visão generalista sobre os materiais, ao promover a exploração e aplicação de aspectos intangíveis e a importância da experiência do designer e do usuário com o material na elaboração das propostas.

3.2.3.2

DIY Materials

Outra abordagem que traz uma nova dimensão para o relacionamento entre designers, tecnologias, processos de produção de materiais é a chamado *DIY Materials* (materiais faça-você-mesmo), onde materiais são desenvolvidos por indivíduos ou coletivamente, por meio de técnicas artesanais desenvolvidas pelos próprios designers (Rognoli *et al.*, 2015). Não há um método definido para a criação, pois a proposta defende que tais desenvolvimentos sejam baseados na pesquisa, experiência e criatividade daquele que a utiliza. Destaca-se, ainda assim, pela originalidade das propostas que surgem e pela autonomia dos designers na manipulação de materiais.

É importante mencionar o contexto em que surge o método *DIY*. Com o crescimento das comunidades online voltadas para a troca e compartilhamento de informações, receitas e possibilidades de intervenção em materiais, os designers passam a ter acesso ativo à tecnologia. Isso não apenas facilita o desenvolvimento de novos produtos, mas

também permite a criação de materiais e processos inovadores. Ao adentrar o campo da engenharia de materiais, afasta-se da metodologia projetual clássica, em que a interação com materiais e tecnologias é restrita à sua seleção, como explanado anteriormente. Mesmo que não façam parte dessas comunidades ou não exista uma intenção formal em ser um “Material *DIY*”, diversas criações de designers se alinham a essa abordagem.

A participação no processo de desenvolvimento de materiais auxilia a capacidade do designer de inovar, pois as experimentações com o material acarretam ideias originais. “Elas operam em processos, tratamentos de superfície ou na própria formulação para produzir inovação material.” (Parisi; Rognoli; Ayala-Garcia, 2016, p. 239, tradução nossa)⁸. Nesse sentido, promove também a democratização das práticas tecnológicas, pois permite o acesso e compartilhamento de tecnologias, métodos e materiais. A interdisciplinaridade é outro ponto chave no trabalho do faça-você-mesmo, pois diferentes áreas podem trabalhar em conjunto para chegar a soluções inovadoras.

Há dois grupos de materiais que podem ser produzidos da forma *DIY*: primeiramente os novos materiais, que utilizam criativamente ingredientes distintos para criação de uma proposta original. Na **Figura 9**, a proposta de Tom van Soest (*apud* Rognoli *et al.*, 2015), que utiliza resíduos industriais e de demolição para a criação de tijolos, telhas e móveis. Utiliza para tanto os processos de pulverização, pressurização e adição de calor.

Fig. 9 - Material StoneCycling de Tom van Soest

Fonte: Rognoli *et al.* (2015).



A segunda categoria envolve a manipulação de materiais convencionais, concentrando-se em técnicas de produção que conferem novas identidades a materiais já utilizados. Como exemplo na **Figura 10**, a *Polyfloss*, uma tecnologia que permite a reciclagem e transformação de resíduos plásticos em uma nova matéria-prima. Visualmente

⁸ “They operate on processes, surface treatments or on the formulation itself in order to produce material innovation” (Parisi; Rognoli; Ayala-Garcia, 2016, p. 239).

similar a uma “lã plástica”, o material é obtido com a trituração do polipropileno, derretimento em forno rotativo, de onde é expelido por meio de pequenos furos. Quando resfriado o material plástico pode ser fundido criando novos objetos. Este exemplo é bastante rico, pois demonstra a importância do desenvolvimento de processos e tecnologias por designers, que gera uma proposta original e de grande apelo estético.



Fig. 10 - Polyfloss da Polyfloss Factory (Royal College of Art)

Fonte: Rognoli *et al.*, (2015).

Utilizando fibras naturais, fungos, resíduos agrícolas, celulose bacteriana, metais e diversos outros materiais não comumente utilizados ou descartados pela indústria tradicional, infinitas possibilidades surgem aos designers que intencionam manipular e criar próprias originais. Entre os materiais explorados, percebe-se também o aproveitamento de materiais locais, sendo de grande importância a esta pesquisa.

Conforme discutido por Rognoli *et al.* (2015), com essas novas possibilidades de criação, os designers podem influenciar as relações emocionais entre usuários e produtos com o uso adequado dos materiais desenvolvidos de forma personalizada. Deve-se mencionar, que com as oportunidades proporcionadas pelo método faça-você-mesmo surgem também grandes dificuldades. Como aponta Manzini (1993), materiais desconectados dos processos tradicionais não possuem uma relação de significação estabelecida e, por isso, compreender e formular essa interação se torna essencial.

Também deve-se mencionar que essa abordagem não tem enfoque na replicabilidade, viabilidade comercial ou exploração das características técnicas dos materiais. Em contrapartida, a intenção é fomentar a manipulação e a expressão criativa sem restrições. Por essa razão, destaca-se como um excelente ponto de partida na interação entre designers e materiais, incentivando a curiosidade e a inserção em temáticas que tradicionalmente não são exploradas por esses profissionais.

Por fim, é válido mencionar o *Material Tinkering* de Parisi, Rognoli e Sonneveld (2017). O termo designa uma prática de design caracterizada por recursos, procedimentos

e atividades de apoio que pretendem desenvolver nos designers uma sensibilidade com materiais por meio da aprendizagem experiencial. Por meio de uma pesquisa exploratória, são investigadas as experiências com materiais em desenvolvimento, gerando dados que podem posteriormente ser utilizados na modificação desses materiais ou como fonte de inspiração em sua aplicação. Sobre a experiência estudada, o foco recai sobre as questões sensoriais: visão, tato, audição e olfato.

Essa prática subverte os métodos clássicos de design, mencionados anteriormente. A partir de experimentos criativos e empíricos, promove-se o envolvimento dos designers na produção de materiais utilizando técnicas de baixa tecnologia e fabricação própria, o que lhes permite ter controle sobre todo o processo de forma independente. Dessa maneira, ocorre uma mudança na forma de projetar materiais: o processo é iniciado de forma prática pelos designers, passando então aos laboratórios de engenharia de materiais. A **Figura 11** ilustra um exemplo do *Material Tinkering*.

Fig. 11 - Exemplo de *Material Tinkering* com experimentações de fibras de alho-poró. Projeto de Esra Erdogan, Claudia Fumagalli, Clémence Paillieux e Yui Hasegawa (2016)

Fonte: Parisi; Rognoli; Sonneveld (2017).



Os autores enfatizam o papel da caracterização técnica e sensorial do material na exploração e desenvolvimento de padrões, embora não demonstrem essa ligação em um caso real. Mencionam testes de resistência ao fogo, água, intempéries e UV, resistência à tração, sem qualquer menção à investigação formal dessas propriedades. Tais conhecimentos não são possíveis de serem adquiridos sem utilização de normas técnicas,

maquinário e equipes especializadas. Também não correlaciona as informações adquiridas e como podem ser transformadas em requisitos para a elaboração de modificações ou novos materiais. É uma problemática comum neste contexto de prática de design, o que muitas vezes impede progressos e uma aplicação efetiva na indústria e na pesquisa de novos materiais.

Apesar de tais questões, a promoção das capacidades exploratórias de experiência dos designers e da prática multissensorial são importantes para a discussão dos materiais e design de produtos, servindo também como fonte de inspiração para evoluções da prática. Outro ponto positivo a ser mencionado é a documentação do processo de investigação empírica, que é de grande valia na exploração criativa de novos materiais.

3.3

Experiência com o material

3.3.1

Definição

Os materiais desempenham um importante papel na experiência do usuário com um produto, evocando emoções e significados próprios, já que o material empregado afeta a forma, a função e a percepção do produto (Doordan, 2003). Os designers, no âmbito da complexidade de um projeto de produto e da sua natureza multidisciplinar, são responsáveis pela identificação dos materiais que possibilitam a geração de emoções e interpretações pretendidas, podendo se beneficiar dessa relação ao desenhar experiências únicas que reforcem uma mensagem específica.

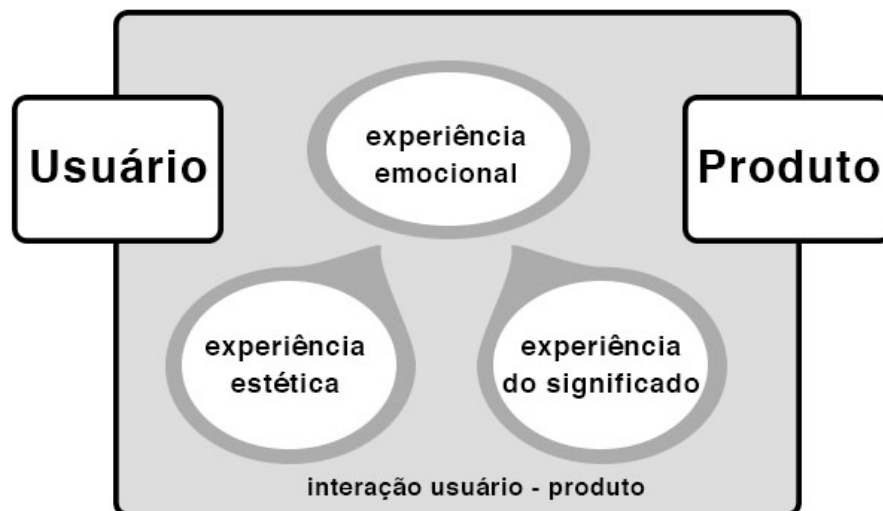
Nos últimos 17 anos os aspectos subjetivos que constituem uma experiência passaram a ser abordados nos projetos e na seleção de materiais. É necessário, assim, introduzir o conceito de “experiência com o material”, oriundo do termo em inglês *materials experience*, que pode ser definido como: “(...) as experiências que as pessoas têm com e através dos materiais de um produto; assim como o conhecimento e as habilidades que os designers devem possuir se quiserem ‘projetar para a experiência’ através da aplicação de materiais” (Pedgley *et al.*, 2016, p.614, tradução nossa)⁹.

⁹ “(...) the experiences that people have with, and through, the materials of a product; as well as the knowledge and skills that designers must possess if they are to ‘design for experience’ through the application of materials” (Pedgley *et al.*, 2016, p.614).

Os autores sugerem três componentes deste tipo de experiência: a **dimensão estética (sensorial)**; a **dimensão de significado (interpretativa)** e a **emocional**. Seguem a mesma classificação proposta por Desmet e Hekkert (2007), com a formação de experiências delimitada na **Figura 12**. Atenta-se que, como demonstrado na estrutura abaixo, as experiências ocorrem em conjunto e simultaneamente durante a interação usuário e produto.

Fig. 12 - Estrutura da Experiência com o Produto

Fonte: Desmet e Hekkert (2007, p. 4). Tradução nossa.



Para Norman (2008), há três níveis de interação de design muito similares as classificações anteriormente destacadas: **visceral, comportamental e reflexivo**. O nível visceral se dá no primeiro contato e é anterior à compreensão. Aqui, as questões visuais são as principais, com o impacto da aparência, toque e sensação. Já o nível comportamental abrange o uso, a experiência com a aplicação, que envolve por sua vez a função, desempenho e usabilidade do produto. No nível reflexivo, residem a consciência, sentimentos, emoções e cognição, que ocorrem graças à interpretação, raciocínio e compreensão dos usuários. Novamente, os três níveis ocorrem conjuntamente, moldando a experiência das pessoas com os materiais e objetos.

Camere e Karana (2018) acrescentam ainda a **experiência interativa**, isto é, o desempenho do material e as formas como os usuários o manipulam durante o uso. Na estrutura proposta pelas autoras, além das questões pertinentes à experiência com e através dos materiais, reconhecem o papel ativo dos materiais na formação de maneiras de agir. O caráter interativo (*performance*) diz respeito às maneiras com que são manipulados pelos usuários, com categorias distintas de interações gestuais. Incluem maneiras de tocar, mover e segurar um material.

Além dos quatro diferentes tipos de experiência citados anteriormente, tendo em vista o cenário generalista que envolve o uso de um material, também exercem influência os fatores temporais, os diferentes contextos de uso, o cenário cultural e as particularidades do indivíduo como, por exemplo, escolaridade e faixa etária. Na **Figura 13** é apresentado o modelo de estrutura de experiência do usuário de Giaccardi e Karana (2015), onde se percebe a complexidade em torno da criação de uma experiência, com as trocas entre os diversos atores e fatores.

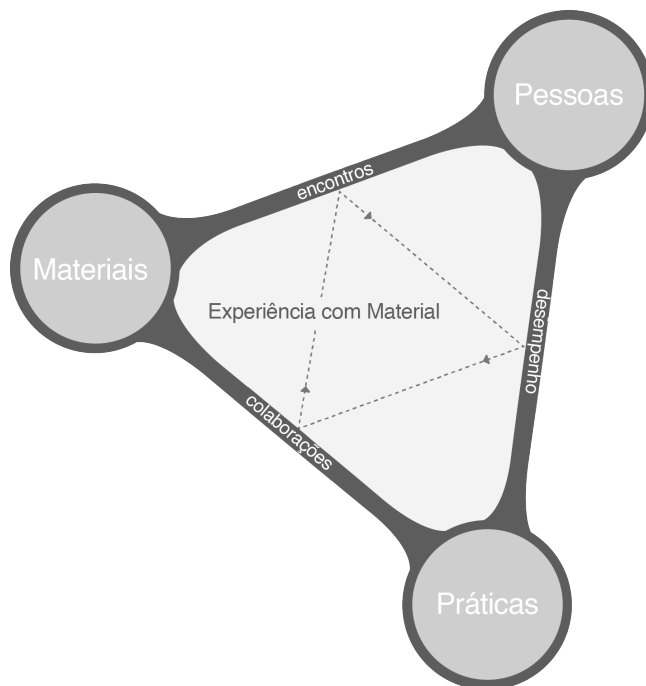


Fig. 13 - A estrutura da experiência com materiais

Fonte: Giaccardi e Karana (2015, p. 4).
Tradução nossa.

Como é possível notar, há uma enorme complexidade ao trabalhar com a experiência dos materiais por perpassar por tantas questões subjetivas e intangíveis, isto é, que não podem ser classificadas como dados quantificáveis. A compreensão das práticas sociais e culturais que se desdobram na experiência, bem como a maneira como essas interações podem ser apoiadas pelo design, constituem um grande desafio. Ademais, nos estudos sobre a temática, falta unidade na categorização dos termos referentes a estes aspectos intangíveis, por mais que se refiram ao mesmo tema e, por vezes, tenham os mesmos significados.

A seguir, são explanadas as particularidades dos diferentes pontos que constituem a experiência com o material anteriormente mencionados, sendo elas: **sensoriais, emocionais, interpretativas e interativas**. Apesar de que durante o uso dificilmente os atributos são percebidos de maneira isolada, para fins de discussão sobre a temática se

faz necessário focar em cada uma delas separadamente. Ademais, são apresentadas ferramentas que facilitam a compreensão dos diferentes tipos de experiência, destacando seus pontos positivos e problemáticas.

3.3.2

Experiências sensoriais

Entende-se a experiência sensorial como a convergência de significados e emoções que ocorrem durante o uso de um material, baseado nas experiências originadas pela percepção sensorial dos usuários. Tais percepções são “as propriedades que podem ser percebidas pelos seres humanos através dos órgãos sensoriais e podem evocar respostas fisiológicas e psicológicas” (Zuo; Jones; Hope, 2004).

Incluem as sensações visuais, táteis, olfativas, gustativas e audíveis dos materiais. Os usuários percebem essas sensações ao entrar em contato com um produto; e durante a interação as sensações ocorrem em conjunto, proporcionando uma variedade de experiências multissensoriais. Nesta pesquisa, não foram exploradas as questões fisiológicas que envolvem as sensações humanas. No entanto, se for necessário um aprofundamento nos atributos sensoriais, é importante compreender como essas informações são recebidas, processadas e interpretadas pelo cérebro humano (Dias, 2009).

As características sensoriais percebidas são originadas pelas propriedades dos materiais, podendo ser intrínsecas ou extrínsecas. As intrínsecas são inerentes ao material, ou seja, não sofrem variação consoante as condições ambientais, como as propriedades mecânicas, químicas e térmicas. Já as extrínsecas não dependem da estrutura molecular dos materiais, podendo então ser manipuladas. Peso, propriedades acústicas, tratamentos como polimento e pintura, entre outros são exemplos de propriedades que podem ser alteradas (Schifferstein; Wastiels, 2014).

Os designers podem manipular as propriedades extrínsecas, projetando experiências sensoriais que ocorrem quando uma pessoa entra em contato com um material. Essas interações, inclusive, podem servir como ponto de partida para o design de um novo material ou produto. Por exemplo, ao se utilizar um material compósito com textura e aparência similar à madeira, e que seja reconhecido como tal pelos usuários, pode-se

desenvolver um produto já planejando esta substituição e interação, aproveitando dos aspectos positivos que envolvem os dois tipos de materiais. No **Quadro 7** são apresentadas propriedades sensoriais dos materiais.

Reflexão	Pressão	Som	Cor
Reflexivo – não reflexivo	Amassa - não amassa	Abafado - ressoante	Matiz de cor
Lustroso - Mate	Macio – duro	Grave - agudo	Uma cor – várias cores
Transparente – translúcido - opaco	Amortecimento rápido - lento	Suave – alto	Incolor - colorido
Não brilhante – brilhante	Massivo – poroso		Escuro - claro
Áspero - liso			Cor durável - Desbotada
Regular - irregular			Estampa
Manipulação	Cheiro e Gosto	Fricção	Temperatura e radiação luminosa
Rígido – flexível	Odor natural – sem odor – fragrância	Pegajoso – não pegajoso	Quente – frio
Dúctil - resistente	Fragrância	Seco – molhado - oleoso	Baixa – alta radiação luminosa
Quebradiço - resistente	Sabor	Áspero - liso	
Leve - pesado			

Quadro 7 - Lista de Propriedades Sensoriais

Fonte: Van Kesteren, Stappers e De Bruijn (2007, p. 3). Tradução nossa.

Além de tais propriedades, a percepção sensorial está relacionada também ao contexto em que o material é usado, às intenções do usuário e associações cognitivas. Como mencionado anteriormente, a experiência se dá por diversos fatores, não podendo ser isolada apenas nas características dos materiais. Promover a compreensão da relação entre as propriedades físicas e a percepção sensorial pode gerar materiais e produtos que promovam novas possibilidades sensoriais e estéticas, além de melhorar a compreensão das diferentes percepções humanas (Wilkes *et al.*, 2015).

3.3.3

Experiências emocionais

A experiência emocional trata das relações emocionais que são construídas durante o uso ou visualização de um material e/ou material. As emoções são complexas e surgem inconscientemente, oriundas de questões internas, ligadas à história e repertório de vida daqueles que a vivenciam. É uma área de estudo abrangida por diferentes disciplinas dentro do Design de Produto, amplamente estudada em áreas específicas, como o design emocional (Giaccardi; Karana, 2015).

A emoções são provocadas por uma avaliação de um evento ou situação, que pode ser potencialmente benéfica ou prejudicial para determinada pessoa. As emoções compõem o esquema da sensorialidade e da expressividade, sendo fundamental na concepção de um projeto considerar a estreita relação que existe entre o pensamento e o sentimento. O impacto emocional de um produto depende tanto de suas qualidades materiais, propósitos, significados e expressões, quanto de sua função (Hekkert; Karana, 2014; Rognoli; Ayala-Garcia, 2018). Na **Figura 14**, apresentam-se exemplos de algumas emoções que podem ser relevantes para produtos e materiais.

Fig. 14 - Modelo de emoções de um produto

Fonte: Desmet e Hekkert (2007, p. 2). Tradução nossa.



Os materiais têm sido cada vez mais estudados não só pelas suas características funcionais, mas também pela sua capacidade de gerar emoções. Por serem parte de diferentes processos de interação com as pessoas, é possível influenciar a relação que se cria no uso de um produto. Assim, designers podem selecionar materiais ou desenvolvê-los tendo em vista a grande importância destes aos sentimentos dos seres humanos. Antecipando a resposta emocional pode-se evitar emoções indesejadas que possam comprometer a aceitação de um produto (Crippa; Rognoli; Levi, 2012).

Para tal processo de influência, convém utilizar as classificações de Norman (2008), dos **níveis visceral, comportamental e reflexivo**. Como explanado pelo autor no livro “Design emocional”, o nível visceral é pré-consciente, isto é, anterior à reflexão e uma emoção pura gerada no primeiro contato com um material/produto. Quando se iniciam as indagações pessoais sobre o uso e suas impressões, adentra-se o nível comportamental.

Esse nível, por sua vez, envolve todos os aspectos relacionados ao uso, como sua função, desempenho e usabilidade.

Por fim, ao se ter a primeira onda de emoções e indagações sobre a função de um determinado objeto, surgem as questões emocionais mais profundas, o nível reflexivo da experiência. É quando se perpassa pelos sentimentos, de cunho extremamente pessoais, e por isso também pela cognição. Ou seja, é onde também se relacionam as questões interpretativas, que são expostas no próximo item.

De modo geral, o autor resume quais emoções estão associadas em cada nível: para o nível visceral há a aparência, para o comportamental, o prazer e afetividade do uso; por fim, com o reflexivo, as questões de autoimagem, satisfação pessoal e lembranças. Compreender como um material e produto é lido em cada uma das etapas e desenhar propostas que exponham uma visão intencional de cada uma delas é um grande desafio que, todavia, tem grande importância em um projeto.

3.3.4

Experiências interpretativas

Os atributos interpretativos referem-se às experiências de significado associadas a um material. Compreender esse tipo de experiência envolve desde a representação semiótica até a exploração de sua semântica. Para tanto, recorre-se ao conceito de *affordance* para compreender como ocorre essa relação, ou seja, como os seres humanos percebem um objeto ou material com base no que ele permite realizar e em sua utilidade. Agregam-se significados, muitas vezes de forma inconsciente, relacionados às expectativas sobre o que aquele material é capaz de ser e realizar (Gibson, 1979).

Giaccardi e Karana (2015) apontam que as experiências interpretativas determinam a maneira como as pessoas interpretam e julgam os materiais. Em suma, definem os significados atribuídos juntamente às experiências sensoriais e emocionais. São interpretações baseadas em aspectos previamente definidos pelo usuário, como, por exemplo: se é nostálgico ou futurista, se aparenta custar caro ou barato, se é antigo ou novo. A interpretação se dá por associações e comparações com o conhecimento prévio de outros materiais e produtos, ou seja, o repertório do usuário. No **Quadro 8** expõem-se algumas das possíveis percepções interpretativas:

Quadro 8 - Lista de atributos percebidos nos produtos

Fonte: Ashby e Johnson (2011, p. 82). Tradução nossa.

Percepção	Oposto
Agressivo	Passivo
Barato	Caro
Clássico	Da moda
Clinico	Amigável
Esperto	Tolo
Comum	Exclusivo
Decorado	Sem enfeites
Delicado	Grosseiro
Descartável	Duradouro
Sem graça	Sensual
Elegante	Desajeitado
Extravagante	Discreto
Feminino	Masculino
Formal	Informal
Feito à mão	Produzido industrialmente
Honesto	Enganador
Engraçado	Sério
Irritante	Adorável
Maduro	Jovem
Nostálgico	Futurista

Para Haug (2019), é importante a reflexão de que os materiais não são percebidos individualmente. A geração de significado, sob o ponto de vista do usuário, é associada ao contexto de uso e à tipologia do produto em que é aplicado. Designers, por essa razão, podem selecionar materiais com o objetivo de provocar associações previamente conhecidas, considerando qual comportamento é dependente das diferentes situações, dificultando assim o processo de criação e aplicação intencional.

É, por isso, demasiado complexo separar o significado de um material do significado do produto no qual o material é utilizado, já que tal entendimento surge da interação. Quando um material é frequentemente utilizado em determinado tipo de aplicação ou contexto, se estabelece uma associação intrínseca com essa utilização – como, por exemplo, o vidro em garrafas ou o couro em artigos de vestuário. Somando-se ao contexto, também são considerados a cultura, os padrões sociais e questões tecnológicas do produto. Todos esses elementos influenciam a forma como usuários percebem, usam, experimentam, reagem e se relacionam com os materiais (Hekkert; Karana, 2014).

3.3.5

Experiências interativas

Os atributos interativos são relacionados ao sistema háptico dos seres humanos, que diz respeito à capacidade de motricidade e a sensorialidade durante a manipulação de qualquer objeto ou estímulo externo. São os modos de fazer e práticas adquiridas orientadas pelos cinco sentidos. Como atributo da experiência do usuário, foca-se no tato, na leitura de superfícies e volume dos objetos (Muniz, 2018; Karana *et al.*, 2015). Na **Figura 15** são apresentadas algumas das possibilidades de interação tátil com um objeto.

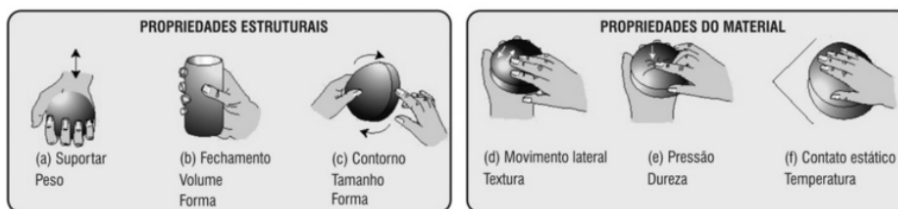


Fig. 15 - Procedimentos exploratórios para percepção de objetos

Fonte: Adaptado de Klatzky e Lederman (1987) *apud* Dias (2009).

Para Dias (2009), o tato exploratório é um dos mecanismos utilizados para revelar os atributos dos objetos e codificar memórias do usuário. O contato com um objeto pode ser realizado das seguintes formas:

- a) Suportar – obter informação sobre o peso de um objeto e consiste em levantar o objeto com a mão esticada sem realizar nenhuma tentativa de circundar o objeto com a mão;
- b) Fechamento – obter informação sobre a forma global ou o volume do objeto. Nesse procedimento a mão contata simultaneamente com a maior parte possível do objeto. Paralelamente pode se observar um esforço por adaptar a mão à forma do objeto;
- c) Contorno do objeto – perceber a forma exata do objeto e seu volume supõe uma atividade dinâmica em todo momento, realizando um movimento suave que não se repete. Quando o sujeito termina de explorar um segmento do objeto, para-se e muda de direção. Esse movimento não se realiza quando se trata de explorar superfícies homogêneas (Dias, 2009, p. 69).

Karana *et al.* (2015) atentam para a importância de considerar tais atributos nos estudos da experiência dos usuários com materiais. O caráter interativo, também denominado performance dos materiais, contempla as maneiras como estes são manipulados individualmente e quando aplicados em determinado tipo de produto.

Em trabalhos posteriores, reitera-se a relevância desse tipo de experiência, sugerindo categorias de interações gestuais com artefatos materiais – o que inclui maneiras de tocar, mover e de segurar o material, exemplificadas na **Figura 16** (Camere; Karana, 2018).

Fig. 16 - Exemplos de formas de manipulação dos materiais

Fonte: Camere e Karana (2018).



Outro importante ponto dos atributos interativos é como os outros atributos da experiência (percepções sensoriais, emocionais e interpretativas) afetam as formas de utilizar e manipular os materiais. As performances estabelecidas com um material são influenciadas por esse conjunto de experiências. Em outras palavras, todos esses elementos moldam a maneira como um uso se desenvolve, potencialmente gerando formas únicas que os designers podem conscientemente explorar para projetar de maneira inovadora e disruptiva (Giaccardi; Karana, 2015).

3.3.6

Métodos e Ferramentas

Método é um procedimento, técnica ou meio de atingir um objetivo, baseado em um processo organizado, lógico e sistemático de pesquisa. Ferramentas são os instrumentos utilizados no método para alcançar os determinados objetivos. Muito dos métodos e ferramentas desenvolvidos para análise da experiência com materiais tem propósitos

educacionais ou de auxiliar a seleção de materiais para um projeto, sendo assim parte da metodologia projetual tradicional em design.

Em continuidade, são elencadas ferramentas no estudo da experiência com materiais, que apoiam o desenvolvimento do método proposto nesta tese e que será posteriormente explanado. É preciso mencionar que não se trata de uma revisão do estado da arte da temática, mas de um levantamento daquelas que serviram como base para este estudo, discutindo suas potencialidades e posicionamento quanto aos novos materiais. As ferramentas apresentadas têm como foco a comparação entre materiais, visando uma seleção baseada em requisitos de projeto e na experiência do usuário, seja em relação às variações de um mesmo material, ou no que se refere ao seu comportamento em comparação com materiais distintos que atendem aos mesmos requisitos.

3.3.6.1

MoM

A ferramenta “*Meanings of Materials*” (MoM) de Karana *et al.* (2010) foi uma das primeiras propostas ao estudo da experiência do material, com enfoque em sua dimensão expressiva. Pretende auxiliar os designers na manipulação da criação de significado, na seleção de materiais, através da construção de um banco de dados que considera aspectos qualitativos e quantitativos da experiência dos usuários.

Além do objetivo mencionado, também visa auxiliar designers na manipulação de criação de significado na seleção de materiais. Para tanto, a ferramenta pretende: familiarizar designers com os principais componentes do modelo de significados dos materiais; mostrar quais aspectos desempenham um papel importante para certos significados (como propriedades sensoriais, de gênero, cultura e forma); e estimular os designers a encontrarem as relações (ou padrões) entre esses aspectos e significados (Karana *et al.*, 2010).

A ferramenta é composta por três tarefas: primeiramente, os usuários são solicitados a fornecer imagens de um material que expresse determinado significado (por exemplo, infantil) e explicar a razão pela qual o material expressa o significado mencionado. São compartilhados materiais educativos para auxiliar o usuário na compreensão de como determinar um significado, dando visibilidade a diferença entre significado de um material

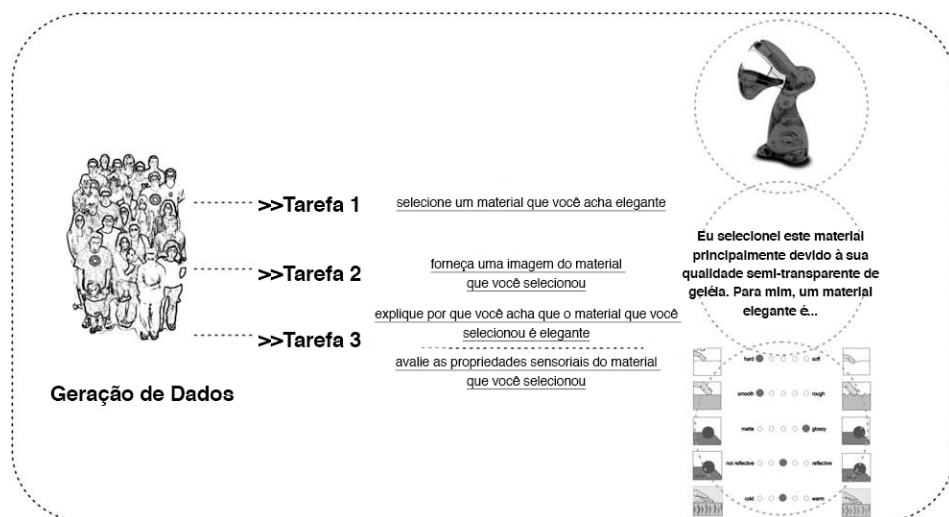
e de um produto, com exemplos visuais.

Na segunda tarefa, os usuários devem combinar diferentes imagens para exemplificar sua linha de raciocínio. Podem utilizar fotografias de sua própria autoria ou recursos visuais provenientes da internet, revistas, manuais e catálogos. A partir dessas múltiplas imagens, devem criar um painel semântico representativo do termo explorado. Esse painel possibilita que os designers obtenham uma compreensão subjetiva do que aquele significado representa para o usuário.

Em seguida, na terceira tarefa, os usuários são solicitados a avaliar sua seleção. A primeira parte são respostas verbais para perguntas abertas, sobre o significado apresentado. Posteriormente, o usuário avalia o material em termos de propriedades sensoriais por meio de escalas de cinco pontos. Na **Figura 17**, o resumo das diferentes etapas presentes na ferramenta.

Fig. 17 - Processo de geração de dados para a ferramenta

Fonte: Karana *et al.* (2010, p. 2934). Tradução nossa.



Após as análises desenvolvidas juntamente aos usuários, é esperado que ao fim do processo se obtenha: (1) Painel semântico com materiais e objetos com determinados significados, que sirvam de inspiração para a criação de padrões baseados em tais associações; (2) Explicações subjetivas (qualitativas) dos usuários, que permitem a criação de grupos de comparação entre certas divisões de participantes (por exemplo, classificação etária ou de gênero); (3) Dados quantitativos originados no preenchimento da escala sensorial.

Os autores mencionaram também o direcionamento a um website que explica os atributos técnicos dos materiais selecionados, todavia não aprofundam a questão e por

essa razão não é possível compreender como tal análise é realizada. Na **Figura 18**, a ordem de todas as ações que a ferramenta promove.



Fig. 18 - Ordem das ações seguidas na ferramenta MoM

Fonte: Karana *et al.* (2010, p. 2934). Tradução nossa.

Compreende-se a importância da pesquisa como uma das primeiras ferramentas desenvolvidas visando a experiência com materiais, porém questões importantes como a análise dos dados obtidos, a ligação com os atributos técnicos dos materiais e formas de aplicar tais achados no projeto de produto não são mencionados, o que acarreta dificuldade de replicação e aplicação em um projeto de produto.

3.3.6.2

The Expressive-sensorial Atlas

A ferramenta “*The Expressive-sensorial Atlas of Materials*”, desenvolvida por Rognoli (2010), explora a dimensão expressivo-sensorial dos materiais, valendo-se de uma coleção de gráficos e tabelas para organizar as informações de forma estruturada e flexível, sendo aplicável a uma ampla variedade de materiais. Segundo a autora, esse modelo também permite que o *Atlas* se comporte como um trabalho em constante evolução, expandindo-se conforme as exigências da pesquisa e as experiências do designer e dos usuários.

O *Atlas* é uma das primeiras ferramentas evidenciar a convergência entre as disciplinas de design e engenharia, estabelecendo uma ligação entre os aspectos intangíveis e tangíveis dos materiais. Objetiva ser uma ferramenta educacional para fornecer informações úteis sobre o gerenciamento e o planejamento de aspectos subjetivos, emocionais e expressivos dos materiais. Além disso, propõe uma linguagem universal para uma efetiva descrição expressivo-sensorial dos materiais. A **Figura 19** ilustra o seu uso:

Fig. 19 - Utilização do atlas expressivo sensorial

Fonte: Rognoli (2010, p. 291).



A ferramenta se estrutura como uma coleção de mapas sensoriais, destinada ao uso interativo por estudantes de design durante as disciplinas de materiais, sendo composta por três mapas sensoriais: o primeiro associa a densidade aos conceitos leve/pesado; o segundo relaciona a condutividade térmica com as sensações de frio/quente; e o último correlaciona o Módulo de Young com as sensações de macio/duro (Figura 20).

Fig. 20 - Relação entre parâmetros e propriedades expressivo-sensoriais

Fonte: Rognoli (2010, p. 291). Tradução nossa.



Além dos mapas, há quatro gráficos teóricos, que abordam textura, toque, brilho e transparência sem referência a uma classe particular de materiais, utilizando amostras de materiais distintas que exemplificam tais qualidades sensoriais. Para realização das análises, são utilizadas oito amostras de diferentes materiais para que os participantes possam avaliar as expressões sensoriais em escala crescente (**Figura 21**).

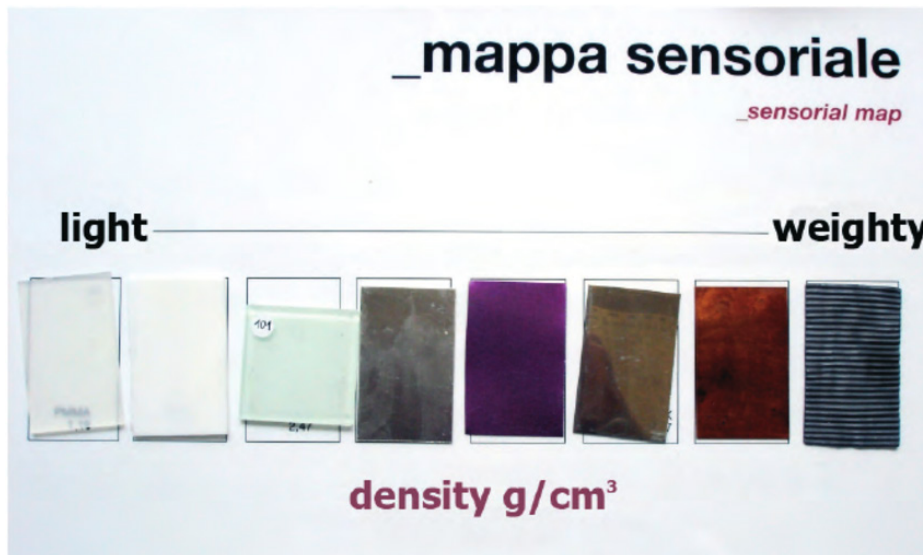


Fig. 21 - Amostras organizadas de acordo com sua expressão sensorial

Fonte: Rognoli (2010).

De acordo com os resultados obtidos pela autora, as percepções subjetivas nem sempre coincidem com as medições objetivas. Contudo, há uma falta de aprofundamento na explicação de como os dados são analisados, como os aspectos tangíveis e intangíveis são relacionados e como podem ser aplicados no projeto de produto. Essa é uma lacuna comum nas ferramentas encontradas, uma vez que a análise de dados é comprometida pelo caráter experimental das ferramentas, resultando na carência de um método que permita a replicação e teste em outras situações.

3.3.6.3

Ma2e4-toolkit

Karana *et al.* (2015) abordam como a compreensão de questões experienciais dos materiais enriquecem o vocabulário e instigam a criatividade dos designers. A compreensão dos diferentes atributos que permeia fornece orientação sobre possibilidades no uso em futuras aplicações, acarretando também em uma fonte de informação para negócio e produtos, inspirando de forma geral um projeto a encontrar ideias inovadoras.

Como forma de apreender e a analisar a experiência dos usuários com materiais e produtos, inúmeras ferramentas foram desenvolvidas ao longo dos anos. Na maioria, o foco se dá em um nível de experiência e quanto à extensão da análise, trabalham na comparação entre materiais distintos ou entre variações de um mesmo material. É notável que as ferramentas pouco relacionam as experiências nos diferentes níveis de forma abrangente, sendo a forma natural com o que se sente e interpreta um determinado rial.

Como uma possível solução, se apresenta uma ferramenta utilizada para apoiar a caracterização experiencial dos materiais em diferentes aspectos. O *Ma2e4-Toolkit* (*Materials-to-Experiences at four levels*) de Camere e Karana (2018) foi formulado como uma série de exercícios desenvolvidos com base em outras abordagens já existentes no domínio de materiais e design, que busca captar análises de usuários para determinar a experiência com um material em quatro diferentes níveis: sensorial, emocional, interpretativo e interativa (ou performativa).

Tem como objetivo ser específica e abrangente, ou seja, aprofundar o conhecimento em uma determinada análise sem retirá-la do contexto de todas as outras experiências. Intenciona ainda prover estrutura e vocabulário para auxiliar na coleta e análise de dados, sem necessariamente ligar os achados a soluções de projeto. Além disso, procura ser uma ferramenta ágil, de fácil aprendizado e flexível. Outro ponto positivo é a sua disponibilização online e gratuita, permitindo que as análises possam ser realizadas em diferentes contextos. Almeja, ao final, revelar descobertas e novas facetas sobre novos e já conhecidos materiais, inspirando designers e seus projetos.

O *Ma2e4-toolkit* foi idealizado como um conjunto de ferramentas, composto por um mapa de caracterização da experiência do usuário (**Figura 22**) que une diferentes ferramentas com a finalidade de compreender as questões de experiência interativa, sensorial, emotiva e interpretativa dos materiais, tendo como apoio para as análises cartões com vocabulário da experiência emocional e interpretativa (**Figura 23**), assim como um conjunto de imagens (**Figura 24**) que dão suporte aos cartões de vocabulário. Para instruir sobre a aplicação das análises, é parte também da ferramenta um guia para os facilitadores.

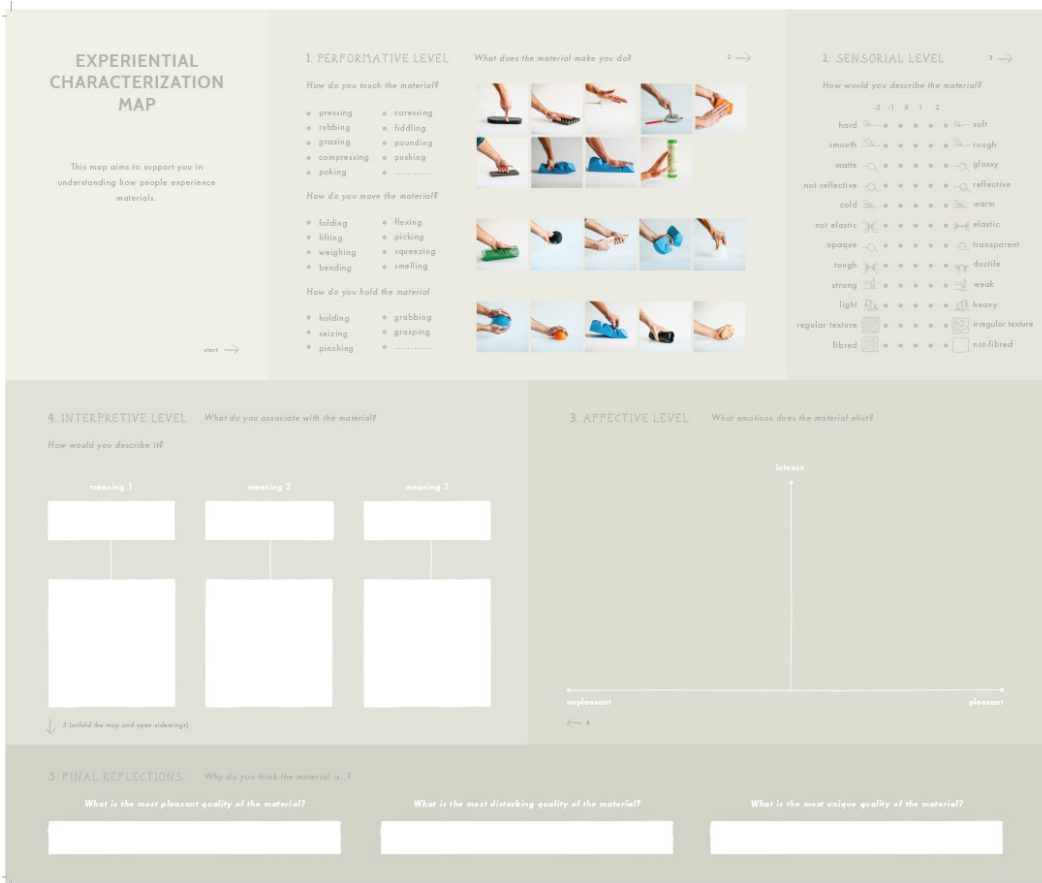


Fig. 22 - Mapa de caracterização da experiência do usuário do *Ma2e4-toolkit*

Fonte: Camere e Karana (2018).



Fig. 23 - Cartões com vocabulário da experiência emocional e interpretativa

Fonte: Camere e Karana (2018).

Fig. 24 - Conjunto de imagens que apoiam os cartões de vocabulário

Fonte: Camere e Karana (2018).



Para conduzir as análises, as pesquisadoras propõem que sejam realizadas oficinas, conduzidas por um facilitador e um participante. Primeiramente, o participante é instigado a manipular livremente uma amostra de material, sem qualquer conhecimento prévio sobre suas características e uso. Em seguida, o facilitador designado inicia a condução das análises, passando por todas as etapas do mapa, tomando notas sobre a forma com que os usuários interagem com a amostra de material, além de auxiliar no preenchimento de cada análise. O mapa, que possui o formato de um papel A3, ao final das análises é aberto, permitindo que participante visualize um apanhado geral de suas respostas.

A ferramenta tem como objetivo realizar uma caracterização completa da experiência, sendo bastante proveitosa neste sentido, pois fornece ferramentas ágeis e educativas. A forma como os materiais constituintes foram idealizados também é um ponto de destaque, já que facilita com que pesquisadores em diversas realidades possam aproveitar-se das análises, já que o material foi disponibilizado gratuitamente no *website* do grupo de pesquisa, inclusive sendo promovida a ideia de que outros pesquisadores possam alterá-lo e manipulá-lo para realização de suas próprias análises.

Apesar dos inúmeros pontos positivos, é necessário aprofundar a investigação sobre a análise dos dados gerados. Não há explicações sobre como conduzir essa

análise, inclusive nos exemplos expostos, e tampouco há uma ligação entre a análise das experiências e os resultados da caracterização técnica do material, ou seja, as questões tangíveis a eles relacionadas. Embora as pesquisadoras mencionem que é possível estabelecer esta ligação, não há orientações sobre como isso deve ser realizado.

3.3.6.4

Permatus

O modelo “Percepção de Materiais pelos Usuários (Permatus)” de Dias (2009) é parte da atividade de seleção de materiais em um projeto de produto. É composto por seis etapas: (1) Elementos do produto; (2) Ciclo de interações; (3) Processo sensorial; (4) Perfil do material; (5) Avaliação subjetiva; e (6) Diretrizes para projeto. A **Figura 25** ilustra o resumo do modelo.

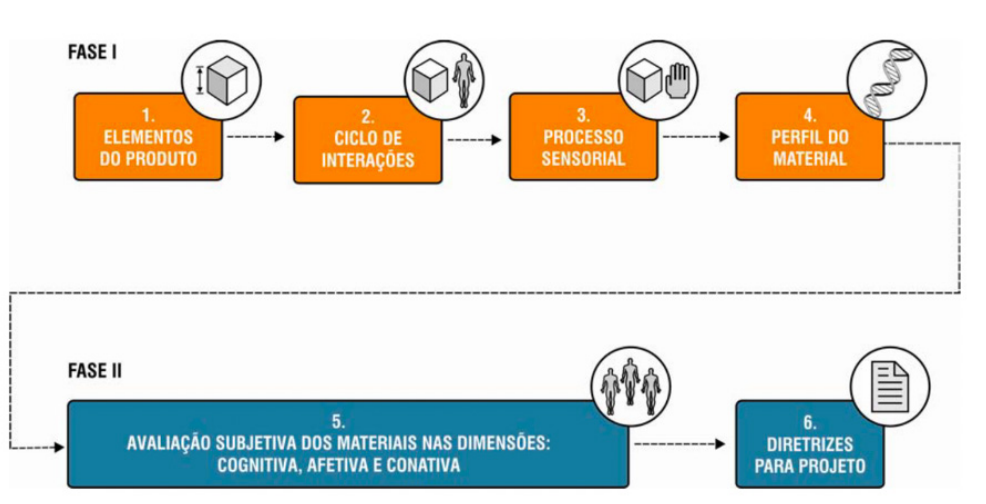


Fig. 25 - Modelo Permatus

Fonte: Dias (2009, p. 125).

A fase I aborda questões relacionadas ao produto, analisando os elementos constituintes, possíveis interações entre os usuários e produto, modalidades sensoriais envolvidas no uso e perfil dos materiais que serão selecionados. Em seguida, a fase II objetiva desenvolver a avaliação os materiais e é realizada por usuários selecionados. Como resultado das duas fases anteriores, o modelo gera manuais de recomendação sobre a interação material-produto-usuários, auxiliando designers e outros profissionais do projeto, fornecedores de matéria-prima e por fim, indica quais materiais são mais adequados para o projeto em questão.

A importância do modelo se dá pelo aprofundamento das questões elencadas nas fases e a análise dos usuários como parte do projeto de produto, seguindo uma série de passos claros e baseados em diversos aspectos da ciência e do design de produtos. É uma

excelente fonte de informação sobre as questões sensoriais, emocionais, interpretativas e interativas dos usuários com os materiais aplicados em produtos. Vale ressaltar que o modelo é destinado para a seleção de materiais em um projeto de produto, e por essa razão não faz menção à descoberta da experiência com materiais isolados.

Tendo em consideração tal especificidade, é possível aproveitar-se de análises utilizadas no modelo para o estudo de materiais, como, por exemplo, as modalidades de análise de processo sensorial, expostas e descritas em detalhe no **Quadro 9**:

Quadro 9 -
Propriedades
Sensoriais

Fonte: Monteiro (2023).
Adaptado de Dias
(2009).

Sensação	Descrição
Visuais	Relacionadas aos aspectos da forma, dimensão, espessura, volume, cor, brilho, transparência e detalhes das superfícies materiais. Podem também nos informar sobre a situação do objeto: posição, distância e movimento.
Táteis	Causadas pela interação com os objetos, percebida pelo sentido tátil e envolvendo todas as partes do corpo, como a mão, rosto, pé, costas, braços, pernas, etc.
Hápticas	Resultam da exploração e utilização do produto-material, tais como: manipulação, pressão, fricção e contato. Têm relação com as propriedades dos materiais, a estrutura dos materiais e produtos, bem como sensações provocadas pelo uso do material (dor, suor, temperatura e textura). Também auxiliam nas sensações funcionais.
Auditivas	Relacionadas à sonoridade do material, que pode indicar e sinalizar, por exemplo, seu funcionamento, a presença de problemas e permitir um feedback com o usuário. O som emitido pelos materiais pode nos fornecer informações sobre a sua natureza.
Olfativas	Relacionadas ao cheiro natural ou artificial dos materiais.
Gustativas	Decorrentes do gosto dos materiais ou produzidas, indiretamente, pelo uso destes.
Térmicas	Sensações de calor, frio, umidade e secura na interação com o objeto. Estão relacionadas à condutividade térmica e capacidade térmica do material, tais como: isolamento, umidade, transferência (condução, convecção, radiação, evaporação e condensação).
Funcionais	Formas de usar, ativar e manipular o objeto. Consideram a dinâmica das peças e seus materiais. Têm relação com todas as demais sensações.

O estudo gerador do Modelo, em geral, é uma excelente fonte de informação para compreender aspectos relacionados à experiência humana com produtos e materiais, além de revisar uma quantidade extensa de ferramentas, métodos e vocabulário para

teste de experiência e aproveitamento de tais levantamentos em um projeto de produto. O seu objetivo, descrito abaixo, é alcançado de maneira clara e demonstra ser uma útil ferramenta de pesquisa para o design.

A realização de testes serve para explorar, avaliar, validar e comparar uma série de requisitos do produto, entre eles os materiais. Como já mencionado, os materiais têm uma inter-relação intrínseca com outros requisitos, como o processo de fabricação, forma, cor, usabilidade, desempenho, segurança, dentre outros. Portanto, o modelo Permatius pode ser tanto aplicado durante os testes planejados do projeto, como também em diferentes estágios do projeto (Dias, 2009, p.149).

3.3.6.5

Ferramentas para tradução interdisciplinar de experiências materiais

Partindo das problemáticas encontradas nas ferramentas e pesquisas citadas anteriormente, principalmente no que diz respeito à lacuna entre a convergência dos estudos da experiência dos usuários e questões técnicas dos materiais, a ferramenta de Wilkes *et al.* (2015) se mostra uma possibilidade de união entre as áreas do design e da engenharia, baseada em uma série de experimentos que aliam atributos técnicos a experiências subjetivas de som, paladar e toque.

Os experimentos utilizam conjuntos de materiais isomórficos (**Figura 26**) para analisar a relação entre as experiências percebidas pelas pessoas e as propriedades mensuráveis dos materiais, trabalhadas pela ciência dos materiais. O primeiro teste proposto refere-se a propriedades acústica dos materiais, explorando a relação sensorial com atributos acústicos e propriedades quantitativas como brilho acústico, densidade e módulo elástico.



Fig. 26 - Amostras de materiais isomórficos utilizados no estudo de toque

Fonte: Wilkes *et al.* (2015, p. 1231).

O segundo teste refere-se ao toque dos materiais, correlacionando rugosidade, dureza e frieza com propriedades físicas como rugosidade da superfície, módulo de elasticidade e efusividade térmica. A terceira parte dos testes debate o paladar dos usuários e sua relação os materiais, explorando a percepção de dureza, aspereza, frieza, doçura e amargor com propriedades como rugosidade da superfície, módulo de elasticidade, efusividade térmica e potencial de eletrodo padrão.

É válido mencionar que o presente estudo compila uma série de pesquisas anteriores, demonstrando grande familiaridade com os temas abordados. Um dos grandes pontos de interesse nesta pesquisa, além da análise da relação entre atributos técnicos e sensoriais, é a discussão a respeito da motivação das pessoas ao interpretarem suas experiências com o material.

Segundo os autores, a percepção de um material não corresponde a uma única propriedade física mensurável, ou seja, ainda há uma necessidade de investigação qualitativa aprofundada sobre as associações culturais da interação e percepção com materiais. Destacam-se assim as dificuldades, ainda presentes, em comunicar experiências qualitativas de uma forma que seja compreensível para pesquisadores de materiais, bem como a necessidade de um esforço complementar aos métodos e ferramentas sistemáticos oferecidos pela pesquisa de design.

3.3.6.6

Piselli *et al.*

A pesquisa de Piselli *et al.* (2018) visa desenvolver um método para seleção, que fornece aos designers de produtos dados mensuráveis para apoiar e fundamentar decisões qualitativas sobre os materiais. Embora se concentre no método projetual clássico, destaca-se os aspectos intangíveis como parte integrante do processo de seleção, com foco especial na experiência do usuário.

O método consiste na união de múltiplas ferramentas organizadas em uma estrutura de duas etapas. A primeira delas utiliza técnicas já conhecidas da engenharia para elencar materiais para determinado projeto, com base em seus atributos técnicos. A segunda etapa propõe um teste de análise sensorial para escolher os materiais previamente selecionados, com foco para o visual e acabamentos adequados ao projeto, baseando-se

nas sensações visuais, olfativas e táteis. Na **Figura 27** pode-se visualizar o percurso do método, com as duas ferramentas mencionadas, para a escolha de um material.



Fig. 27 - Síntese do Método

Fonte: Piselli *et al.* (2018, p. 259). Tradução nossa.

A primeira etapa do método utiliza ferramentas de seleção de materiais oriundas da engenharia, com a aplicação de softwares de seleção (*CES Selector*), escolhendo-se os materiais conforme os atributos técnicos já mapeados. Além disso, propõe uma ferramenta original, uma base de dados com análise de contexto (*Context Analysis Datasheet*) para auxiliar a seleção de alternativas.

Em seguida, na segunda etapa, são utilizadas ferramentas tradicionais no design de produtos, como análise de tendências, biblioteca de materiais e materiotecas, além da ferramenta original *SensoMAT protocols* (**Figura 28**), sendo uma adaptação do teste de classificação *Napping test*¹⁰ (Faucheu *et al.*, 2015). que consiste em um procedimento simples e rápido de ordenar um conjunto de amostras em uma linha consoante a intensidade de um atributo específico ou escalando do menos apreciado ao mais apreciado. Na **Figura 29**, o resumo das ferramentas de seleção.

¹⁰ Método sensorial descritivo para mensurar diferenças sensoriais entre amostras de materiais e produtos. O usuário deve posicionar as amostras sobre uma superfície bidimensional limitada de acordo com as sensações atribuídas por ele, deixando próximas aquelas que sejam percebidas idênticas e distantes quando percebidas diferentemente (Faucheu *et al.*, 2015).

Fig. 28 - Exemplo do teste de mapeamento de amostras

Fonte: Piselli *et al.* (2018, p. 262). Tradução nossa.

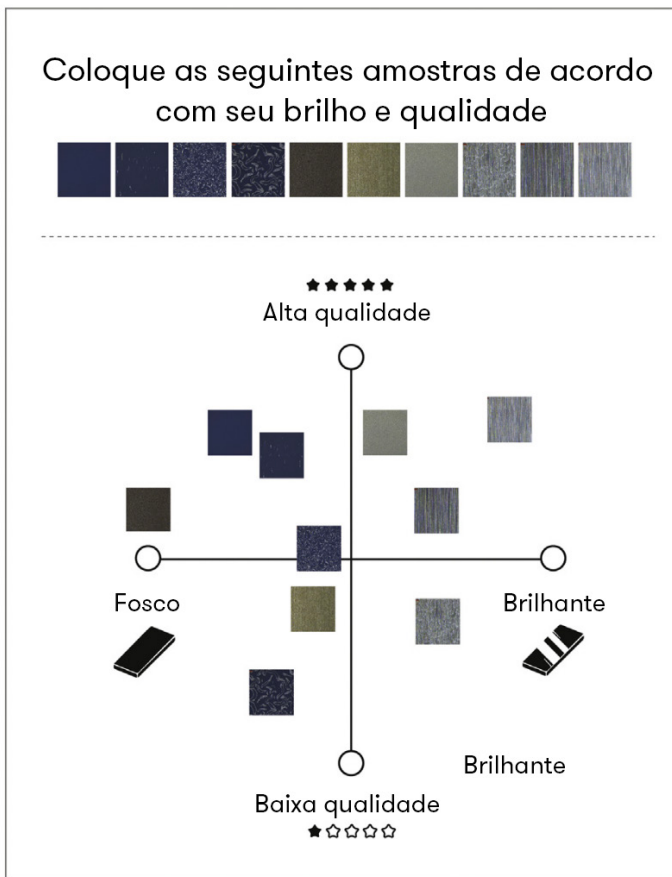
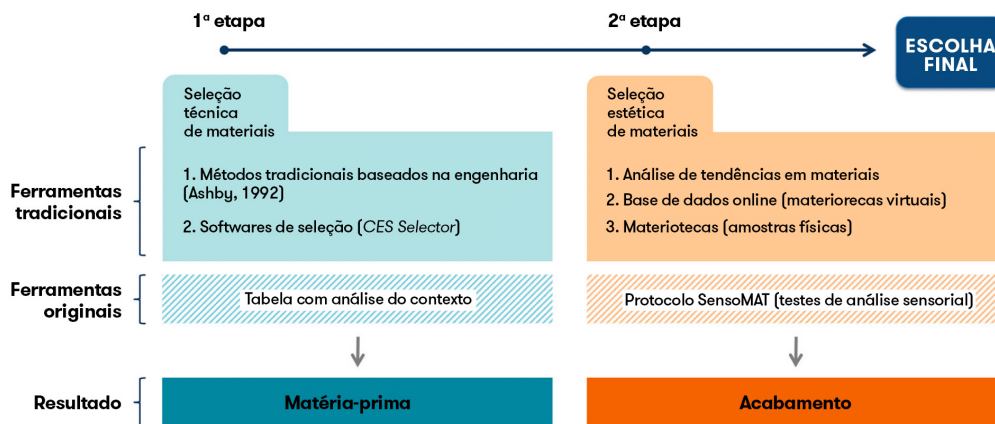


Fig. 29 - Etapas do método integrado de seleção de materiais

Fonte: Piselli *et al.* (2018, p. 261). Tradução nossa.



As ferramentas relacionam questões sensoriais a dados quantitativos, e por isso, pretendem auxiliar na difícil questão que é a ligação entre as áreas da engenharia e design de produto. Nota-se que a forma encontrada para abordar essas duas áreas é bastante proveitosa, além de que algumas ferramentas, como a tabela de questões sensoriais relacionada ao material (**Quadro 10**), é rica e pode ser facilmente utilizada em diversas pesquisas para encontrar quais qualidades podem se sobressair em um material.

Modalidade	Propriedade	Descritor
Visual	Brilho	Brilhante – Opaco
	Regularidade da superfície	Uniforme – Não uniforme
	Intensidade da cor	Intensa – Clara
	Transparência	Transparente - Opaco
Tátil	Rugosidade	Áspero – Macio
	Temperatura	Quente – Frio
	Viscosidade	Pegajosa – Não pegajosa
	Maciez	Macio - Duro
Intangível	Qualidade	Alta – Baixa
	Elegância	Elegante – Não elegante
	Inovação	Moderno – Tradicional
	Valor	Caro – Barato
	Prazer	Agradável – desagradável

Quadro 10 -
Descritores de componentes estético-sensoriais dos materiais

Fonte: Piselli *et al.* (2018, p. 264). Tradução nossa.

Apesar da qualidade do estudo, os testes aplicados para compreensão dos aspectos técnicos não produziram resultados sólidos e satisfatórios, já que os autores mencionam que as medições físicas serviram como base para fornecimento de referências visuais, mas não foram suficientes para serem transformadas em requisitos de projeto, ou explicar a diferença percebida entre as amostras analisadas.

Sobre a segunda etapa, que pondera as questões sensoriais, também não foi possível obter uma resposta conclusiva. Dessa forma, o objetivo inicial, de encontrar uma solução para troca de material em um projeto, não foi alcançado, já que não houve consenso sobre quais materiais se destacavam de acordo com os requisitos iniciais de projeto. Todavia, reconhece-se que a standardização dos testes sensoriais é bastante satisfatória, apesar de não incluir referências à utilização de novos materiais.

CAPÍTULO IV

Método *eXpiral*

4.1

Introdução

Experiência é uma espécie de conhecimento adquirido por meio da prática. A tentativa, com seus subseqüentes erros e acertos, transforma a realidade e permite que os seres humanos manipulem e criem um novo mundo. O design pode ser visto nesse cenário como um agente do meio transformador. O aprendizado contido em projetar, condensado nas metodologias projetuais, é a forma racionalizada da prática. Faz-se de uma determinada forma para obter resultados contundentes e esta prática confere um elemento demasiado importante na evolução humana: o controle sobre o desconhecido.

Além da experiência do fazer, há também a experiência acumulada através das inúmeras vivências e associações realizadas pelos seres humanos; e esta confere uma série de significados ao mundo material. O que se observa, sente e interpreta são determinados pelo tempo, repertório pessoal, contexto, cultura e particularidades dos indivíduos. Os dois tipos de experiência, para os designers, são conectados de tal forma

que não há possibilidade de separação. Suas produções refletem as inúmeras práticas que foram adquiridas e evoluídas ao longo de sua experiência profissional, assim também como todo o repertório sociocultural.

Esta tese explora muitas formas de experiência. O método ***eXpiral*** é apresentado neste capítulo, sintetizando grande parte da experiência da pesquisadora que o concebeu. Decorrente de uma formação em design de produto, e movida por uma inserção curiosa na área da engenharia de materiais, esta abordagem traz uma nova perspectiva sobre um tema que tem sido cada vez mais explorado nos últimos anos: a investigação e o desenvolvimento criativo de materiais por designers de produto.

O método ***eXpiral*** tem como principal objetivo **guiar o desenvolvimento de novos materiais para o design mediante etapas de trabalho que incluem a investigação das potencialidades materiais, o material, métodos de manipulação e criação, caracterização técnica, caracterização da experiência, formulação de fichas técnicas e posterior aplicação em produtos**, com iteração para constante revisões e melhorias. Inclui aspectos tangíveis (técnicos) e intangíveis (experiência e aspectos subjetivos) na elaboração de propostas originais de materiais e suas aplicações no design.

O método foi originado a partir de uma lacuna encontrada nas pesquisas que envolvem a experiência dos usuários com materiais e a aplicação dos resultados em projeto de produto (Karana *et al.*, 2015; Wilkes *et al.*, 2015; Camere; Karana, 2018), além da análise das ferramentas e métodos que envolvem a experiência do usuário e materiais (Dias, 2009; Rognoli, 2010; Karana *et al.*, 2010; Piselli *et al.*, 2018). Todas as ferramentas e métodos mencionados procuram trabalhar com materiais já maduros (no sentido de estudos e aplicação tradicional na indústria), com pouca ou nenhuma menção aos novos materiais, ainda mais aqueles locais, que se conectam com questões socioculturais, econômicas, ecológicas, e que não tem espaço nas aplicações tradicionais do design.

O nome é originado no fator norteador do método: a experiência. Em todas as suas etapas, este é o principal foco, seja a experiência das pessoas que utilizam e vivenciam os materiais, ou do próprio designer e dos seus referidos usuários. Procurando alinhar essa complexa rede de conhecimento, significados e interpretações para que reflitam em um novo material e em aplicações no design. A espiral, na matemática, é uma curva aberta que descreve várias voltas em torno de um centro. O centro, neste caso, é o material em que se baseia o método. Do começo ao fim ele é revisitado, analisado, testado, experienciado,

manipulado e vivenciado em sua totalidade.

Na **Figura 30**, é apresentado o modelo ilustrativo do método, que envolve uma série de etapas interligadas, trabalhadas individualmente. Produzem, juntamente, a base para o desenvolvimento de materiais tendo como principal guia de produtos. Cada seção da **eXpiral** será abordada neste capítulo; no entanto, os designers têm a liberdade de conceber suas próprias abordagens para cada etapa, levando em consideração os objetivos específicos de cada uma. O grande objetivo é instigar a pesquisa e desenvolvimento de forma mais abrangente possível, para que o método possa gerar novas propostas com reais possibilidades de aplicação na indústria, seja para produção em pequena ou grande escala.

Fig. 30 - Modelo de sintetização do método *eXpiral*

Fonte: Monteiro (2023).



Como ilustrado, o método perpassa sete etapas, que envolvem:

- (1) Qual material é trabalhado;
- (2) O que já se sabe sobre ele;
- (3) Quais são os seus atributos técnicos e como é possível manipulá-los;
- (4) Como os potenciais usuários o experienciam;
- (5) Como são apresentados formalmente;
- (6) Onde se pode aplicá-lo em um projeto de produto e

(7) Como se pode melhorá-lo a partir das etapas e análises anteriores.

Todas as informações e tarefas contidas nas etapas entregam uma precisão, de menor para o maior, sobre o material, aumentando as informações com o avanço do método. A seguir, as etapas supracitadas serão explanadas e exemplificadas para uma melhor compreensão.

4.2

Etapas do método *eXpiral*

4.2.1

Etapa I: Seleção do material

O método *eXpiral* deve ser iniciado com uma exploração de materiais com potencial para serem manipulados e utilizados no design. É uma tarefa que ocupa bastante tempo já que à primeira vista, as oportunidades são infinitas. Pode-se aproveitar da vivência dos designers, para que mediante uma investigação criativa, consigam encontrar possibilidades ao seu redor.

Entre as inúmeras possibilidades existentes, sugere-se que o olhar curioso seja o primeiro elemento criativo do método. Além da intenção do designer, a investigação também pode derivar de especificações previamente formuladas, pelo contexto de pesquisa ou o trabalho previamente desenvolvido em uma determinada região. Na **Figura 31**, apresenta-se um modelo de investigação que pode ser utilizado, onde se separam três etapas, da maior para a menor: investigação, questionamento e escolha. É apresentado, em seguida, o que cada uma delas representa na pesquisa a ser desenvolvida.



Fig. 31 - Modelo de exploração de materiais

Fonte: Monteiro (2023).

Investigação

A investigação de materiais por parte de designers é um processo complexo que envolve a análise de uma variedade de fatores. Aconselha-se inicialmente uma visão generalista sobre o material, incluindo: o que ele é, onde é encontrado, quem o utiliza e quais as problemáticas associadas. Dentre estes pontos, destacam-se a disponibilidade e o acesso aos materiais, bem como seu impacto ambiental e social. Somado a estes fatores, é importante que o designer considere o contexto cultural e histórico em que os materiais são produzidos e utilizados, a fim de garantir que se respeite sua identidade.

Para realizar a investigação, é necessário que o designer tenha uma abordagem interdisciplinar, que envolva a colaboração com especialistas de diferentes áreas. Essa colaboração permite uma compreensão mais profunda dos materiais e de seu contexto cultural e socioeconômico, bem como a identificação de possíveis desafios e oportunidades para sua utilização. Deve-se elaborar uma estratégia de investigação sistemática para identificar e avaliar possíveis questões, a fim de avançar no desenvolvimento do método. Nesse sentido, algumas perguntas podem ser usadas como diretrizes para orientar a exploração:

São materiais naturais, resíduos ou de descarte?

Como o material é encontrado hoje?

Com qual frequência?

Em que volume?

Qual o seu valor de comércio?

Legalmente, é possível utilizar este material?

Dedicar esforços a esse tipo de investigação no início do projeto é imprescindível, pois poupa os designers de se aprofundarem em propostas que não sejam viáveis ou que não possam ser replicadas. Todas as questões apresentadas devem ser analisadas com cautela, já que podem se tornar obstáculos para a continuidade das atividades e até mesmo acarretar sanções legais para aqueles que possuem e/ou manipulam os materiais. Somente após a definição cuidadosa dos materiais é que se pode avançar para a próxima etapa da investigação, que envolve um aprofundamento dos questionamentos.

Questionamento

Tendo-se definido qual o material principal de investigação, é preciso analisar as suas complexidades. São perguntas amplas, que podem carecer de estudos mais aprofundados, todavia, nesta primeira etapa, é reforçado o carácter de exploração e não científico das questões. Entre as questões passíveis de serem investigadas, sugere-se que sejam respondidas:

Quem o utiliza?

Como ele é encontrado?

Quais necessidades ele supre?

Quais as problemáticas que envolvem o seu uso?

Por que se usa de tal maneira hoje?

Por que não o se utiliza na indústria?

É uma análise crítica que envolve não somente o material, mas também os usuários que o utilizam e até mesmo a área do design e da indústria em geral. Por tratar de materiais ainda não explorados, é necessária sensibilidade para não serem realizadas interferências desnecessárias. Por este motivo, a empatia é muito importante no processo de exploração. Tendo-se encontrado uma ou mais opções com potencial para trabalho, é momento de selecionar um deles para seguir com o método.

Escolha

Após a obtenção das respostas às perguntas anteriores, é crucial selecionar cuidadosamente o material que será utilizado como base no método **eXpiral**. É importante ressaltar que qualquer mudança nessa escolha deve ser analisada minuciosamente, uma vez que pode implicar na necessidade de repetir todo o processo de investigação.

Ademais, outras questões podem surgir durante o processo de seleção de materiais, as quais devem ser consideradas atentamente. A escolha do material adequado é um fator crítico para o sucesso do método e pode ter impacto significativo em relação aos resultados, viabilidade e custos. Portanto, é necessário um exame criterioso de cada opção para garantir que a escolha seja a mais apropriada para o projeto.

Conclusão

Como resultado da etapa de investigação, é esperado que o designer tenha selecionado um material para ser explorado e tenha documentado cuidadosamente todas as informações relevantes sobre o material em questão. É essencial que se obtenha uma compreensão completa do estado atual do material, incluindo seu uso, contexto cultural e socioeconômico, usuários envolvidos, a disponibilidade, o volume em que é encontrado e valores de obtenção.

Para mais, é importante que o designer tenha identificado e documentado as principais vantagens e desvantagens do material, bem como questões legais e econômicas associadas à sua aquisição, uso e descarte. Com essas informações em mãos, pode-se avançar na etapa de exploração e teste do material selecionado, de maneira mais aprofundada. A documentação detalhada das informações relevantes sobre o material permitirá que o designer tome decisões e medidas necessárias para garantir o sucesso do projeto. Espera-se, assim, que para a primeira etapa o designer seja capaz de responder às perguntas já mencionadas e compiladas na **Ficha 1**, exposta na **Figura 32**.

Fig. 32 - Ficha 1, referente a escolha do material

Fonte: Monteiro (2023).

Material:

Origem:
 Natural Descarte Resíduo

Oferta:
 Anual Sazonal N/A

Vantagens:

Desvantagens:

Oportunidade:

Possui contexto cultural?
 Sim Não N/A

Possui questões legais para aquisição?
 Sim Não N/A

Valor médio de mercado:

Principais usos:

Principais usuários:

4.2.2

Etapa II: Compreensão do material

Com a definição do material que será utilizado, é iniciada a fase de compreensão aprofundada. Esta etapa objetiva levantar todas as informações possíveis sobre o material selecionado, no que diz respeito à sua constituição e comportamentos (aqui chamada caracterização técnica). Para alguns materiais, é possível encontrar caracterizações ou fichas descritivas de suas características físicas, mecânicas, térmicas, químicas e elétricas desenvolvidas por fornecedores ou pesquisadores. Todavia, a maioria dos novos materiais não dispõe desse tipo de informação e, portanto, cabe aos pesquisadores incorporá-las como parte de seu estudo.

Sobre essas questões, o conhecimento de propriedades mecânicas como resistência, durabilidade, densidade, dureza e flexibilidade é fundamental para o designer em todas as etapas do processo de design, já que essas características determinam a capacidade do material de suportar as demandas físicas do ambiente em que será utilizado, garantindo a segurança e a funcionalidade do produto onde será aplicado. As propriedades químicas também são muito importantes, incluindo a sua estabilidade, reatividade, toxicidade, inflamabilidade e outras propriedades relevantes.

Essas informações determinam se o material é adequado para o uso pretendido e se pode ser utilizado de forma segura, evitando qualquer risco para a saúde ou segurança dos usuários. Para garantir a qualidade e eficiência das propostas, é fundamental que seja realizada uma pesquisa interdisciplinar sobre tais propriedades que envolva outras áreas do conhecimento com as competências necessárias para realizar essa modalidade de investigação, como a engenharia de materiais. A inserção do designer nesta exploração é importante para que se construa uma visão ampla das características do material.

Além da visão ampla, a compreensão de todas essas questões é essencial para que o designer compreenda as propriedades do material antes de se aprofundar no método de design. O conhecimento prévio das potencialidades e limitações do material evita o desperdício de tempo, recursos e esforços dos pesquisadores, resultando em um processo de design mais eficiente. Portanto, a pesquisa interdisciplinar é uma estratégia importante para garantir a qualidade e a competitividade do material.

Outra importante ferramenta que gera compreensão sobre o material é a análise do ciclo de vida. Além das características do material, é importante a investigação de todos os aspectos relacionados a sua produção e uso. Em projetos com requisitos ambientais bem delimitados e preocupados com o impacto das escolhas, é imprescindível ter uma visão ampla da seleção. Um modelo bastante rico é o de Manzini e Vezzoli (2002), que apesar de ter sido gerado para análise de produtos, pode ser adaptado para a análise de um novo material.

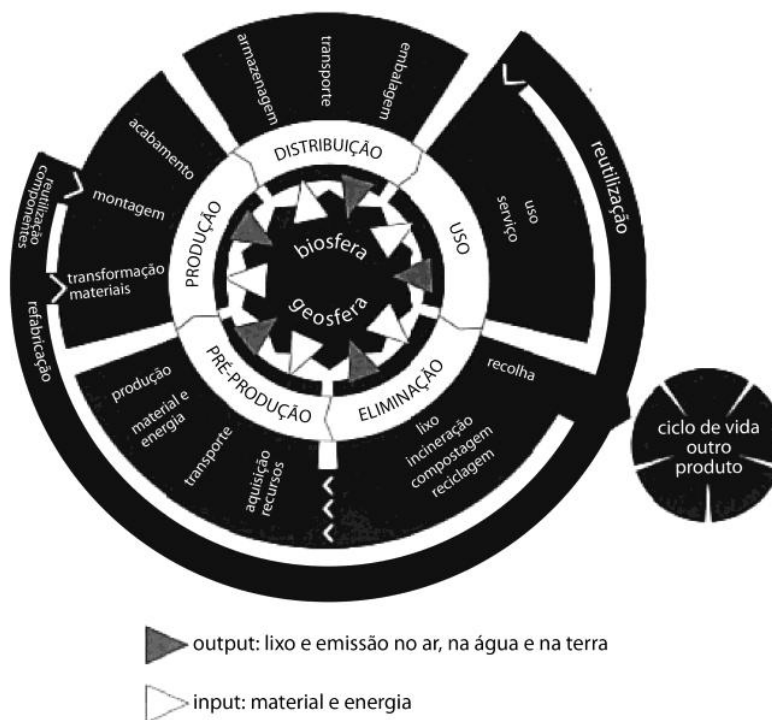
Para os materiais em desenvolvimento, é possível reduzir as etapas de estudo de ciclo de vida em:

- Pré-produção: aquisição de recursos, produção e transporte;
- Produção: transformação, montagem e acabamento;
- Uso: uso e serviço.

Se necessário e aplicável, outras etapas do ciclo de vida original podem ser inclusas, conforme ilustrado na **Figura 33**.

Fig. 33 - Modelo de ciclo de vida do produto

Fonte: Manzini e Vezzoli (2022, p. 92).



Após o levantamento de informação sobre as questões anteriormente mencionadas, é possível finalizar a etapa com questionamentos sobre a transformação, manipulação e tratamentos passíveis de serem empregados no material em análise, e algumas perguntas-chave podem auxiliar na análise para preparar o designer para as etapas posteriores onde a temática é aprofundada:

Quais técnicas de manipulação são utilizadas?

Quais as tecnologias e processos de fabricação disponíveis?

E os materiais análogos, como são manipulados?

Quem faz este tipo de manipulação?

Quais as principais vantagens e desvantagens nos processos?

Todos os questionamentos apresentados têm um impacto significativo em várias áreas de estudo, incluindo o design de produtos e a engenharia de materiais. As informações coletadas e geradas a partir das perguntas são valiosas não apenas para o desenvolvimento de materiais usando o método ***eXpiral***, mas para a comunidade científica na totalidade. As informações coletadas podem ser compartilhadas com outros pesquisadores, possibilitando a realização de estudos mais aprofundados sobre o material. Dessa forma, as perguntas feitas pelo designer sobre o material são cruciais para aprimorar a qualidade do material e fomentar o avanço científico na área de materiais.

Conclusão

Ao concluir esta etapa, é esperado que os designers e pesquisadores tenham coletado informações gerais sobre o material selecionado em forma de **Ficha 2 – Características do material (Figura 34)**, incluindo suas potencialidades, limitações, características e comportamentos. Essas informações serão de grande utilidade e relevância em todo o processo de desenvolvimento do método, por isso, é importante que a coleta e organização dessas informações seja realizada com cuidado e atenção.

Com o conhecimento mais aprofundado sobre o material escolhido, o designer pode tomar decisões mais fundamentadas e estratégicas ao longo do processo de desenvolvimento, além de identificar possíveis desafios e obstáculos que possam surgir durante a execução do método. Dessa forma, a coleta e organização dessas informações é fundamental para garantir a qualidade e o sucesso do projeto final.

Fig. 34 - Ficha 2, referente a características do material

Fonte: Monteiro (2023).

Características do material	Análise do ciclo de vida
Propriedades do material (mapeadas)	Pré-produção: Produção: Distribuição: Uso: Eliminação:
O que necessita ser investigado	
Técnicas de manipulação conhecidas	
Limitações	

4.2.3

Etapa III: Manipulação do material

Finalizados o processo de seleção de material e compreensão de suas particularidades e potencialidades, a próxima fase é a de manipulação. Esta etapa objetiva compreender como se pode alterar o material selecionado, criando ao final um protocolo para que as práticas realizadas possam ser replicadas em diferentes contextos. Além da manipulação, a etapa também contempla o estudo das propriedades da nova proposta obtida, já que novas configurações implicam em diferentes comportamentos técnicos do material.

Preparação

A preparação envolve todo o trabalho anterior à manipulação do material. Tendo em vista que o processo a ser desenvolvido deve ser passível de ser replicado, é necessário documentá-lo de modo a garantir que seja realizado em qualquer nova aplicação da proposta material idealizada. O processo a ser empregado depende diretamente do material e das necessidades do designer e pesquisador, sendo preciso analisar e definir quais as demandas para o material escolhido.

Sugere-se, assim, atenção para algumas etapas: (1) **Extração/Obtenção**: sendo materiais naturais ou reaproveitamentos, é preciso garantir a mesma procedência do insumo, respeitando normas legais caso sejam aplicáveis; (2) **Limpeza**: deve-se realizar um processo de limpeza dos insumos antes de sua utilização, assegurando-se que todo o material está sob as mesmas condições para que o material gerado tenha consistência; (3) **Medição e pesagem**: para a correta análise dos resultados, é necessário obter medições e pesagem dos insumos, a fim de garantir a replicabilidade dos processos de manipulação; (4) **Catálogo e armazenamento**: após a realização de todas as etapas de pré-trabalho, é recomendável estabelecer um método comum e seguro para catalogar e armazenar os materiais, para garantir que sejam preservados corretamente até sua utilização.

Salienta-se a necessidade de definição de um processo claro para a sequência de atividades que sejam realizadas. Normas técnicas podem ser aplicadas, sendo por isso fundamental a pesquisa para compreensão dos eventuais requisitos para aquele tipo de material. Essas questões surgem recorrentemente neste método e voltam à atenção durante todo o processo de manipulação. Novamente, reitera-se que o trabalho

interdisciplinar é de grande auxílio à metodologia, contando com diferentes especializações para o tratamento correto dos materiais que serão utilizados.

Manipulação

Existem muitas formas de manipular um material de forma artesanal, visando a criação de propostas inovadoras. Os materiais podem ser modificados adicionando ou removendo elementos, alterando a sua estrutura ou composição química. Tais modificações podem levar a propriedades de materiais novas e exclusivas que podem ser aproveitadas no design de produto e na indústria em geral, seja ela tradicional ou a criativa.

Como exemplo de manipulação, têm-se: (1) Modificações em suas propriedades, alterando a composição química ou estrutura; (2) Combinação de diferentes tipos de materiais, para criar compósitos ou materiais híbridos; (3) Alteração em propriedades de superfície, com modificações pela aplicação de revestimentos ou tratamentos de superfície para obter propriedades específicas; (4) Controle de microestrutura, com manipulação das condições de processamento durante a fabricação (Ashby; Johnson, 2011).

A exploração dessas possibilidades é a primeira tarefa de manipulação de um material. Deve-se compreender o que é passível de ser realizado para o material selecionado previamente, ou seja, de que forma, com quais meios e processos. É um trabalho essencialmente exploratório, podendo ocorrer entre equipes multidisciplinares que tenham competências necessárias, como, por exemplo, a engenharia de materiais. É importante mencionar que, para este método, defende-se a utilização de formas artesanais de manipulação, isso é, sem necessidade de produção industrial como meio de transformação. Os métodos aptos de serem aplicados devem ser compreendidos, praticados e validados pela pessoa designer/pesquisadora.

De acordo com o tipo de material selecionado, um determinado processo de manipulação será aplicado. Compreendendo como se dá tal processo, é preciso testar e documentar de forma abrangente todas as etapas aplicadas. Os erros durante o processo são tão importantes quanto os acertos, pois permitem com que outros designers/pesquisadores possam compreender com mais profundidade a proposta desenvolvida e repetir os procedimentos adotados com novos materiais. Novamente, normas técnicas podem ser aplicadas, fazendo-se necessário segui-las para garantir a viabilidade técnica do projeto.

Destaca-se que a necessidade deste último ponto se deve à conformidade do processo, isso é, a garantia de que o material obtido segue um padrão de produção, mesmo que artesanal. Os designers devem repetir os processos realizados e garantir que se produz o mesmo tipo de material, sob as mesmas condições. É possível a existência de pequenas variações nos materiais produzidos, pois tal não conformidade na produção é parte das técnicas artesanais de manipulação. Nesse sentido, compreender o que é parte ou não do processo, e sim particularidade da produção, é também um dos objetivos desta etapa.

Sobre os tipos de manipulação, no **Quadro 11** são compiladas as principais formas de alterar um material de forma artesanal. A criatividade do designer é demasiado importante nesse trabalho, podendo inclusive combinar diferentes técnicas e desenvolver processos inovadores de manipulação e geração de propostas.

Tipo	Resumo	Exemplos
Alteração da composição química	Manipular de composição química de um material para melhorar suas propriedades ou criar novas	Adicionar elementos específicos a uma liga metálica pode aumentar sua força, resistência à corrosão ou outras propriedades
Modificação de forma	Alterar propriedades de material através da forma para atender a requisitos de projeto específicos	Diminuir a espessura de um material pode aumentar sua área de superfície e torná-lo mais reativo
Modificação de superfície	Alterar as propriedades de um material, como adesão, resistência ao desgaste e coeficiente de atrito	Revestimento, chapeamento ou polimento
Combinação de materiais	Combinar dois ou mais materiais para criar um novo material com propriedades únicas	Compósitos e fibras têxteis reforçadas
Aplicação de tratamentos mecânicos ou térmicos	Modificar a estrutura e as propriedades de um material	Laminação e forjamento

Quadro 11 - Tipos de manipulação de materiais

Fonte: Adaptado de Ashby & Johnson, (2011).

Verificação

Seguidamente à definição do processo de manipulação e desenvolvimento da nova proposta material, passa-se ao processo de conhecimento de suas propriedades.

Assim como se investigou o material original, é preciso testar a versão manipulada para compreender seus comportamentos e viabilidade técnica como um material para o design. Podem ser verificadas as características físicas, mecânicas, térmicas, químicas e elétricas do novo material, assim como a trabalhabilidade da nova proposta. São as características tangíveis do novo material, ou seja, quantificáveis, e responsáveis por dar ao material o direcionamento correto sobre suas possíveis aplicações.

O plano sobre quais atributos serão definidos e como os testes serão realizados deve ser realizado conjuntamente as áreas que possuem conhecimento para realização dos ensaios e análise dos resultados obtidos, como a ciência e engenharia de materiais. Aconselha-se que o designer esteja envolvido tanto na definição quanto na realização das análises, pois a aproximação com estas áreas e a condução dos ensaios proporcionarão a ele um entendimento sobre o material, bem como vivência para futuras aplicações com diferentes materiais. No **Quadro 12**, são apresentadas algumas propriedades básicas dos materiais e suas unidades de medição:

Quadro 12 -
Principais atributos
técnicos dos
materiais

Fonte: Ashby (2012,
p. 34).

Classe	Propriedade	Símbolo e unidades
Gerais	Densidade	ρ (kg/m ³ ou Mg/m ³)
	Preço	C_m (\$/kg)
Mecânicas	Módulos de elasticidade (de Young, transversal, de elasticidade volumétrica)	E, G, K (GPa)
	Tensão limite de escoamento	σ_y (MPa)
	Limite de resistência	σ_{ts} (MPa)
	Resistência à compressão	σ_c (MPa)
	Resistência à falha	σ_f (MPa)
	Dureza	H (Vickers)
	Alongamento	ϵ (-)
	Limite de fadiga	σ_o (MPa)
	Tenacidade à fratura	K_{Ic} (MPa.m ^{1/2})
	Tenacidade	G_{Ic} (kJ/m ²)
	Coefficiente de perda (capacidade de amortecimento)	η (-)
	Taxa de desgaste (constante de Archard)	K_a MPa ⁻¹
	Térmicas	Ponto de fusão
Temperatura de transição vítrea		T_g (°C ou K)
Temperatura de serviço máxima		T_{max} (°C ou K)
Temperatura de serviço mínima		T_{min} (°C ou K)
Condutividade térmica		λ (W/m.K)
Calor específico		C_p (J/kg.K)
Coefficiente de expansão térmica		α (K ⁻¹)
Resistência a choque térmico		ΔT_s (°C ou K)
Elétricas	Resistividade elétrica	ρ_e ($\Omega.m$ ou $\mu\Omega.cm$)
	Constante dielétrica	ϵ_r (-)
	Força dielétrica	V_b (10 ⁶ V/m)
	Fator de potência	P (-)
Óticas	Índice de refração	n (-)
Propriedades ecológicas	Energia incorporada	H_m (MJ/kg)
	Pegada de carbono	CO_2 (kg/kg)

Outra importante fonte de informação é a trabalhabilidade de um material. O termo diz respeito aos perfis de corte, junção e acabamento de superfície que um material é

capaz de suportar (Ashby; Johnson, 2011). Influenciam na forma, cor, textura, acabamento e aplicação da proposta e são de extrema importância em projetos criativos, por exercerem um papel significativo na questão visual das propostas. Nos **Quadros 13** e **14** são resumidas as principais possibilidades que podem ser investigadas:

Nomenclatura	Tipo de junção	Observações
Costura	De topo e de sobreposição	Pode unir diferentes materiais, utilizando fibras naturais, fibras de polímeros, aramidas ou fios de metal
Rebites e grampos	De sobreposição	Pode unir materiais diferentes. Em geral são feitos de metal, porém também podem ser feitos de polímeros. São considerados processos rápidos e econômicos
União roscada	Sobreposta	São as mais versáteis entre as uniões mecânicas, podem unir materiais diferentes e com diversas espessuras. Podem ser desmontados. Em geral feitas de metal ou polímeros rígidos
União de encaixe	Todas as geometrias podem ser adaptadas desde que o material escolhido permita o modelo	Unem materiais diferentes, são consideradas rápidas e econômicas, podendo ser desmontadas de acordo com o projeto
Soldagem	Todas as geometrias podem ser adaptadas desde que o material escolhido permita o processo	Podem ser de variados tipos, utilizando energia (calor) para realização. O material precisa suportar o processo

Quadro 13 - Perfis de junção

Fonte: Adaptado de Ashby & Johnson, (2011).

Os testes de trabalhabilidade são essencialmente exploratórios e carecem de normas técnicas para guiá-los. Indica-se que sejam realizados pelos próprios designers/pesquisadores e que façam uma detalhada documentação de todos os passos elaborados, para que outros profissionais possam repeti-los ao desenvolver suas próprias propostas de materiais.

Quadro 14 -
Principais perfis
de acabamento de
superfície artesanais

Fonte: Adaptado de
Ashby & Johnson,
(2011).

Nomenclatura	Funções	Observações
Serigrafia	Cor, refletividade, textura	Pode ser aplicado a papel, polímeros, vidro, metais e têxteis. Cada cor utilizada exige uma matriz separada
Tampografia	Cor, refletividade, textura	Consegue imprimir em superfícies irregulares e sobre cores úmidas. Pode ser utilizada em polímeros, vidro e metal
Impressão ou transferência por água	Cor, refletividade, textura	Processo versátil, podendo gerar formas curvas, complexas e multicoloridas. Pode ser utilizada em polímeros, cerâmicas, vidro, metal e madeira
<i>Hot stamping</i>	Cor, refletividade, textura	Pode ser utilizado em áreas planas ou com relevos. Pode ser aplicado em polímeros, madeira, couro, papel, vinil, têxteis e metal pintado. Decoração permanente
Pintura à base de solvente	Cor, textura, toque; proteção contra corrosão e bactérias; proteção contra desgaste	Tintas do tipo dão o revestimento mais macio e uniforme, com maior controle da cor. Podem ser aplicadas com pincéis, sprays e em praticamente qualquer superfície
Pintura à base de água	Cor, textura, toque; proteção contra corrosão, ataques de fungos e bactérias; proteção contra desgaste	Adequados para utilização onde a flexibilidade e tenacidade são importantes. Demoram mais para secar e devem ser protegidas contra congelamento
Texturização	Cor, textura, toque; atrito.	Podem ser criadas de várias formas: fundição, moldagem, ferramenta de entalhe ou laminação entre rolos entalhados. Quase todos os materiais podem ser texturizados

Consolidação

Por fim, é imperativo que todas as experimentações e ensaios realizados na fase de manipulação do material sejam avaliados, documentados e analisados. É necessário gerar uma ficha técnica detalhada do novo material, apresentando os resultados concisamente, juntamente com os métodos e normas técnicas utilizadas.

O trabalho realizado nesta etapa pode resultar em alternativas inovadoras, as quais devem ser valorizadas e reconhecidas. É importante, assim, publicação das investigações, a fim de compartilhar com a comunidade científica e acadêmica as novas descobertas e incentivar designers e pesquisadores a se envolverem no processo de manipulação e desenvolvimento de novos materiais.

Conclusão

Espera-se que seja desenvolvida a **Ficha 3 - Definição de técnica de manipulação e fabricação do material**, em forma de protocolo que possa ser replicado em diferentes situações. Também é necessário que o designer teste a forma de manipulação e as variáveis, compreendendo os detalhes do processo. Não só os acertos devem ser mencionados, mas o processo na totalidade, com suas problemáticas e erros. Na **Figura 35**, o modelo em resumo da ficha que deve ser preenchida

Manipulação do material

Preparação:

Materiais necessários:

Finalização:

Descrição da técnica:

Erros no processo:

Fig. 35 - Ficha 3, referente a manipulação do material

Fonte: Monteiro (2023).

4.2.4

Etapa IV: A experiência dos usuários com o material

A experiência dos usuários é um aspecto crucial no desenvolvimento de um novo material para o design. Entender os seus sentimentos, interpretações e formas de interação é

imprescindível para validar a proposta gerada pelo método **eXpiral**. Como já discutido nesta tese, os novos materiais carecem de um perfil identitário, o que implica em uma compreensão distinta segundo o público que o analisa. É necessário, assim, apreender tais experiências para que o designer faça modificações e ajustes necessários no material para melhor atender às necessidades e expectativas dos usuários e torná-lo mais aceitável.

Para compreender estas particularidades, podem ser realizadas pesquisas de mercado, testes com os usuários e outras técnicas de avaliação já empregadas na indústria e em pesquisas de qualidade. Existem muitas ferramentas e métodos neste sentido (**Capítulo 3 – Subitem 3.3.6 desta tese**), que podem ser adaptadas conforme a necessidade do projeto. Independentemente de como as análises serão realizadas, algumas perguntas devem ser respondidas:

Ao que este material remete?

Quem o usa ou poderá usar?

Quais as sensações (táteis, visuais, olfativas, audíveis e gustativa) ao usá-lo?

Quais emoções o usuário sente ao usá-lo?

Quais interpretações ele faz do material?

Quais interações há com o material ao usá-lo?

Quais pontos positivos são citados?

Quais pontos negativos são citados?

Para uma compreensão generalista da experiência com o material, se indica que sejam realizadas análises dos atributos sensoriais, emocionais, interpretativos e interativos (**Figura 36**). Durante a utilização de um material tais experiências ocorrem simultaneamente e não podem ser isoladas, todavia para fins de pesquisa, as análises preferencialmente devem ser feitas de maneira individualizada para ser possível aprofundar-se no discurso e experiências daqueles que as vivenciam.

Como possibilidade para investigação dessas experiências, são indicadas duas alternativas testadas nesta tese: para análises em formato presencial o **mapa de experiência** (**Capítulo 3 – Subitem 3.3.6.3 desta tese**) de Camere e Karana (2018), adaptado e traduzido pela autora, e para análises remotas, o **aplicativo X-MAT** desenvolvido

originalmente nesta tese. Ambas as alternativas investigam de forma múltipla os atributos mencionados, relacionando ainda os aspectos positivos, negativos e únicos dos materiais.



Fig. 36 - Atributos da experiência com o material

Fonte: Monteiro (2023).

Para compreender os dados obtidos nos testes de experiência dos usuários, podem ser realizadas análises do discurso em questões abertas, levando em consideração os termos mais frequentemente mencionados e as motivações para sua escolha. Para as etapas onde é possível mensurar as respostas, como por exemplo a análise dos atributos interpretativos onde termos comuns podem ser selecionados, pode-se obter uma quantificação das preferências dos usuários.

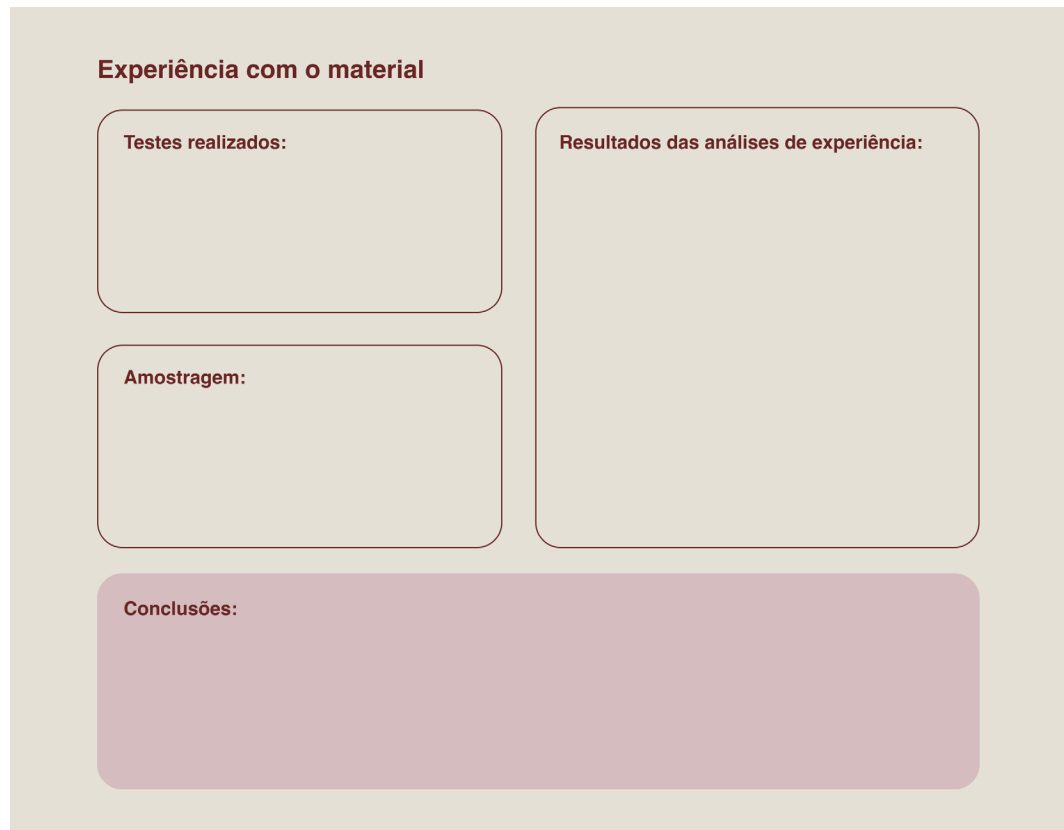
Para compreender ambas as tipologias de dados, é preciso uma análise subjetiva do designer e pesquisador, pois como não há uma forma estandardizada de mensuração deve-se encontrar formas criativas de elencar possibilidades para as experiências determinadas, de forma com que sejam convertidas em requisitos de projeto – que é onde tais achados poderão ser alocados na forma de aplicação em um projeto de produto.

Conclusão

Ao final desta etapa, espera-se que os resultados obtidos sejam analisados e compilados na forma de uma **Ficha 4 - Caracterização da experiência do usuário com o material (Figura 37)**. O documento deve prover informações sobre os testes realizados e seus principais achados, com indicação de possíveis caminhos para a aplicação do material.

Fig. 37 - Ficha 4, referente a experiência com o material

Fonte: Monteiro (2023).



O formulário, intitulado "Experiência com o material", é dividido em quatro seções principais:

- Testes realizados:** Um campo retangular para registrar os testes realizados.
- Resultados das análises de experiência:** Um campo retangular para registrar os resultados das análises.
- Amostragem:** Um campo retangular para registrar informações sobre a amostragem.
- Conclusões:** Um campo retangular maior e mais destacado para registrar as conclusões finais.

4.2.5

Etapa V: Aplicação do material

Com informações sobre as características técnicas e experiência com o novo material já levantadas, é iniciado o processo de aplicação do novo material em um projeto de produto. Entre as perguntas que poder ser feitas nesta etapa, se indica que se investigue com base nos resultados anteriores, as seguintes questões:

Em quais produtos este material pode ser aplicado?

São produtos de pequeno ou grande porte?

Em qual escala?

Quais as limitações?

Qual o impacto ambiental deste material neste tipo de produto?

Como se dá sua produção?

E o descarte?

Como se mensura o sucesso da aplicação deste produto?

O método projetual que dará suporte ao desenvolvimento do produto auxiliará em muitas das questões, e é de livre escolha da pessoa designer e pesquisadora. Os processos que serão utilizados nesta etapa dependem muito do tipo de produto em que se pretende aplicar o material. Seja de forma artesanal ou em um processo já estabelecido, os designers devem atentar se a aplicação está condizente com os comportamentos previstos do material e se respondem às expectativas dos usuários determinadas nos testes de experiência do usuário.

Deve-se considerar também questões referentes à aplicação do material em um determinado produto, que só podem ser formuladas a partir da delimitação da utilização. É indicado que sejam realizados estudos de ciclo de vida (modelo apresentado na Figura 33), pois esta análise permite que o designer tenha uma visão completa sobre todos os processos envolvidos, garantindo assim uma análise sensível aos inúmeros agentes e questões do processo de criação de um novo material e de um produto.

Como resultado da etapa, espera-se **propostas de aplicação do novo material em um produto**, além de uma análise de ciclo de vida para uma ou mais das possibilidades. Também são indicados testes de experiência e usabilidade com os novos produtos, para testar apropriadamente a utilização do material. Nesse sentido, o designer deve escolher a metodologia que mais se adapta às suas necessidades, de acordo com a tipologia de material e produto desenvolvidos.

4.2.6

Etapa VI: Apresentação do material

Com as definições técnicas, experiência e aplicações definidas para o novo material, é necessário que seja planejada forma de apresentá-lo. Pode-se organizar os achados das etapas anteriores em uma **Ficha 5 – Resumo do material**, com todas as informações obtidas. O modelo apresentado na **Figura 38** busca compilar as informações de forma visual simplificada, para auxiliar na comunicação da proposta.

Fig. 38 - Ficha do material (resumo do processo)

Fonte: Monteiro (2023).

O diagrama apresenta uma ficha do material organizada em sete seções verticais, cada uma contida em um retângulo arredondado. As seções são:

- Material** (destacado em um fundo cor-de-rosa escuro)
- Histórico e usuários**
- Processos e manipulação**
- Ciclo de vida**
- Características técnicas**
- Experiência dos usuários**
- Conclusões e possíveis aplicações** (destacado em um fundo cor-de-rosa escuro)

Um ponto importante a ser considerado é a forma de apresentação das informações técnicas oriundas da caracterização técnica. A pessoa designer/ pesquisadora de produto deve procurar comunicar os resultados de forma objetiva, para que os dados apresentados sejam compreendidos. Como mencionado anteriormente (Capítulo 3) há uma problemática referente à comunicação entre a área do design e engenharia de materiais. Para tanto, é recomendada a utilização de gráficos, comparação com outros materiais e exemplos para auxiliar no entendimento.

Destacam-se, assim, os benefícios de se delimitar para quem a ficha é destinada, isso é, qual tipo de usuário fará uso das informações. Deve-se apresentar os principais achados da investigação em uma linguagem clara e concisa, que instigue as pessoas interessadas a procurar conhecer mais após o primeiro contato. Como o método é destinado principalmente aos designers de produto, deve-se atentar para explanação de

pontos que sejam essenciais no desenvolvimento de produtos e que correspondam a demandas técnicas, visuais, sensoriais, emocionais e interpretativas do material.

4.2.6

Etapa VI: Revisão e iteração do projeto

Por fim, espera-se que um plano de medição e revisão seja desenvolvido para o novo material. Entre os caminhos que podem ser percorridos, é indicado que sejam propostos objetivos e hipóteses sobre o produto onde o material foi aplicado, e que existam formas de obter dados sobre sua eficiência e adoção entre os possíveis usuários. Sobre as questões que podem ser exploradas:

Como o material se comporta quando aplicado em um determinado produto?

Como as pessoas sentem-se ao utilizar aquele produto?

O que pode melhorar?

Como mensurar as experiências dos usuários após a aplicação?

Como garantir uma contínua melhoria?

O que se pode repensar das etapas anteriores?

Como resultado da etapa, devem ser determinados **requisitos para revisão do material, com um plano contundente de melhoria contínua baseado nas hipóteses formuladas.**

CAPÍTULO V

Método *eXpiral* - Aplicação

Este capítulo apresenta uma aplicação-teste do método *eXpiral*. Buscou-se perpassar pelo máximo de etapas possíveis, para compreender sua eficiência e objetividade. Definiu-se como prioritária escolha de um material local, por se entender que o método *eXpiral* pode-se demonstrar promissor para o desenvolvimento e aplicação de novos materiais e produtos que viabilizem também uma produção local sustentável, valorizando as especificidades de cada região do país. Devido ao material escolhido, algumas etapas careceram de adaptação sendo reduzidas ou modificadas. Tal ação é prevista no próprio método, que dá a liberdade para o designer alterá-lo conforme suas necessidades.

Para tornar a leitura do capítulo mais objetiva, na **Figura 39** é apresentado um resumo das etapas que foram desenvolvidas, que serão elucidadas ao longo do texto. Nesta pesquisa desenvolveram-se dois novos materiais compósitos: **Material 1 - tururi e resina poliuretana à base de mamona; e Material 2 - tururi e resina epóxi**. Também contou com relatos da pesquisadora responsável e proponente desta tese, já que como mencionado anteriormente, a experiência do designer durante a aplicação do método é de grande relevância.

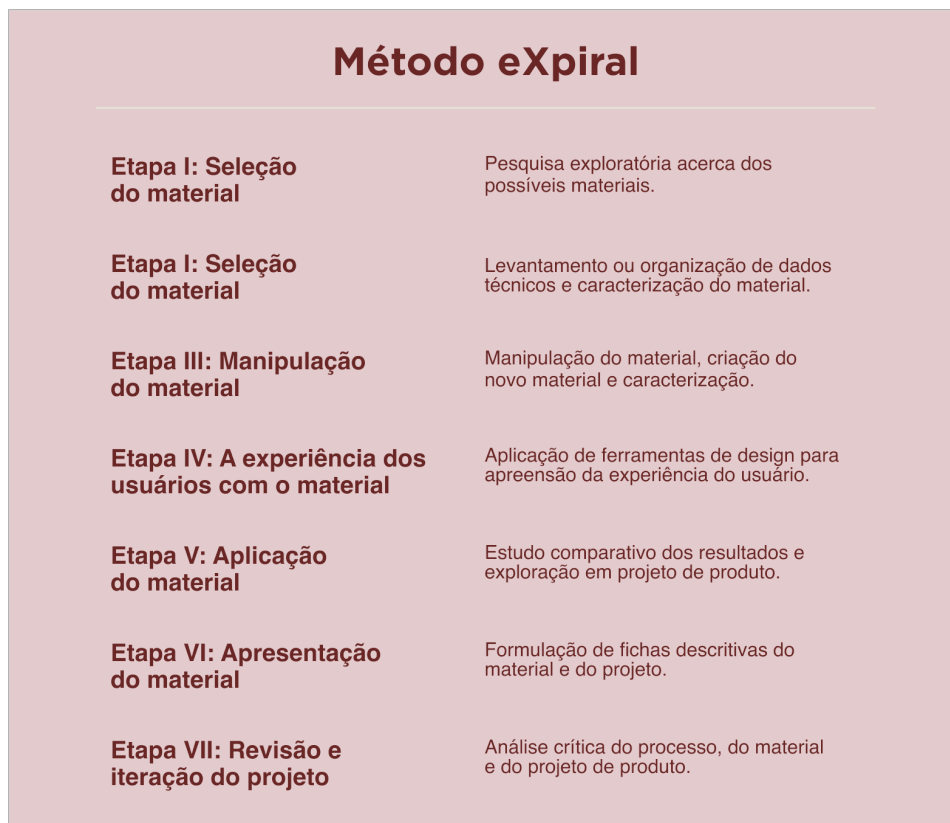


Fig. 39 - Resumo do método *eXpiral*

Fonte: Monteiro (2023).

5.1

Etapa I: Seleção do material

5.1.1

Investigação

A Amazônia é constituída por uma das maiores biodiversidades do planeta Terra, com 6,74 milhões km² de extensão que se estendem por oito países, entre eles o Brasil. Na região norte do país, onde está localizada a Amazônia brasileira, a história e cultura de seus habitantes é diversa, refletindo a grandeza da região, com suas inúmeras variações e influências. Sobre a educação e produção de design na região, há ricas particularidades. O estudo de materiais e suas diversas possibilidades é incentivado, com um olhar curioso e experimental sobre tudo o que cerca o trabalho criativo.

Entre as vivências amazônicas e acadêmicas da pesquisadora responsável por essa tese, apresenta-se a fibra de tururi, ou o material fibroso tururi, como também é

As palmeiras Ubuçu são encontradas de maneira dispersa nas matas de várzea (aquelas que são periodicamente inundadas pelos rios) e não há conhecimento até o presente momento do projeto de silvicultura desta palmeira. A coleta é feita de maneira artesanal pela população tradicional, também chamada de ribeirinha, que utiliza métodos como corte com facões e peçonhas para extração dos sacos que protegem os frutos da palmeira (**Figura 42**).



Fig. 42 - Extração de tururi na cidade de Muaná - Pará

Fonte: Monteiro (2016).

Cada palmeira produz quatro cachos de frutos por ano, dos quais cerca de 6-7 kg são de fruto. A colheita é feita sazonalmente entre os meses de dezembro a fevereiro (Balick, 1979). “Esta fibra é coletada nas terras baixas da floresta amazônica, as várzeas. A extração é feita manualmente por ribeirinhos que moram próximo e que estão acostumados com as dificuldades naturais do local” (Leal, 2012, p. 3).

O processo de obtenção do material é dificultado por sua localização geográfica, já que não há embarcação entre Muaná e Belém todos os dias (**Figura 43**). Também é totalmente dependente da população ribeirinha, pelo motivo de a palmeira ser encontrada de forma dispersa na região. Sobre o valor de obtenção, em 2019 o saco do tururi *in natura* tinha o custo de R\$5,00 (cinco reais) por espécime (jan. 2019). Não é possível comprar o material em todas as épocas do ano, sendo necessário esperar pelo período de colheita, realizada sazonalmente entre os meses de dezembro a fevereiro.

Fig. 43 - Típica embarcação da região do arquipélago do Marajó

Fonte: Monteiro (2016).



A obtenção do material vegetal não necessita de autorização do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) ou de qualquer outro órgão ambiental federal ou estadual, posto tratar-se de material normalmente comercializado na região do Pará (Brasil) e cuja compra e posse não possui qualquer restrição legal em nenhum dos Estados brasileiros.

5.1.2

Questionamento

O tururi é utilizado principalmente pela população tradicional amazônica e no artesanato local, tanto na região do arquipélago do Marajó quanto na capital do estado, Belém –

Pará. O trabalho é desenvolvido por comunidades artesãs, fortalecendo economicamente e socialmente as mesmas. A maior e principal cooperativa é a Flor do Marajó, situada na cidade de Muaná – Pará. O grupo de artesãs desenvolve técnicas de beneficiamento do material e expande a utilização do tururi em objetos decorativos e de moda, como bolsas (Figura 44), chapéus e porta-moedas.



Fig. 44 - Bolsas de tururi confeccionadas pela cooperativa Flor do Marajó

Fonte: Monteiro (2016).

No ano de 2019, foi inaugurada pelo Governo do Estado do Pará a primeira Fábrica de Biojoias da Associação das Artesãs Flor do Marajó (Aflomar), que funciona como uma casa de artesãs. No espaço, mulheres de 25 famílias trabalham em comunidade na confecção de brincos, pulseiras, bolsas e chapéus, entre outros pequenos objetos domésticos, e inclui ainda um espaço dedicado exclusivamente ao tingimento da matéria prima.

Ao longo dos anos, a utilização do tururi têm se mantido constante, sendo quase exclusivamente dedicada à produção artesanal voltada ao comércio de turismo da região. Esta tese não objetiva modificar esta forma tradicional de uso, mas sim desenvolver novas formas de olhar para materiais locais, instigando a criatividade dos designers. Sendo assim, o tururi é de grande valia como material de estudo, já que seu formato de não-tecido permite que seja utilizado *in natura* em diversos tipos de objetos e possa ser explorado com distintas manipulações.

5.1.3

Escolha

Considerando a pesquisa sobre o material, seu histórico na região e a experiência da pesquisadora no contato com ele (Monteiro, 2016; Monteiro; Baruque-Ramos, 2016; Seyam *et al.*, 2017; Midani *et al.*, 2018; Monteiro; Dantas; Yojo, 2021), optou-se por seguir a aplicação do método **eXpiral** com a fibra de tururi. A escolha se deu principalmente devido as investigações científicas e socioculturais sobre suas particularidades e usos tradicionais já realizadas, tanto pela proponente quanto por outras pesquisas científicas (Oliveira, 2011; Oliveira; D’Almeida, 2013; Porras; Maranon, 2012).

Apesar da escolha por todos os fatores mencionados, atenta-se que a utilização de materiais locais de difícil localização, extração e obtenção devem ser ponderadas nesta primeira etapa do método, já que há uma série de limitantes no uso em larga escala, até mesmo tornando tal tipo de uso indisponível.

5.2

Etapa II: compreensão do material

Após a definição do material fibroso tururi como foco do método, foi preciso investigar informações sobre sua constituição e comportamentos, ou seja, suas características técnicas. Foram priorizadas a busca por caracterizações físico-químicas realizadas anteriormente, tanto com o material natural quanto na sua aplicação em compósitos poliméricos – a única aplicação fora artesanato conhecida para o material. Também foi elaborada a análise de ciclo de vida do tururi quando aplicado a compósitos, para avaliar as vantagens e desvantagens de sua utilização neste contexto. Sobre as caracterizações realizadas, se destacam as seguintes publicações, listadas abaixo.

Oliveira (2011) e Oliveira e D’Almeida (2011) desenvolveram um compósito com o processo de moldagem por compressão (**Figura 45**), utilizando a fibra de tururi *in natura* e resina poliuretana à base de mamona. Como teste de aplicação do novo material, o utilizaram no formato de piso do tipo *parquet*. Realizaram os seguintes ensaios para o material *in natura*: tração, difração de Raio-X, Análise térmica (TGA), Microscopia eletrônica de varredura com microanálise de raios-X (MEV/EDS), densidade, Difração de

raios X e espectroscopia infravermelha (FTIR), Calorimetria exploratória diferencial (DSC) e gramatura. Para os compósitos, os caracterizam com os ensaios: flexão, compressão normal e paralela, impacto, análise térmica dinâmico mecânica (DMTA), abrasão e MEV/EDS.



Fig. 45 - Compósito tipo *parquet* de tururi e resina de mamona

Fonte: Oliveira (2011, p. 214).

Porras e Maranon (2012) desenvolveram um painel de sanduíche de núcleo fabricado a partir do tururi *in natura* como reforço e ácido polilático (PLA) como matriz de resina. Realizaram ensaios mecânicos de compressão nos compósitos, para compreender sua viabilidade. Posteriormente, Porras *et al.* (2015) investigaram a caracterização do material fibroso tururi por análise da sua composição química, análise de espectroscopia infravermelha (FTIR), estudos morfológicos (SEM), análise termogravimétrica (TGA) e estudos das propriedades físicas/mecânicas do material em si.

Sobre as pesquisas realizadas pela pesquisadora desta tese, são evidenciadas: Monteiro (2016) elaborou a caracterização têxtil do material fibroso tururi através da determinação de título médio, gramatura, testes de tração e alongamento (resistência, tenacidade, alongamento, módulo de Young), valores de *regain*, microscopia transversal e longitudinal e FTIR. Como aplicação em compósito, Seyam *et al.* (2017) e Midani *et al.* (2020), desenvolveram placas através do método de infusão a vácuo, utilizando a fibra de tururi *in natura* e resina epóxi-vinil-éster. Realizaram os ensaios de determinação da tração e impacto para os compósitos.

Com as pesquisas mencionadas foi possível compreender alguns comportamentos do material. Na **Tabela 1** estão organizados os dados físicos para ensaios com o material fibroso tururi, que preserva em sua estrutura uma rede de fibras no formato de um não-tecido. Nos compósitos citados neste trabalho, por serem utilizados amostras no mesmo formato, tais informações se mostram satisfatórias para compreensão do material.

Tabela 1 -
Propriedades físicas
da fibra de tururi

Fonte: Monteiro (2016).

Propriedade	Valor
Título médio (tex)	100,3 ± 14,5 (CV=14,5%)
Carga de Ruptura (N)	17,7 ± 4,2 (CV= 23,5%)
Alongamento (%)	10,5 ± 2 (CV=20%)
Tenacidade na quebra (cN/tex)	18 ± 3, 2 (CV=18%)
Módulo de Young (N/tex)	3,4 ± 0,5 (CV=14, 4%)
Gramatura (g/m ²)	182 ± 18 (CV=10%)
Espessura (mm)	0,71 ± 0,10 (CV=14%)

Na **Tabela 2** os valores obtidos para os ensaios com o material fibroso tururi foram comparados aos de outras fibras de reconhecida empregabilidade têxtil e do design, podendo-se notar: (1) valores superiores quanto ao alongamento da fibra com todos os outros materiais; (2) similar quanto ao módulo de Young para cânhamo, kenaf e sisal, e (3) ao limite inferior para tenacidade com as fibras de algodão, linho e juta. De forma geral, os resultados para o tururi estão dentro dos parâmetros das outras fibras elegidas.

Tabela 2 -
Comparação de
propriedades
mecânicas de fibras
vegetais

Fonte: Adaptado
de Kaswell (1963),
Blackburn (2005) e
Monteiro (2016).

Fibras Naturais	Tenacidade (cN/tex)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Tururi*	14,8 – 21,2	8,5 – 12,5	25 – 38
Algodão	26,5 – 43,3	3 – 7	5,5 – 12,6
Linho	23,0 – 68,0	2,7 – 3,3	100
Cânhamo	51,2 – 60,0	1,8	35
Juta	26,5 – 51,2	1,7 – 2,0	2,5 – 15
Rami	48,6	3 – 7	50 – 80
Sisal	35,3 – 44,1	2 – 3	9,4 – 22,0

Sobre os ensaios realizados por Oliveira (2011), a pesquisadora relata que os dados obtidos nos ensaios MEV, difração de Raios-X, TGA, DSC, FTIR e densidade aparente em relação à água demonstram que o material fibroso possui características coerentes com a de outras fibras lignocelulósicas, corroborando com os resultados dos testes físicos mencionados na **Tabela 2**. Estes resultados indicam que o material fibroso tururi

têm potencial de emprego em diferentes tipos de produtos têxteis, moda, artesanato e compósitos, que poderiam ser usados em artigos de mobiliário ou na construção civil.

Sobre a aplicação do material em compósitos, devido aos compósitos pesquisados terem sido confeccionados com métodos diferentes (infusão a vácuo e compressão), os resultados não podem ser comparados entre si, já que a forma de desenvolvimento das placas impacta diretamente nas propriedades do material. Além disso, as resinas utilizadas são distintas (mamona e epóxi), o que promove comportamentos diferentes para os compósitos em análise.

Em teste para resistência a tração, Seyam *et al.* (2017) determinaram que para amostras com quatro camadas do material fibroso tururi e resina epóxi, fabricado com a técnica de infusão a vácuo, **a carga máxima obtida é de 1788 N e módulo de 2469 MPa**. Para fins de comparação, também são apresentados dados de testes de resistência a tração realizados em compósitos com resina epóxi e outras fibras vegetais, expostos na **Tabela 3**. Os compósitos apresentados também foram confeccionados com diferentes métodos, o que pode influenciar nos resultados.

Referência	Fibra e técnica	Carga média (MPa)
Fiori et al. (2014)	Cânhamo – prensa de compactação a calor	42,5
Gupta e Srivastava (2014)	Sisal - moldagem por compressão	89,3
Bisaria et al. (2015)	Juta – moldagem por compressão	78,21

Tabela 3 -
Resistência à tração de compósitos com fibras vegetais e resina epóxi

Fonte: Monteiro (2023).

Já para testes impacto (expostos na **Tabela 4**), é possível analisar dois resultados distintos para o tururi, com 97424 N para infusão a vácuo e 2655,7 N para moldagem por compressão. O valor elevado do primeiro teste corrobora com o argumento que o método infusão a vácuo promove melhor resultado por permitir uma melhor compactação entre fibra e resina (Midani *et al.*,2020).

Com a coleta das informações sobre o material fibroso e suas aplicações em compósitos, surge a questão das possíveis utilizações desse material, a partir de uma análise de suas propriedades e da comparação de dados com outras fibras vegetais. Essa aplicação será examinada e explorada em maior profundidade durante a fase de projeto, a fim de identificar oportunidades promissoras desse material inovador.

5.2.1

Tabela 4 -
Comparação entre testes de impacto para compósitos de tururi

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).

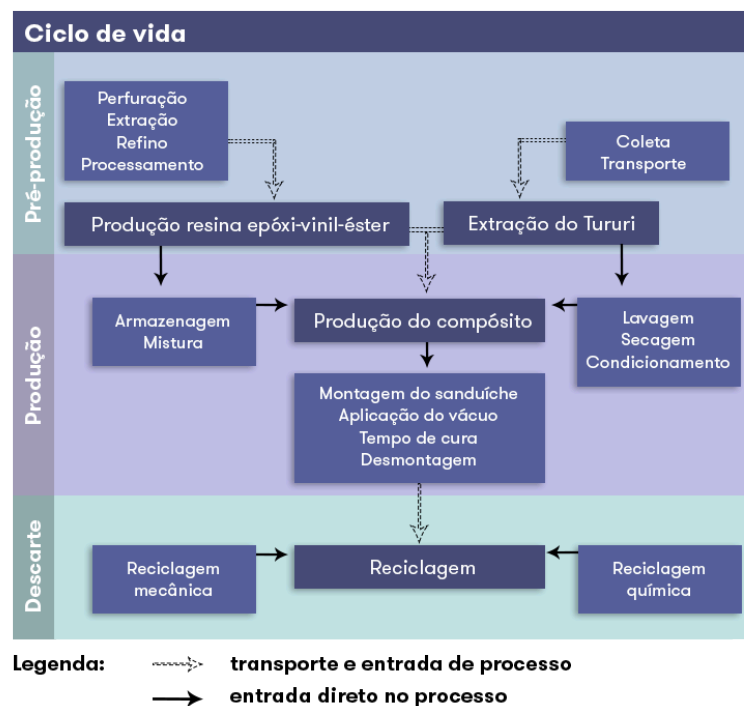
Referência	Tipologia	Carga média (N)
Midani et al. (2018).	Tururi e resina epóxi, com 8 camadas e fabricado com a técnica de infusão a vácuo.	97424
Oliveira (2011)	Tururi e resina epóxi, com 7 camadas e fabricado com a técnica de moldagem por compressão.	2655,7

Ciclo de vida do material

Como última etapa da compreensão do material, foi essencial realizar uma análise sobre seu ciclo de vida, a fim de entender seu desenvolvimento, manipulação e descarte de forma adequada. O modelo proposto está exposto na **Figura 46**, e atenta-se que seu formato reduzido é explicado por se tratar de um material e não de um produto.

Fig. 46 - Ciclo de vida do compósito de tururi e resina epóxi vinil éster

Fonte: Monteiro, Dantas & Yojo (2021, p. 82).



A fase de pré-produção está diretamente ligada à obtenção dos recursos necessários, ao transporte desses recursos do local de aquisição até o local de produção e a sua subsequente transformação em energia. Considerando que o material em questão faz

uso de uma fibra natural, é imprescindível examinar o processo de extração e transporte, conforme mencionado na etapa de exploração do material (**Item 5.1.1**). Além disso, também foi analisada a obtenção das resinas poliméricas que são utilizadas na produção dos compósitos, juntamente ao transporte até o local de produção destes.

A fase de produção é relacionada ao processo de desenvolvimento das placas de compósito, descritas em detalhe na Etapa III deste capítulo (**Item 5.3**). Abrange a transformação dos materiais, sua montagem e acabamento. Devido à natureza artesanal das técnicas empregadas, essa fase foi adaptada para proporcionar uma melhor compreensão e organização das informações. Inicialmente, é realizada a limpeza, classificação, medição e pesagem das amostras, bem como a preparação do material para ser utilizado nos compósitos.

Em seguida, é descrito o processo de fabricação de compósitos poliméricos utilizando o método de infusão a vácuo, baseado nos métodos de Seyam *et al.* (2017) e Rodrigues (2014). Por fim, na mesma etapa, aborda-se os aspectos do acabamento do material e são analisados diversos parâmetros relacionados às dimensões de sua utilização, conforme estabelecido pelo guia de referência de processos de manufatura apresentado por Ashby e Johnson (2011). Esses processos são empregados em projetos de design de produtos, e foram escolhidos os perfis de junção e acabamento de superfície como foco dessa análise.

5.3

Etapa III: manipulação do material

Com o conhecimento adquirido sobre as características do material escolhido – o tururi –, foi possível avançar para a etapa de manipulação. Como observado nas comunidades que tradicionalmente o utilizam como matéria-prima, o tururi pode ser alterado de muitas formas, seja descolorindo, tingindo ou associando-o com outros materiais. As possibilidades dependem do repertório e criatividade daqueles que se encarregam da tarefa, podendo descobrir novas e originais formas de alterá-lo.

Para testar a etapa de manipulação que o método ***eXpiral*** propõe, foram fabricados compósitos poliméricos utilizando a fibra de tururi. Definiu-se que o tururi seria utilizado na forma de compósito por suas propriedades físicas serem similares a de outras fibras tradicionalmente utilizadas para esta finalidade (MONTEIRO, 2016). Os compósitos são

materiais que apresentam muitas possibilidades de manipulação, por ser a união de dois ou mais materiais distintos e por isso um campo aberto para a experimentação com fibras naturais como material de reforço.

A escolha por este tipo de material também é justificada pela experiência da pesquisadora responsável com esse tipo de manipulação. Buscou-se manipular criativamente os materiais, sendo de suma importância ao pleno desenvolvimento do projeto e entendimento das qualidades objetivas e subjetivas associadas. A fabricação foi desenvolvida em parceria com o Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis (LAMM) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, com uma equipe multidisciplinar que possui as competências necessárias a este tipo de tarefa.

5.3.1

Preparação

A preparação, ou pré-produção, diz respeito ao trabalho inicial que deve ser elaborado antes da efetiva manipulação de um material. Para a aplicação desejada, foi preciso realizar as tarefas de pesagem, limpeza, organização e catalogação dos espécimes do material fibroso tururi. O processo empreendido é necessário para garantir as mesmas condições para todos os materiais, garantindo assim sua qualidade e replicabilidade.

Primeiramente foi definida uma identidade para cada espécime de tururi *in natura*, seguindo com pesagem e a medição de seu comprimento e espessuras. Os espécimes foram pesados individualmente utilizando a balança semianalítica da marca Shimadzu modelo Ux6200H (Figura 47).

Fig. 47 - Balança semianalítica utilizada para pesagem

Fonte: Monteiro (2023).



Para medição da espessura dos espécimes foi utilizado o Micrômetro Externo Digital com medição no intervalo de 0 a 25 mm, da marca Mitutoyo, modelo MC-004 (**Figura 48**). Optou-se pelo uso do micrômetro, pois os espécimes são bastante irregulares, o que também implicou em medição de seis diferentes pontos da amostra para garantir uma média entre as diferentes espessuras. O esquema de pontos de medição é apresentado na **Figura 49**.



Fig. 48 - Micrômetro utilizado para medição da espessura

Fonte: Monteiro (2023).



Fig. 49 - Pontos de medição da espessura

Fonte: Monteiro (2023).

Após as medições, foram repetidos os procedimentos de limpeza adotados pela população tradicional amazônica com este material (Monteiro, 2016). Procurou-se manter os mesmos métodos para que a replicabilidade dos ensaios fosse garantida. Primeiramente, o saco de tururi foi imerso em água corrente por 24 horas para facilitar o processo de limpeza. As fibras vegetais quando em contato com a água incham devido à absorção de água, o que facilita o trabalho de escovação. Para evitar perturbar a orientação das fibras, as amostras foram manualmente escovadas com escova de cerdas delicadas para remover as sementes, impurezas e matérias estranhas. Na **Figura 50**, um exemplo das impurezas encontradas no interior do saco.

Fig. 50 - Impurezas encontradas no interior do material pré-limpeza

Fonte: Monteiro (2023).



Mediu-se o peso de cada espécime ainda úmido e em seguida, estes foram inseridos em uma estufa com circulação e renovação de ar da marca Marconi, modelo MA 035. Como critério de secagem, foi definida a temperatura em 45 °C, com primeira medição da massa da amostra 24 horas após a inserção na estufa e a segunda medição após 30 horas. Definiu-se então, como critério de retirada, o valor de 1% de diferença entre as duas massas nas 6 horas de diferença entre as duas pesagens.

Com o processo de limpeza e secagem finalizados, cada espécime foi recortado em ambas as extremidades, para convertê-los em uma única camada de forma retangular de dimensão de 30 cm x 15 cm (**Figura 51**), de acordo com a metodologia de Seyam *et al.*, (2017). Os espécimes em sua maioria geraram duas amostras do tamanho padronizado. Após a finalização desta etapa, os espécimes foram armazenados em sala climatizada de acordo com a norma ABNT NBR ISO 139:2005 (antiga ABNT NBR 8428:1984). Todas as amostras foram climatizadas por um período mínimo de 48 horas, a 20°C e umidade relativa de 65%.

Fig. 51 - Espécime cortado

Fonte: Monteiro (2023).



5.3.2

Manipulação

No desenvolvimento de um novo material, é muito importante que seja possível compará-lo com outros materiais similares, assim como aproveitar-se de técnicas já estabelecidas e estudadas de manipulação. No método **eXpiral** é indicado que essas explorações sejam parte do processo criativo, com diversas tentativas para apreender a melhor forma de manipular determinando material.

Nesta aplicação, foram aproveitadas técnicas já conhecidas para manipular o material fibroso tururi. Estudos anteriormente realizados investigaram as características físicas e químicas de alguns tipos de compósito de tururi, demonstrando que seus atributos técnicos, quando comparados aos de outros materiais comumente utilizados, possuem valores considerados satisfatórios e, por isso, são passíveis de serem utilizados como um material para o design. Escolheu-se assim que seriam produzidos dois tipos de compósitos: **Material 1 - tururi e resina poliuretana à base de mamona; e Material 2 - tururi e resina epóxi**. Ambas os materiais possuem referência na literatura científica, o que permite comparação dos resultados (Oliveira, 2011), (Seyam *et al.*, 2017).

Resina poliuretana à base de mamona

A resina a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona) é do tipo AGT 1315 e foi doada pela empresa Imperveg Polímeros Indústria e Comércio Ltda. De acordo com o fabricante, é uma resina bicomponente, com alta estabilidade físico-química, elasticidade e impermeabilidade.

É utilizada na proporção 1:1,5 (A:B) e à temperatura ambiente, os endurecedores rápidos são processáveis e desmoldáveis após 40 - 180 minutos. Os compósitos confeccionados com esta resina apresentam características como alta durabilidade, grande resistência aos raios ultravioleta, estanqueidade a líquidos e gases, além de excelente penetração nos poros da superfície (Imperveg, 2021).

Resina epóxi

As resinas epóxi são fornecidas na forma de um líquido viscoso e se transformam em um plástico termorrígido por meio de uma reação química exotérmica de polimerização ou cura. Nesta pesquisa foi utilizada a resina epóxi vinil éster do tipo HEX 135 *slow*,

adquirida na empresa *E-composites Comercio de Materiais Compostos Ltda.* Este tipo de resina é comumente utilizado na confecção de materiais compósitos, pois apresenta ótima resistência química e propriedades térmicas (Oliveira, 2011).

De acordo com o fornecedor, a resina epóxi do tipo HEX 135 *slow* não contém solventes e enchimentos e à temperatura ambiente os endurecedores rápidos são processáveis e desmoldáveis após 6 - 12 horas. É utilizada na proporção 100:33 (A:B), e os laminados produzidos com este sistema possuem superfícies de alto brilho e não são pegajosos. Na **Tabela 5** estão expostos dados técnicos fornecidos pelo fabricante:

Tabela 5 -
Características da
resina epóxi vinil
éster

Fonte:
E-composites (2021).

Propriedade	Valor
Densidade	1,10 – 1,20 g/cm ³
Resistência à flexão	100 – 120 MPa
Módulo de elasticidade	2,8 – 3,2 GPa
Resistência à tração	65 – 75 MPa
Resistência a compressão	80 – 100 MPa
Alongamento na ruptura	7,0 – 10,0 %
Força de impacto	60 -80 kJ/m ²
Absorção de água a 23oC	0,20 – 0,90 7 [%]

5.3.3

Layout dos compósitos

Foram idealizadas configurações para os materiais compósitos que permitissem a comparação entre os resultados obtidos neste estudo com outros previamente realizados (Oliveira, 2011; Monteiro; Baruque-Ramos, 2016; Seyam *et al.*, 2017). As placas foram desenvolvidas de forma triplicada para uma efetiva comparação de resultados, totalizando assim 6 placas de compósito. Na **Tabela 6** são apresentados os *layouts* pré-definidos para o estudo, com os materiais, técnica, orientação e peso das amostras de tururi.

ID compósito	Número de Camadas	Resina	Peso (g)
M1	4 (16 tur.)	Mamona	537,54
M2	4 (16 tur.)	Mamona	469,64
M3	4 (16 tur.)	Mamona	454,93
E1	4 (16 tur.)	Epóxi	536,17
E2	4 (16 tur.)	Epóxi	558,04
E3	4 (16 tur.)	Epóxi	630,71

Tabela 6 - Layouts dos compósitos (M: compósito matriz mamona com fibras de tururi; e E: matriz epóxi com fibras de tururi)

Fonte: Monteiro (2023).

Foram utilizadas **16 amostras** de tururi no tamanho **30x15 cm**, totalizando **4 camadas** do material. Optou-se por essa organização, pois em pesquisas anteriores (Seyam *et al.*, 2017) esta foi a configuração com o menor número de amostras e melhores resultados. As camadas foram organizadas conforme a orientação 0°/90°, com esquematização na **Figura 52** onde cada cor representa um espécime diferente.

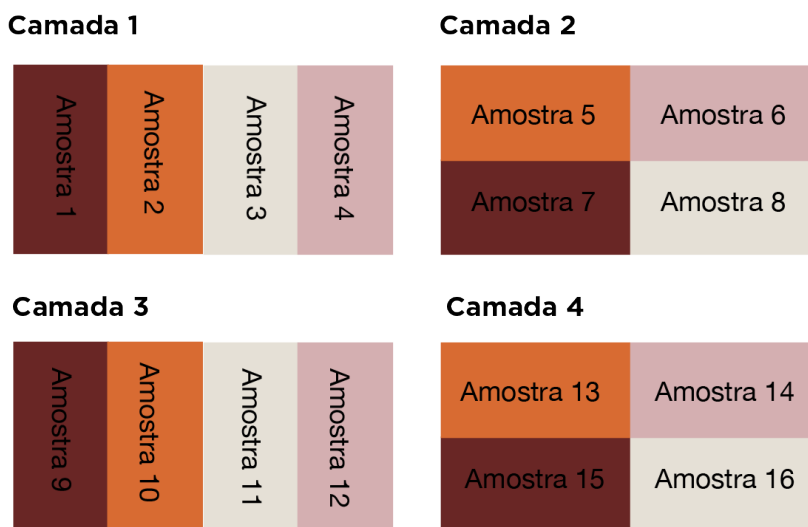


Fig. 52 - Layout do compósito de 4 camadas (tamanho 60x30 cm)

Fonte: Monteiro (2023).

5.3.4

Transformação

5.3.4.1

Processo de fabricação dos compósitos

Para a fabricação dos compósitos foi utilizada a técnica de infusão a vácuo. Esta é uma

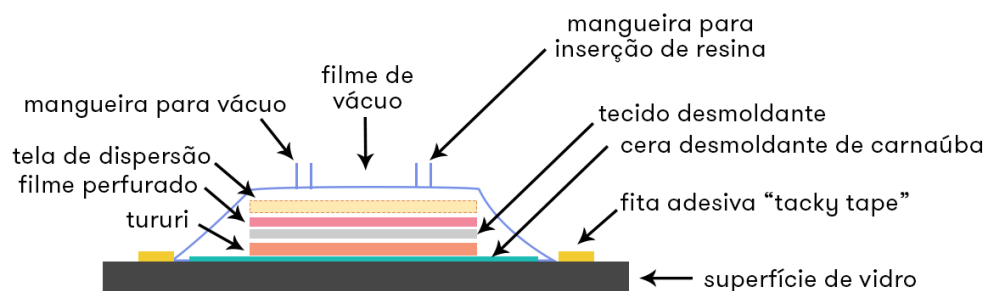
técnica de injeção de resina alternativa aos processos manuais em molde aberto para criação de compósitos. O processo caracteriza-se pela utilização de um molde flexível, o qual é submetido à pressão do vácuo para injetar a resina para o interior do material de reforço.

A técnica de infusão a vácuo foi utilizada pois proporciona uma estrutura mais leve e forte aos compósitos, quando comparado testes de impacto para compósitos do mesmo tipo fabricados com o método de compressão (Oliveira, 2011); (Seyam *et al.*, 2017); (Midani *et al.*, 2018). Há uma melhor compactação do laminado por conta da pressão atmosférica, com maior impregnação de resina com a fase dispersa (o tururi), conforme indicado anteriormente na **Tabela 4**.

Nesta pesquisa, foram repetidos os métodos de Seyam *et al.* (2017) e Rodrigues (2014), adaptando para o maquinário disponível. Nas **Figuras 53 e 54**, são expostas a esquematização de montagem do compósito com a fibra de tururi.

Fig. 53 - Esquema representativo do processo de laminação a vácuo

Fonte: Monteiro (2023).



A confecção foi iniciada pesando as fibras de tururi em balança semianalítica (marca Shimadzu modelo Ux6200H), sendo a quantidade de espécimes pré-definida segundo o tamanho da placa e a quantidade de camadas (processo descrito no item 5.3.3 desta tese). As amostras foram dispostas em um molde plano de vidro previamente tratado com quatro camadas de cera desmoldante de carnaúba, e a montagem das camadas seguintes decorreu conforme a metodologia de Rodrigues (2014).

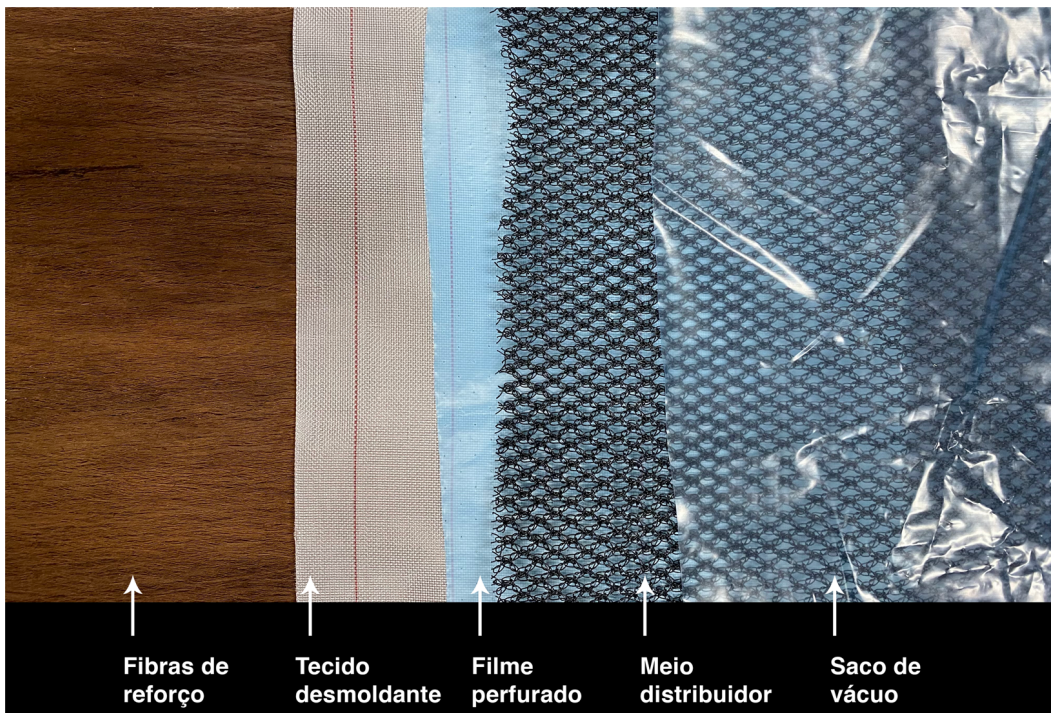


Fig. 54 - Arquitetura do sanduíche

Fonte: Monteiro (2023).

O método indica que sejam organizadas acima das amostras do material de reforço uma proteção com tecido desmoldante de poliamida; aplicação de malha plástica flexível e de tecido perfurado; montagem de mangueiras e tubo em espiral de meia polegada (para inserção da resina e aplicação do vácuo); e camada final de filme de vácuo.

Após a montagem, as camadas foram seladas com fita adesiva apropriada para infusão a vácuo, conhecida como “*tacky tape*”. O sistema então foi conectado à uma bomba de vácuo usada para remover o ar existente dentro da cavidade do molde, em sua capacidade máxima. Foi utilizada a bomba de vácuo de duplo estágio da marca brasileira Suryha (**Figura 55**), com potência de 250 Watts/h.



Fig. 55 - Bomba de Vácuo Suryha

Fonte: Suryha (2021).

Foi estabelecido como verificação de aplicação do vácuo o período de 10 minutos sem queda de pressão, controlado através do vacuômetro analógico. Também foi utilizado um detector ultrassônico de vazamento de gás em sistema de vácuo (marca *Rainonmea* Dy26A, China), para verificar possíveis vazamentos. Simultaneamente, as resinas utilizadas foram misturadas segundo as proporções indicadas pelo fabricante, tendo-se também aguardado um período de 10 minutos para diminuição de bolhas formadas no processo de mistura (**Figura 56**).

Fig. 56 - Resina antes da aplicação no sistema a vácuo

Fonte: Monteiro (2023).



Após o período de espera e verificada a ausência de vazamentos, o recipiente com resina foi conectado ao sistema, abrindo-se as válvulas para a inserção do material no saco de vácuo. Em poucos minutos o material foi completamente dispersado. Na **Figura 57** (exposta na próxima página) o processo de montagem é exemplificado.

Após 24 horas as resinas já estão curadas, tempo em que é possível realizar a desmontagem do compósito. Tal processo consiste em delicadamente retirar manualmente os tecidos e materiais plásticos utilizados, com o devido cuidado para não danificar o material.



Etapa 1 - Preparação da superfície de vidro com 4 aplicações de cera de carnaúba.



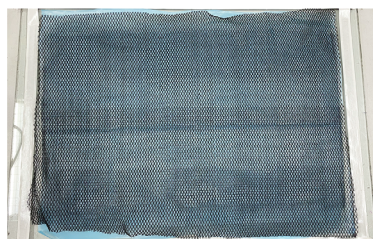
Etapa 2 - Organização das amostras de tururi, de acordo com layout definido.



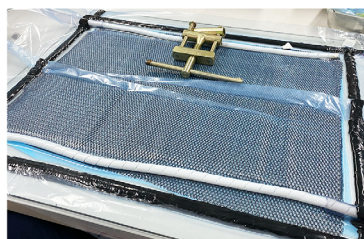
Etapa 3 - Aplicação do tecido desmoldante "peel ply"



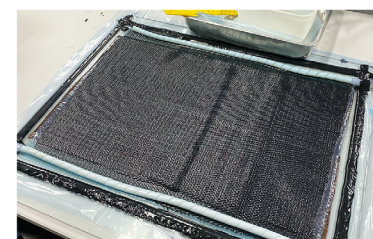
Etapa 4 - Aplicação do tecido desmoldante filme perfurado



Etapa 5 - Aplicação da tela de dispersão "Flow media".



Etapa 6 - Organização de mangueiras para inserção e saída de resina.



Etapa 7 - Selagem com filme de vácuo, aplicação do vácuo e verificação do mesmo com posterior inserção de resina por mangueira de aplicação.

Fig. 57 - Montagem do material compósito por infusão a vácuo

Fonte: Monteiro (2023).

5.3.5

Verificação

Após o desenvolvimento das placas de compósito, foram realizados ensaios mecânicos para testar sua viabilidade. Foram definidos os seguintes ensaios, de acordo com

disponibilidade de maquinário do laboratório em que foram realizados: teste de resistência a tração de materiais compósitos com matriz de polímeros; teste para propriedades flexurais de materiais compósitos com matriz polimérica; teste de densidade e teor de umidade.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Árvores, Madeiras e Móveis (LAMM) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, coordenado pelo Dr. Takashi Yojo (IPT), e realizados sob a supervisão da técnica Suelem Mauricio Fontes Macena, entre os meses de julho de 2022 e fevereiro 2023. A seguir, são apresentadas as informações referentes aos testes desenvolvidos.

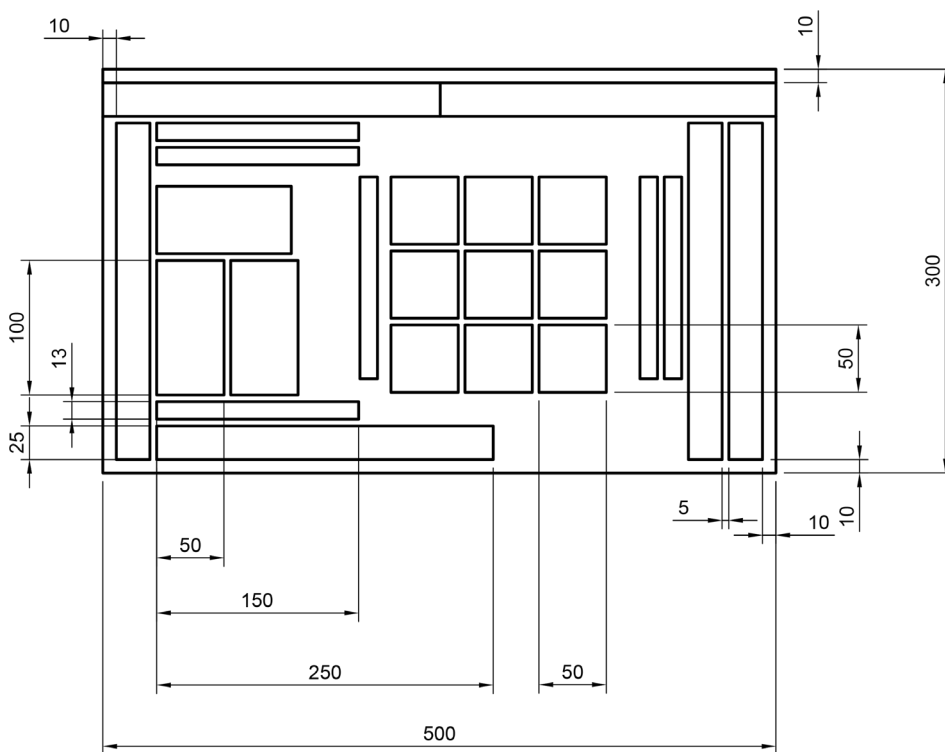
5.3.5.1

Layout dos corpos de prova

Para organizar os corpos de prova para os diferentes testes, foi realizado um estudo para melhor organização e aproveitamento da placa de compósito. Na **Figura 58** o modelo é ilustrado, contendo amostras para os testes de caracterização física, bem como para os testes de análise sensorial:

Fig. 58 - Modelo de layout de retirada de corpos de prova (em milímetros)

Fonte: Monteiro (2023).



5.3.5.2

Densidade e teor de umidade

Para determinação da densidade foi aplicada uma adaptação da norma **ASTM D2395-17**, que prevê métodos de teste padrão para densidade e peso específico (densidade relativa à da água) de madeira e materiais à base de madeira. De acordo com a norma, foram utilizados 3 corpos-de-prova de cada placa, no tamanho pré-determinado de 50 mm de largura e 100 mm de comprimento.

Em razão da morfologia e do grau de anisotropia dos espécimes (Seyam *et al.*, 2016), há comportamento mecânico diferente do compósito final em diferentes direções. Levando em consideração este aspecto e o *layout* de construção dos compósitos, foi necessário utilizar dois métodos para a testagem das propriedades.

Para o primeiro método de mensuração, a largura e comprimento dos corpos-de-prova foram determinadas utilizando o paquímetro Digital 200 mm (Mitutoyo), assim como a espessura dos espécimes, medida em três diferentes pontos, utilizando o micrômetro digital (Mitutoyo). Por fim, as amostras foram pesadas individualmente em balança semianalítica com capacidade de 310 g (Ohaus). O processo é ilustrado na **Figura 59**.

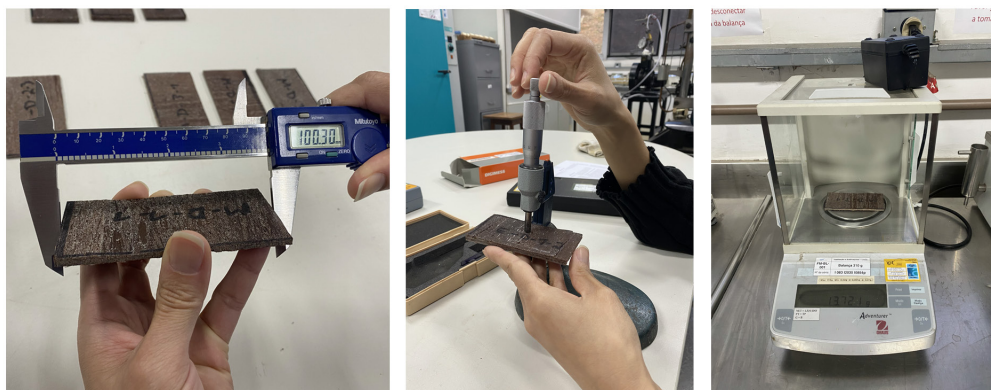


Fig. 59 - Medição de corpos-de-prova para determinação da densidade

Fonte: Monteiro (2023).

Para a segunda determinação, os mesmos corpos-de-prova foram imersos em um recipiente com água, e a diferença de volume registrada (**Figura 60**). Por fim, os valores de densidade foram calculados segundo a **Equação 1** e dos conjuntos dos valores de resultados foram calculadas as médias, desvios-padrão e coeficientes de variação.

$$d = \frac{m}{v}$$

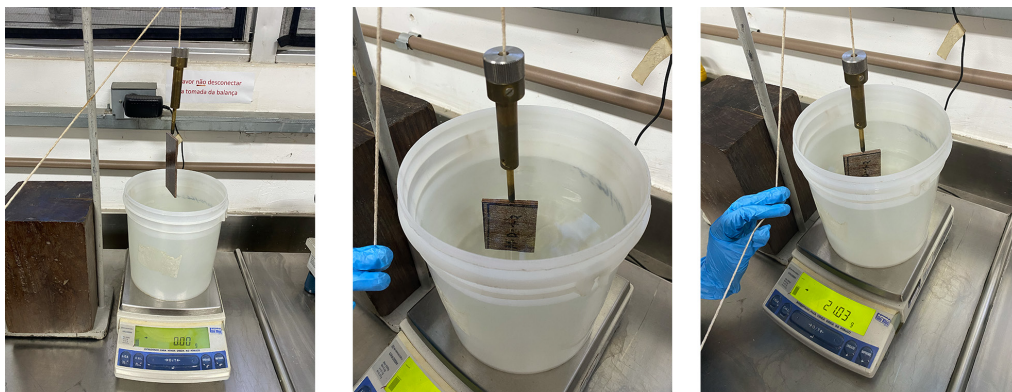
Onde:

- d = densidade
- m = massa (g)
- v = volume (L)

Equação 1

Fig. 60 -
Determinação da
densidade em
imersão em água

Fonte: Monteiro (2023).



Para determinação do teor de umidade, os corpos-de-prova foram secos à 65°C (tal alteração da norma original se deu devido à delicadeza do material), em estufa com circulação e renovação de ar da marca Marconi, modelo MA 035. Após 24 horas, os corpos-de-prova foram pesados novamente em balança semianalítica (Shimadzu) e a diferença entre valores calculada, de acordo com a **Equação 2**, resultando assim no valor de umidade dos compósitos de tururi.

Equação 2

$$u (\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot 100$$

Onde: m_1 = massa úmida e m_2 = massa seca

5.3.5.3

Teste de resistência a tração de materiais compósitos

Para os testes de tração nas placas de compósito, foi utilizada a norma **ASTM D3039/ D3039M – 17**, para teste padrão para propriedades de tração de materiais compósitos de matriz de polimérica. Foram confeccionados **5 corpos-de-prova** de cada placa, no tamanho pré-determinado de 25 mm de largura e 250 mm de comprimento, o suficiente para permitir a distância entre as garras de 100 mm, correspondendo ao comprimento útil de cada amostra analisada.

Como aparelhagem do ensaio, foi utilizada a máquina de ensaio universal da marca Kratos (modelo FM-MQ-008, BR). As condições dos experimentos foram: célula de carga de **500 kgf** e velocidade de afastamento constante de 5,0 mm / min (mínimo da máquina). O ensaio foi realizado em ambiente climatizado em 25°C e 65% de umidade relativa do ar de acordo com a norma ABNT NBR ISO 139:2005 (antiga ABNT NBR 8428:1984). A execução do teste é ilustrada na **Figura 61**.



Fig. 61 -
Dinamômetro
utilizado para ensaios
de tração

Fonte: Monteiro (2023).

Os valores de espessura (mm), largura (cm) e comprimento (cm) de cada amostra foram fornecidos ao dinamômetro antes de cada teste. Com os conjuntos dos valores de resultados foram calculadas as médias, desvios padrão e coeficientes de variação dos valores obtidos.

5.3.5.4

Teste para propriedades flexurais de materiais compósitos

Para os testes de flexão foi utilizada a norma **ASTM D7264/D7264M – 15**, que propõe um método de teste para determinação das propriedades de rigidez e resistência à flexão de compósitos de matriz polimérica. O teste determina as propriedades de flexão (resistência, rigidez e comportamento de carga / deflexão) de materiais compósitos de matriz polimérica. Através do conhecimento das propriedades de flexão pode-se determinar especificação e controle de qualidade para o material, além de viabilizar aplicações em projetos.

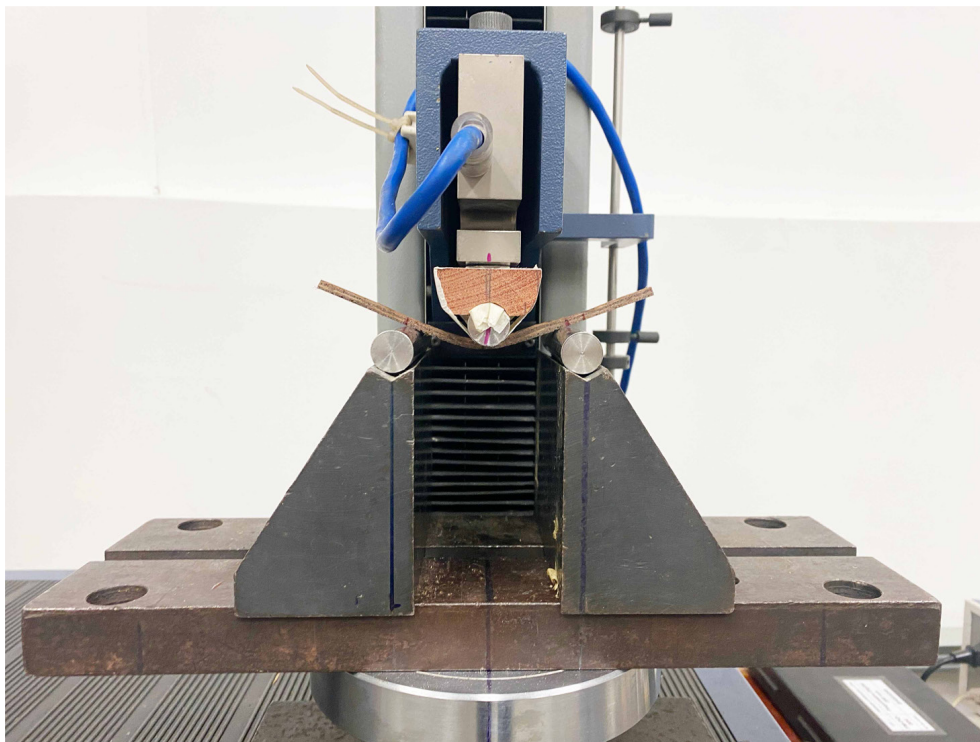
Foram confeccionados **5 corpos-de-prova** de cada placa, no tamanho pré-determinado de 10 mm de largura, 150 mm de comprimento, com o comprimento da amostra sendo cerca de 20% maior do que o extensão de suporte. Como vão de teste foi utilizada a proporção 20:1 da espessura nominal média das amostras, definida como 3,5 mm. Como célula de carga utilizou-se **500 kgf**.

Antes de cada teste foram medidas e registradas a largura e espessura de cada amostra. Como aparelhagem do ensaio, foi utilizado a máquina de ensaio universal da

marca Kratos (modelo FM-MQ-008, BR). Definiu-se a velocidade do teste a uma taxa de 5,0 mm / min (mínimo da máquina), que segundo a norma é o ideal para uma amostra com dimensões padrão. O ensaio foi realizado em ambiente climatizado em 25°C e 65% de umidade relativa do ar, e foi utilizado o carregamento de três pontos. Na **Figura 62** ilustra-se o ensaio.

Fig. 62 -
Dinamômetro
utilizado para ensaios
de flexão

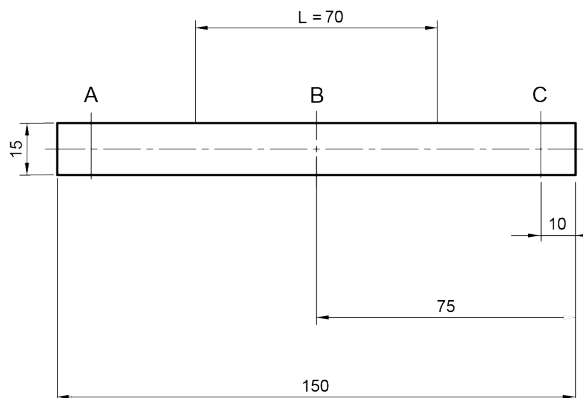
Fonte: Monteiro (2023).



Antes do ensaio, foram determinadas as espessuras em três pontos do corpo de prova, e calculado a média para cada amostra e em seguida para todos os corpos de prova (**Figura 63**).

Fig. 63 - Medição
de corpos-de-prova
para determinação
em três pontos (em
milímetros)

Fonte: Monteiro (2023).



5.3.5.5

Análise estatística

Foi utilizada a análise de variância (ANOVA), através do teste F, para verificar se existiam diferenças significativas entre as médias dos resultados das resistências a tração e flexão obtidos nos ensaios mecânicos, variando-se a disposição das fibras e matriz em cada amostra (tratamentos). Esta análise contou com a colaboração do especialista Prof. Dr. Maurício Maia Ribeiro¹¹.

Para comparar os meios de tratamento foi aplicado o teste de Diferença Significativa de Tukey (teste posterior). O nível de significância adotado foi de (α) de 5%, tendo como Hipótese nula (H^0) - equivalência entre médias; na qual para P-valor menor que α , rejeita-se H^0 . A análise estatística foi conduzida utilizando inteiramente o Ambiente R CORE TEAM (2020), utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado RSTUDIO TEAM (2020) e com apoio de pacotes adicionais. O valor da diferença mínima significativa (**d.m.s.**) foi encontrado através da **Equação 3**:

$$d.m.s. = q \cdot \sqrt{\frac{QMR}{n}}$$

Equação 3

Onde:

q = Amplitude total estudentizada (valor tabulado), ao qual é função do grau de liberdade do resíduo (GLR) e número de tratamentos;

QMR = Quadrado médio do resíduo dentro do grupo;

n = Número de repetições de cada tratamento dentro do grupo.

5.3.5.6

Trabalhabilidade

No design de produtos, a trabalhabilidade refere-se às possibilidades existentes para um material no que diz respeito às técnicas passíveis de serem aplicadas na sua dimensão de uso, tendo sido escolhidos nesta pesquisa os perfis de junção e acabamento de superfície. É demasiado importante que se investigue, entre as inúmeras alternativas, o que pode ser

¹¹ Currículo Lattes disponível no link: <http://lattes.cnpq.br/1432812605253161>

utilizado em um novo material, para que este seja efetivamente aplicado em um projeto de produto.

Nesta pesquisa buscou-se utilizar ferramentas comumente encontradas em pequenas oficinas no Brasil, para que os testes apresentados possam ser reproduzidos em diferentes contextos, tornando-os acessíveis. Foram testados os perfis de corte, polimento e união do compósito.

Acabamento

O acabamento dos compósitos relaciona-se ao processo e itens consumíveis utilizados durante a montagem do sanduíche no processo de infusão a vácuo. Para compreender as possibilidades de alteração da superfície dos compósitos, foram realizados lixamento com lixas número 150, 320 e 1000, com posterior polimento com cera de abelha.

Corte e união

Sobre o corte da placa de compósito de tururi, foram testados cortes com serra circular de bancada e com serra “tico-tico” (também conhecida como serra vaivém). Para compreender a união do material, testou-se a inserção de parafusos nas placas de compósito, para verificar a estabilidade do material após o processo, com utilização de furadeira de impacto (Makita, modelo 18v Li-Ion) com broca de madeira de 4 mm. Também foram testadas as técnicas de escareamento com broca escareadora, e posterior união de duas placas com parafuso de 3,5 mm.

5.4

Etapa IV: A experiência com o material

Finalizada as etapas de conhecimento, manipulação e caracterização técnica, passou-se à fase de entendimento da experiência vivenciada com o novo material, ou seja, a ampla rede de significações geradas pelos usuários baseada na memória, história, vivências, cultura e particularidades dos indivíduos. Como mencionado anteriormente (Item 3.3), se destacam quatro principais tipo de experiência: sensoriais, emocionais, interativas e interpretativas.

A seguir são explanadas duas ferramentas aplicadas nesta pesquisa e indicadas para estas finalidades: o **mapa de experiência** e o aplicativo **X-MAT**, original e desenvolvido juntamente a esta tese.

Mapa de experiência

Como ferramenta para análise presencial da experiência com o novo material, utilizou-se a adaptação do mapa de experiência e cartões pertencentes ao “Ma2e4-toolkit” de Camere e Karana (2018) (Item 3.3.6.3) (**Figura 64**). A ferramenta pode ser utilizada conforme foi originalmente idealizada ou através das adaptações desenvolvidas nesta tese. Foram realizadas as seguintes modificações, para a realização de oficinas presenciais entre um facilitador e múltiplos participantes:

(1) Tradução do inglês para o português de todo o material, pelo grupo de pesquisa “Design em ação” da FAU – USP¹²;

(2) Adaptação da linguagem para que as qualidades descritas fossem mais próximas das comumente utilizadas no Brasil;

(3) Substituição das imagens ilustrativas na atividade “Nível interativo”;

(4) Modificação no formato das análises, passando a ser conduzido por um facilitador e múltiplos participantes responsáveis pelo preenchimento de suas próprias fichas;

(5) Tempo disponível para realização de cada atividade;

(6) Modificação da atividade “Nível interpretativo” pois na época em que foram realizadas as oficinas, a série de imagens que dá suporte às análises não havia sido disponibilizada pelas pesquisadoras que propuseram a ferramenta.



Fig. 64 - Mapa de experiência e cartões do Ma2e4-toolkit

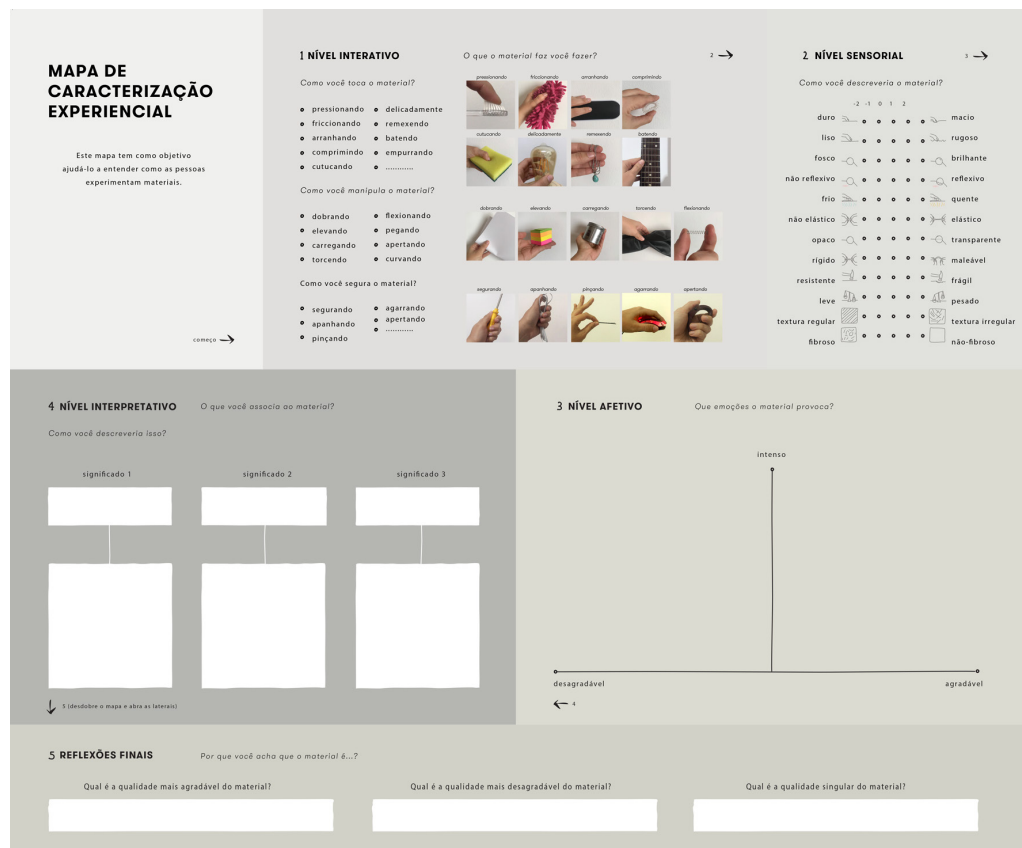
Fonte: Monteiro e Dantas (2019).

¹² Traduzido pela pesquisadora Amanda Sousa Monteiro e revisado pelas docentes Profa. Dra. Denise Dantas e Profa. Dra. Cristiane Aun Bertoldi

A partir das adaptações descritas foram confeccionados alguns dos materiais gráficos pertencentes a ferramenta original: (1) Mapa de caracterização da experiência – **Figura 65**; (2) Cartões de vocabulário afetivo e interpretativo – **Figuras 66 e 67** (expostas na próxima página); e (3) Amostra de material para realização das análises. Para as amostras, foram selecionados materiais considerados novos, tanto aqueles oriundos de pesquisas realizadas por designers, quanto materiais que não são comumente utilizados e que carecem de uma rede de significações.

Fig. 65 - Mapa de caracterização da experiência adaptado

Fonte: Monteiro e Dantas (2019).



Para a análise dos resultados, os dados obtidos para cada amostra de material foram organizados no software Excel e agrupados de acordo com a frequência de utilização de termos e em casos de respostas qualitativas, por principais temas apontados. Em adição, ao final das oficinas, foi realizada conversa de *feedback* com os participantes, para compreender aspectos positivos e negativos sobre o evento, o preenchimento do mapa e da realização das análises.

O material foi aplicado em duas oficinas de trabalho realizadas no ano de 2019 na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, com um facilitador que guiava o preenchimento do mapa. Participaram das oficinas 19 usuários especializados em design, entre alunos da graduação, pós-graduação e professores da área.



Fig. 66 - Cartão de vocabulário afetivo

Fonte: Adaptado de Camere e Karana (2018). Tradução nossa.

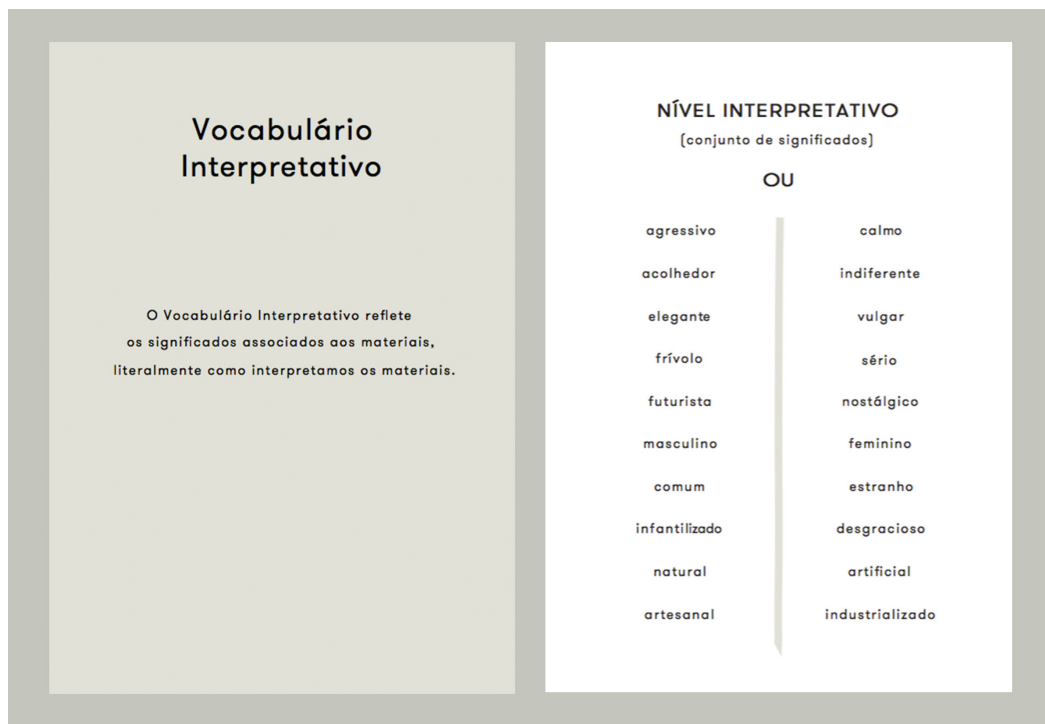


Fig. 67 - Cartão de vocabulário interpretativo

Fonte: Adaptado de Camere e Karana (2018). Tradução nossa.

Aplicativo X-MAT

A partir da aplicação da ferramenta mapa de experiência, observações do processo e análise dos resultados obtidos, foi percebida a necessidade de desenvolver uma ferramenta original que unisse aspectos positivos observados anteriormente, juntamente a ferramentas oriundas de outras pesquisas (**Quadro 15**).

Quadro 15 - Relação entre pesquisas e etapas utilizadas no aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro (2021).

Referência	Etapa
Camere e Karana (2018)	Análise interpretativa e afetiva
Wilkes et al., (2015)	Análise visual
Piselli et al., (2018)	Análise sensorial

Dessa forma foi desenvolvido o aplicativo “**X-MAT - Materiais para o Design**”, que busca unir as análises supracitadas na forma de uma ferramenta onde pesquisadores e designers possam utilizar uma série de questionários objetivos e subjetivos para compreender as características sensoriais, visuais, afetivas e interpretativas dos materiais, fazendo testes com usuários de forma remota, através de um aplicativo para *smartphones*. Por utilizar um banco de dados em meio digital, facilita a mensuração dos dados obtidos, diminuindo expressivamente o tempo de análise de resultados.

O aplicativo é destinado a designers e pesquisadores no campo dos materiais e as análises podem ser realizadas por profissionais da área, estudantes ou qualquer pessoa que tenha familiaridade com a temática. Além de permitir a análise de amostras de materiais por usuários, o aplicativo ainda possibilita que os pesquisadores possam cadastrar amostras de materiais, recebendo o manual de como preparar o envio de amostras para seus referidos usuários, além de posteriormente, receber os resultados obtidos de forma clara e organizada.

O uso por parte dos pesquisadores é esquematizado na Figura 68, enquanto o uso por parte dos usuários (aqueles que fazem as análises) na Figura 69.

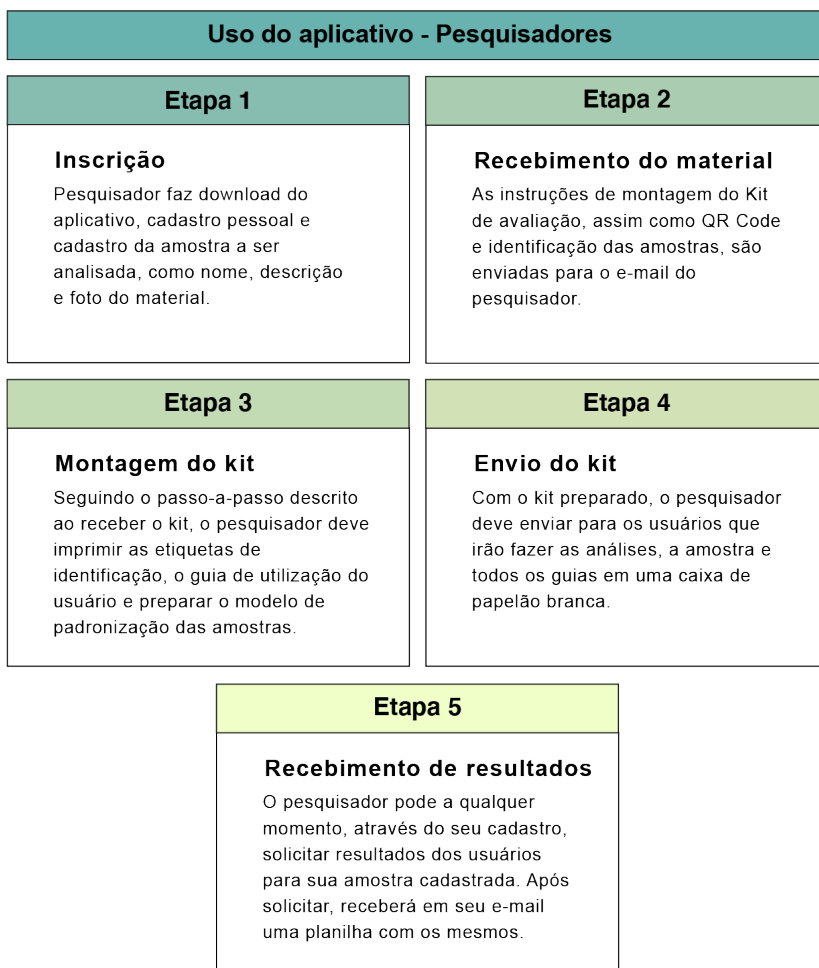


Fig. 68 - Fluxo de uso do aplicativo para pesquisadores

Fonte: Monteiro (2021).

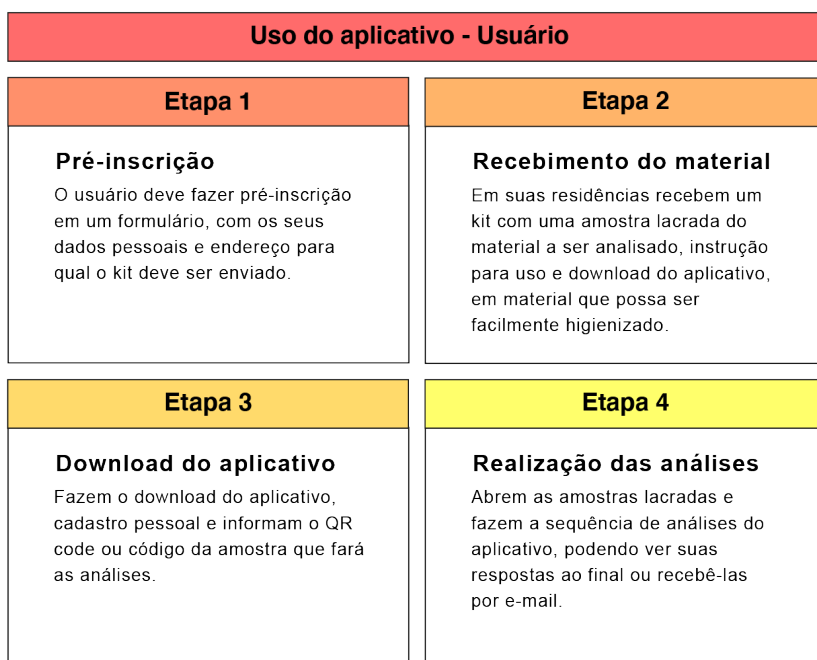


Fig. 69 - Fluxo de uso do aplicativo para usuários

Fonte: Monteiro (2021).

Sobre a utilização, os usuários recebem a amostra lacrada, que deve ser enviada em uma caixa de papelão branca — que é usada tanto para armazenar as amostras quanto apresentá-las aos usuários de uma forma padrão (**Figura 70**). As amostras idealmente devem possuir o tamanho de 75x75mm, dentro dos padrões ISO, ASTM e AFNOR, e dos protocolos SensoMAT, que definem que para a avaliação da percepção do material e acabamento pelos sentidos humanos uma amostra deve ter no mínimo 45x65mm (Piselli *et al.*, 2018).

Fig. 70 - Modelo de envio de amostras para análise no aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro (2023).



O aplicativo foi desenvolvido por profissionais da área de experiência do usuário (Monteiro; Sarmiento; Rosa, 2021), visando uma utilização simples, fácil e rápida. Foram realizados testes piloto com o aplicativo, para garantir a compreensão na realização dos testes e o entendimento por parte do usuário das atividades que estavam sendo desenvolvidas. Nas **Figuras 71 e 72** (expostas na próxima página) são ilustrados os fluxos com a sequência de análises realizados pelos usuários.

Os dados obtidos são armazenados na plataforma digital de desenvolvimento *Firebase* e podem ser obtidos facilmente pelo proprietário do aplicativo e outras contas com permissão, sendo posteriormente organizados em tabelas no *software Excel*. Em comparação com a análise dos mapas de caracterização que devem ser individualmente coletados e transcritos, este processo é mais rápido já que todos os dados obtidos estão em meio digital.

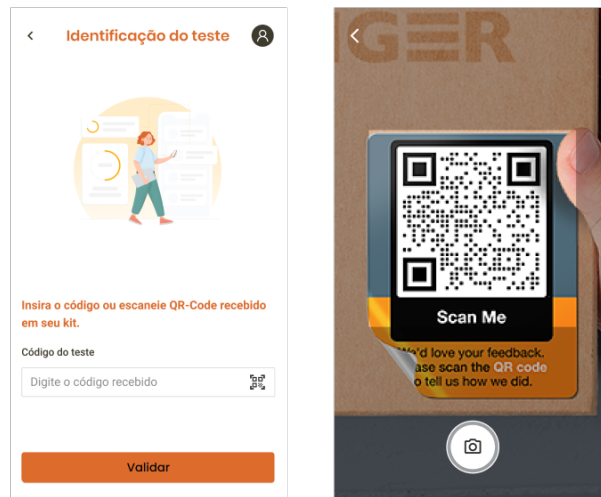


Fig. 71 - Fluxo de análise de materiais no aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro (2021).

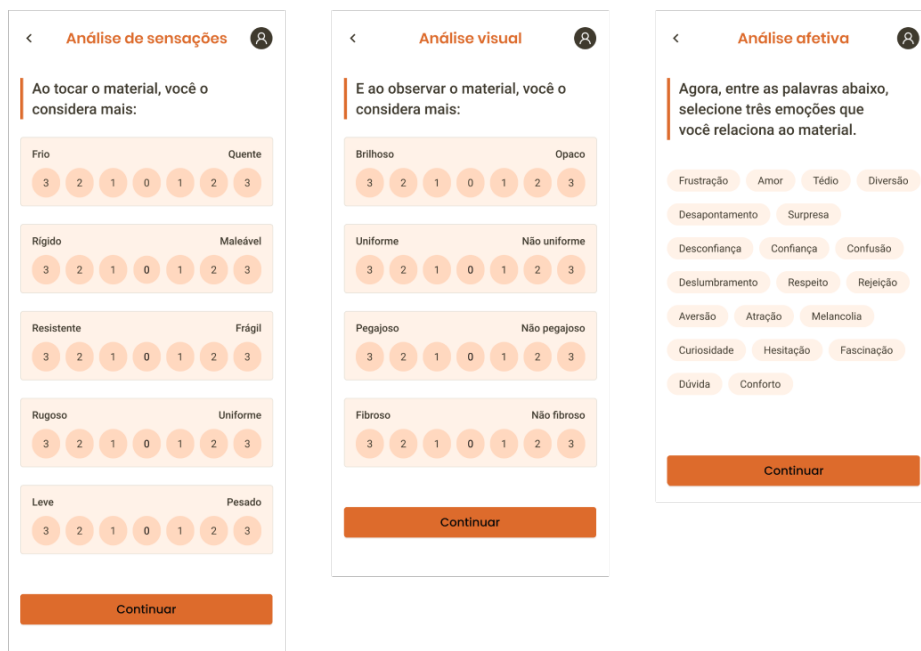
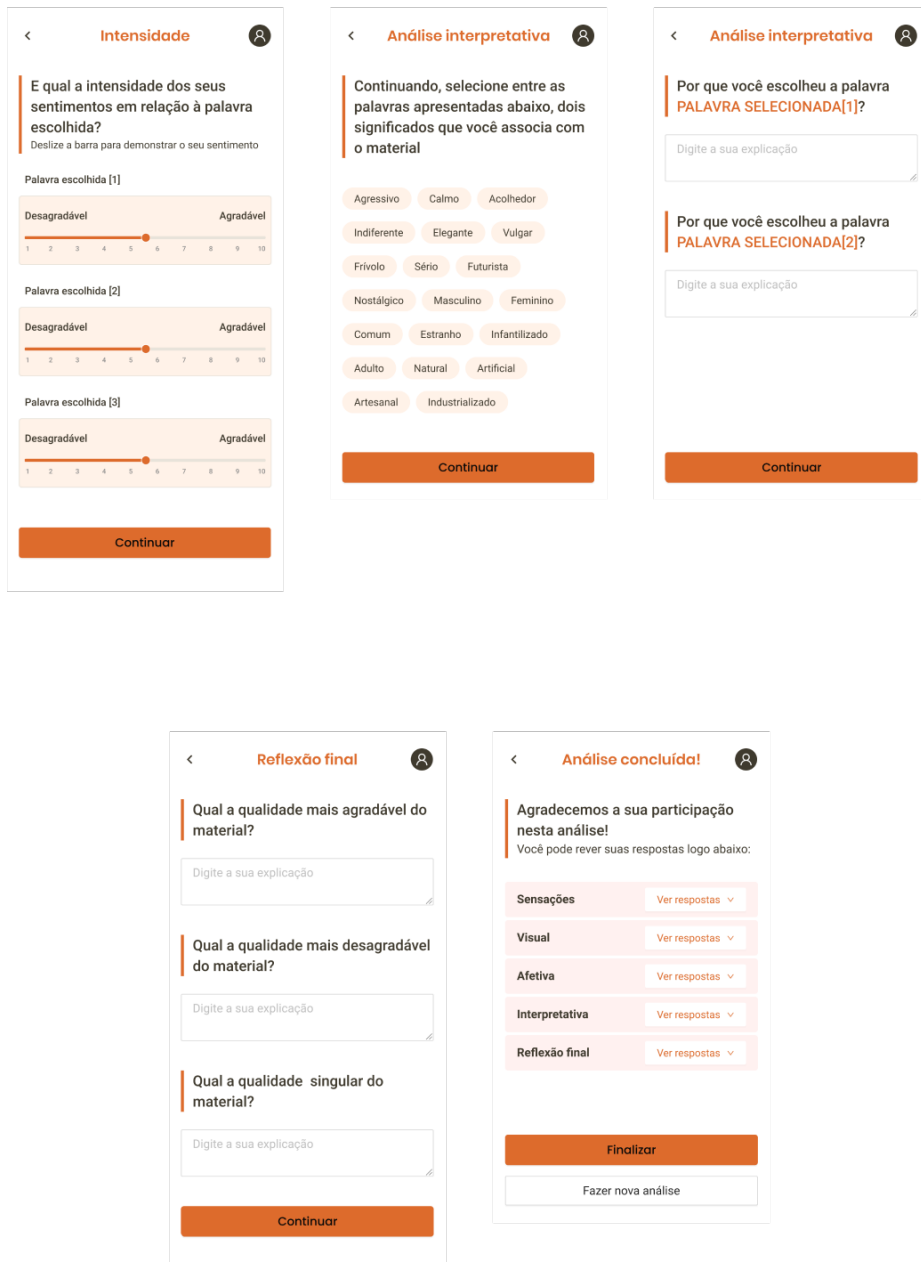


Fig. 72 - Fluxo de análise de materiais no aplicativo X-MAT
Fonte: Monteiro (2021).



5.5

Etapa V: Aplicação do material

A próxima etapa do método contempla a aplicação do novo material em um projeto de produto, baseando-se nas indicações e comparações apresentadas na ficha técnica e da experiência dos usuários. Na aplicação com o material fibroso tururi, optou-se por utilizar uma adaptação do método de Munari (2008), resumindo as etapas propostas na forma de um pré-projeto conceitual que resultou em uma especulação projetual. Tal adaptação se deu pela natureza desta tese e por se tratar de um material experimental, que como levantado nas pesquisas realizadas, não é passível de ser replicado em larga escala ou aplicado em um contexto industrial.

As especulações projetuais foram desenvolvidas seguindo as etapas: (1) Definição e análise do problema; (2) Requisitos de projeto (3) Criatividade, geração de alternativas com planejamento de estilo e projeto conceitual; (4) Modelo e verificação; (5) Solução. A seguir, são explanadas as etapas de trabalho desenvolvidas para cada uma delas.

5.5.1

Definição e análise do problema

Ao início de um projeto, mesmo que ele seja especulativo e experimental, é necessário compreender o problema que se pretende resolver e as necessidades que justificam o esforço projetual empregado. Nestas análises também são incluídas as delimitações e restrições do problema, além da justificativa do projeto para a sociedade.

Através da abordagem multidisciplinar que o método *eXpiral* promove, pode-se analisar o problema do projeto sob diversos ângulos: de acordo com as propriedades do material, a experiência dos usuários, pesquisadores e designers, e ainda uma combinação das duas abordagens. É aconselhado para o melhor aproveitamento das pesquisas realizadas que o projeto leve em consideração ambas, pois todos os dados são importantes para a resolução do problema.

Para este projeto, definiu-se o problema como: **quais aplicações no design para o novo material compósito de fibra de tururi e resina de mamona e epóxi, baseando-se nos dados obtidos na caracterização física do material e a experiência dos usuários?**

Sobre as delimitações, o problema nesta especulação é focado na utilização de um novo material no design, e não em uma necessidade dos usuários em si. É uma

forma distinta de se trabalhar com as metodologias projetuais clássicas, mas que, todavia, também pode ser utilizada no contexto experimental do método **eXpiral**. Para a sociedade, o problema abarca uma nova forma de lidar com os novos materiais: a visão curiosa e criativa do designer é o principal potenciador de alternativas para sua utilização.

Após análises, as etapas anteriormente apresentadas neste capítulo geraram o conteúdo necessário para sugerir possíveis aplicações, que foram destrinchadas em requisitos de projeto, para que ao fim fosse possível trabalhar criativamente em propostas especulativas e chegar ao modelo e definição da solução.

5.5.2

Requisitos de projeto

Na especificação dos requisitos de projeto são criados parâmetros para controle do desenvolvimento do projeto. Além de determinar as características essenciais do produto, também são estabelecidos os critérios que garantem que o produto concebido seja considerado satisfatório. No método **eXpiral**, envolve a inclusão de análises detalhadas da caracterização técnica do novo material e dos resultados da experiência dos usuários.

Os dados obtidos nas etapas anteriores do método são parte da etapa de levantamento de informações, no qual os objetivos do produto são revisados e finalizados. É essencial considerar a inclusão de análises detalhadas da caracterização do novo material, ou seja, considerar o impacto de suas propriedades físicas, como densidade, resistência, flexibilidade, durabilidade, entre outras características relevantes. Essas informações são essenciais para garantir que o novo material atenda aos requisitos de desempenho e segurança estabelecidos para o produto em questão.

Por fim, nos requisitos do projeto é também fundamental incorporar os resultados da experiência com os usuários, apresentando as conclusões e recomendações derivadas desse processo. Essas informações enriquecem a especificação do projeto, fornecendo uma visão abrangente e embasada sobre as características do produto e sua adequação às necessidades dos usuários.

5.5.3

Criatividade

A partir da análise do problema e dos requisitos de projeto, foram selecionadas duas

ferramentas de criatividade para elaboração das propostas, no âmbito desta aplicação experimental. A primeira foi o quadro de associações geradas nos testes de experiência do usuário, conforme Camere e Karana (2018), ilustrado na **Figura 73**. Além disso, utilizou-se também o *brainstorming*, uma ferramenta amplamente difundida para a geração de alternativas.

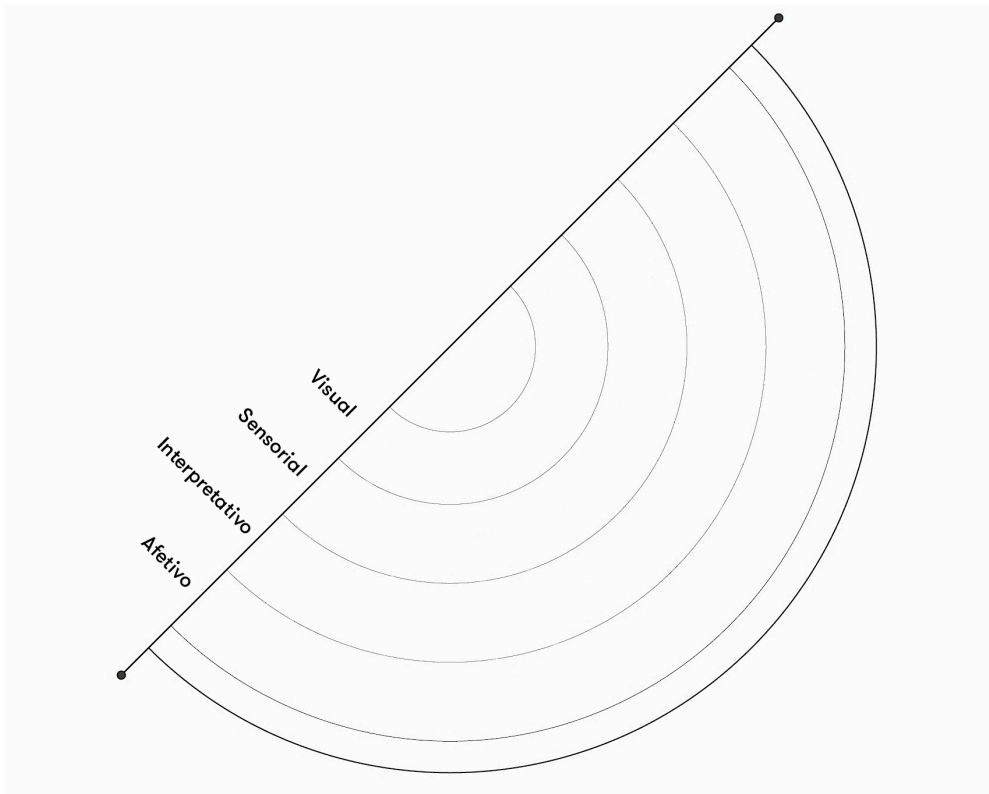


Fig. 73 - Modelo de associação de significados

Fonte: Camere e Karana (2018, p. 15). Tradução nossa.

Como o principal objetivo desta tese é o de validação do protocolo metodológico e não a geração de novos produtos, as etapas (4) Modelo e verificação e (5) Solução foram simplificadas e apenas ilustradas como exemplo das especulações projetuais, sem a necessidade de gerar protótipos e produtos para reais validações.

5.6

Etapa VI: Apresentação do material

Com as definições técnicas e de experiência com o novo material, é necessário que seja planejado as formas de apresentá-lo, utilizando uma ficha técnica que promova ambas as informações em uma linguagem clara e concisa com as normas técnicas, quando necessário. Por esta razão deve-se atentar para quem a ficha é destinada, apresentando os principais achados da investigação. Como o método é destinado

principalmente aos designers de produto, é necessária atenção para pontos que sejam essenciais no desenvolvimento de produtos e que correspondam a demandas técnicas, visuais, sensoriais, emocionais e interpretativas do dado material ou produto em que será aplicado.

Um ponto importante a ser considerado é a forma de apresentação das informações técnicas oriundas da caracterização técnica. O designer de produto deve procurar comunicar os resultados de forma objetiva, para que os dados apresentados sejam compreendidos. Para tanto, é recomendada a utilização de gráficos, comparação com outros materiais e exemplos. Dessa forma, a etapa resulta em uma ficha técnica que une questões quantitativas, qualitativas, além da indicação de uso baseado na análise crítica e comparativa dos resultados anteriores.

5.7

Etapa VII: Revisão e Iteração do projeto

Por fim, espera-se que um plano de revisão seja desenvolvido para o novo material. Entre as questões que podem ser exploradas, indicam-se: como o material se comporta quando aplicado em um determinado produto? O que pode melhorar? Como apreender as experiências dos usuários e garantir uma contínua melhoria? O que é possível repensar nas etapas anteriores?

Como resultado desta etapa, enfatiza-se a importância de determinar requisitos e hipóteses para revisão do material, juntamente com um plano abrangente para a melhoria contínua, com o objetivo de aprimorar tanto o ciclo de vida do material quanto a experiência do usuário com ele, assim como os produtos nos quais o material foi aplicado.

CAPÍTULO VI

Resultados e Discussão

O estudo elaborado nesta tese de doutorado buscou o desenvolvimento de um método experimental para a criação, avaliação e aplicação de novos materiais em um projeto de produto. Ao longo dos cinco¹³ anos em que foi produzida, percorreu diversas áreas do design de produtos, como a experiência do usuário, materiais e projeto de produto. Neste capítulo são apresentados os resultados para as etapas desenvolvidas na aplicação teste, assim também como da observação e desenvolvimento do processo.

Inicia-se, todavia, com alguns pontos sobre a elaboração do método *eXpiral*. Nas fases iniciais desta pesquisa, foi adotado a metodologia proposta por Karana *et al.* (2015), o *Material Driven Design*, para aplicar novos materiais em um projeto de produto. Como mencionado anteriormente, na metodologia é indicado que se parta de um material para o desenvolvimento de novos produtos baseando-se na experiência dos usuários, com quatro etapas distintas: [1] Entendimento do material, [2] Criação da visão para experiência com materiais; [3] Manifestação dos padrões de experiência de materiais; e [4] Projeto do material/conceito de produtos.

13 Houve prorrogação de prazo de 24 meses, de acordo com a Resolução CoPGr n° 8082, de 05 de maio de 2021, que estabeleceu autorização excepcional e temporária, decorrente da pandemia da COVID-19 (Novo Coronavírus SARS-CoV-2), para prorrogação de prazos na Pós-Graduação e para aumento do limite de orientandos.

O método foi bastante proveitoso no sentido de aliar os estudos sobre um novo material a experiência dos usuários, promovendo a interação de designers e usuários com materiais desconhecidos e aproveitando-se da criatividade de ambos para geração de propostas. A visão abrangente de design proporcionada gera um processo criativo de grande valia, além de que o modelo apresentado segmenta as diversas etapas de trabalho e auxilia os designers na exploração de múltiplos parâmetros, sejam eles referentes aos materiais ou a experiência do próprio designer e usuários finais.

Como mencionado anteriormente, o método é enriquecedor e inédito na área do design, todavia faltam etapas conectadas à investigação formal e técnicas dos materiais. Ao optar por não se aprofundar em tais explorações, dificilmente a sugestão de utilização de um determinado material terá uma evolução comercial, a ponto de ser aplicada em projetos reais em larga escala. Como menciona Manzini (1993), esta já é uma antiga problemática associada a novos materiais, pois caracterizações incompletas e falta de referências geram uma falta de confiança tanto nas questões técnicas quanto subjetivas dos mesmos.

Buscando uma resolução para esta questão, um estudo de grande valia ao desenvolvimento do método **eXpiral** foi a ferramenta de Wilkes *et al.* (2015). Mesmo que não seja voltada para a produção de novos materiais para o design, foi a principal fonte utilizada para a tradução interdisciplinar de experiências, correlacionando propriedades físicas a experiências sensoriais. De forma geral, foi bastante proveitoso por evidenciar a necessidade de se encontrar formas de mensurar propriedades quantitativas e qualitativas dos materiais, buscando encontrar uma tradução e linguagem em comum entre as áreas.

Os dois estudos mencionados serviram como base, mas o principal condutor para elaboração do método foi a experiência da pesquisadora responsável. A investigação durante os anos em que essa pesquisa foi elaborada, associada aos estudos de experiência dos usuários e desenvolvimento dos materiais, evidenciaram a necessidade de unir das etapas de trabalho de forma original, em uma sequência lógica que auxiliasse outros pesquisadores e designers a repetirem o processo com materiais de sua escolha. Como já descrito, o processo se deu entre diversos erros e acertos, e evoluiu naturalmente para a série de etapas descritas no método.

O método **eXpiral** envolve diferentes áreas e defende um trabalho interdisciplinar, baseado na comunicação efetiva entre diferentes profissionais. Busca, com essa relação,

que o tempo entre o estudo, desenvolvimento, caracterização e real aplicação de um novo material diminua. Quanto mais se posterga uma das etapas de trabalho, mais tempo leva para que as pessoas usufruam de suas potencialidades, qualidades e inovação. Esforçando-se para abranger o máximo de possibilidades dentro do projeto de um material e sua aplicação em produtos, pode-se resolver esta questão.

Com uma visão geral delimitada, são explanados na sequência os resultados e discussão das etapas que compõe o método experimental desenvolvido e que auxiliam também, na discussão sobre o próprio método.

6.1

Método *eXpiral* aplicado

6.1.1

Etapas I e II: seleção e compreensão do material

A primeira etapa do método envolveu a seleção do material, e observa-se que o prévio conhecimento sobre materiais auxiliou na busca e seleção da alternativa que foi utilizada. É necessário que o designer promova uma busca ativa e que vivencie com profundidade as variáveis que permeiam o ciclo de vida do material pesquisado. É um trabalho desenvolvido ao longo do tempo e uma questão sensível, já que prazos são curtos, sejam eles acadêmicos ou profissionais. É preciso, assim, elaborar um plano de pesquisa centrada em possibilidades de materiais para o design.

Nesta tese optou-se por seguir com o tururi, por conta da já citada experiência da pesquisadora com este material. É importante, todavia, citar a dificuldade de adquirir materiais de locais remotos, como é a região de Muaná no Arquipélago do Marajó – Pará. São vários os fatores que influenciam nesta problemática: o pouco contato entre pesquisadores e comunidades tradicionais, a forma dispersa como o material é encontrado na floresta amazônica, a atual impossibilidade de se gerar um projeto de silvicultura das palmeiras de onde é extraído o material, a dependência de embarcações para transporte do material e o alto valor associado a cada espécime.

São dificuldades que impedem uma produção industrial em larga escala de qualquer possibilidade projetual que seja desenhada nas etapas posteriores. Este tipo de compreensão deve ocorrer nas primeiras etapas do projeto, independentemente do material escolhido para aplicação do método. É reforçado que, apesar da atenção que o

designer deve ter a este ponto sensível, não o impossibilita de prosseguir com a escolha de material. Pode-se seguir sabendo das limitações e direcionando os esforços, desde a primeira etapa, para soluções em menor escala.

Fora a disponibilidade, outro grande fator é o impacto social e da identidade local do material selecionado. É preciso sensibilidade da parte do designer sobre as pessoas envolvidas com aquele material, para que não ocorrerem interferências que impactem em sua comunidade, meio ambiente, formas de trabalho e cultura. A aproximação com aqueles que estão tradicionalmente envolvidos com um material local pode responder a muitas destas questões, logo, sugere-se que parte da investigação seja o contato com comunidades ou grupos que historicamente utilizam ou vivenciam aquele material.

Sobre a compreensão do material, faz-se necessária uma análise sobre a dificuldade de obtenção de dados de novos materiais, que ocorre por diversos motivos. Entre os que foram tocantes nesta tese, cita-se a multiplicidade de fatores que influenciam um material quanto às suas características físicas e químicas, e a pouca relação do designer de produto com esses estudos e propriedades. Como mencionado na revisão bibliográfica apresentada, a carência de uma linguagem comum e a ausência de estudos mais aprofundados na formação do designer são empecilhos para o aprofundamento nas questões técnicas dos materiais.

Adentrando o campo da engenharia e os múltiplos fatores que impactam nas propriedades dos materiais, é necessário cautela e atenção ao levantar tais informações, já que diferentes configurações dos materiais impedem uma comparação entre si, dependendo assim de que fatores rígidos sejam estabelecidos para uma real compreensão das propriedades estudadas. Como exemplo, são citados os compósitos. A simples disposição de um dos elementos (como o ângulo) gera resultados diferentes em uma mesma análise. São detalhes que por vezes fogem à atenção do designer de produto e que devem ser ponderados para uma análise crítica no projeto.

6.1.2

Etapa III: manipulação do material

A manipulação de materiais é uma temática bastante sensível no método *eXpiral*, uma vez que envolve diretamente a área de engenharia de materiais, e também por incentivar que o designer desenvolva seus próprios parâmetros de experimentação e controle dos

materiais, estimulados pelos métodos como o *DIY Materials* de Rognoli *et al.* (2015). Nesta tese, foi aproveitada a experiência da pesquisadora responsável para realizar a manipulação do material. Apesar do histórico, foi necessário realizar adaptações e variados testes para se alcançar um resultado satisfatório com as condições de estudo.

De forma geral, foram realizadas inúmeras tentativas para verificar quais as melhores formas de se manipular o material, nem sempre eficazes (descritas no Apêndice 3 desta tese). O resultado positivo foi gerado após múltiplos testes falhos. As condições dos materiais, do laboratório, maquinário e experiência da pesquisadora influenciaram diretamente na proposta gerada. Pontua-se a importância do erro neste tipo de experimentação. Entre as situações vivenciadas que geraram resultados insatisfatórios, podem-se citar: problemáticas envolvendo o vazamento do vácuo, resinas poliuretanas com qualidade não desejada e materiais consumíveis do sanduíche utilizados de forma errônea.

A documentação dos parâmetros utilizados para cada teste, observação e imersão no processo foram essenciais para o aprimoramento da técnica estabelecida. Por fim, o resultado alcançado foi satisfatório, garantindo inclusive ser passível de ser replicado em diferentes contextos, por utilizar materiais encontrados no Brasil e não carecendo de importações de substratos. Apesar disso, deve-se mencionar que não é um processo de baixo valor; os materiais têm um alto custo associado e, durante as experimentações, muitos são utilizados para alcançar o resultado desejado, sem possibilidade de reaproveitamento.

Outro fator de grande importância ao design foram os testes de trabalhabilidade com o material desenvolvido. Não há regras delimitadas para esse tipo de teste, ou normas técnicas apropriadas – é um processo estritamente experimental, e deve ser organizado pelo designer segundo seus próprios parâmetros. Mais uma vez, enfatiza-se a importância de se documentar todo o processo e aclarar sobre a base experimental de sua realização. Guias de uso como o de Ashby e Johnson (2011) foram muito importantes nesse sentido, pois trouxeram uma visualização abrangente de possibilidades para o material desenvolvido.

Sobre a caracterização técnica do novo material, é uma etapa de grande importância e intrinsecamente interdisciplinar. A participação do designer, neste contexto, justifica-se com a necessidade da aproximação com os ensaios realizados e o conhecimento sobre as propriedades do material e suas variantes, que permite com que posteriormente o

designer possa influenciar na manipulação do material. Indica-se que seja realizado um trabalho de parceria com outras áreas, ou sejam utilizadas consultorias com profissionais preparados para a realização dos ensaios e análise dos resultados.

Nesta tese, como os materiais haviam sido previamente desenvolvidos e testados em pesquisas anteriores, os ensaios de caracterização tiveram como principal objetivo garantir que a nova adaptação desenvolvida seguisse os mesmos parâmetros e possuísse comportamentos próximos aos dos materiais anteriores, mesmo que com condições de desenvolvimento diferentes. Sobre este ponto, os resultados foram satisfatórios, garantido assim que, mesmo com um processo essencialmente artesanal, fosse possível desenvolver materiais similares.

6.1.2.1

Preparação

Sobre as primeiras etapas necessárias para o desenvolvimento das placas de compósitos, explanam-se os resultados obtidos na preparação, e servem como parâmetro para compreender o material natural, o tururi. Foram utilizados **94 espécimes *in natura*** de tururi, sem qualquer tratamento prévio. Como média de comprimento foi obtido o valor de **88,45 cm**, com desvio padrão de **8,85 cm** e coeficiente de variação de **10%**. Sobre o peso, a média foi de **32,40 g**, com desvio padrão de **7,57 g** e coeficiente de variação de **23,38%**. Sobre a espessura em seis pontos das amostras, são complicados os resultados na **Tabela 7**:

Tabela 7 - Resultado de medição da espessura

Fonte: Monteiro (2023).

Ponto	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coeficiente de variação (%)
1	1,84	0,41	22,51
2	1,81	0,42	23,41
3	1,35	0,32	23,73
4	1,33	0,30	22,97
5	1,31	0,25	19,20
6	1,30	0,28	21,56

Em relação ao processo de preparação das amostras que inclui lavagem, secagem em estufa e recorte em tamanho padrão, se entende que é um trabalho que deve ser realizado pela pessoa designer/pesquisadora ou sob sua atenção, para garantir que durante o processo não ocorram interferências desnecessárias e o material não sofra alterações por produtos químicos.

6.1.2.2

Materiais compósitos

O Material 1 - matriz mamona com fibras de tururi; e Material 2 - matriz epóxi com fibras de tururi são apresentados na **Figura 74**. As placas não sofreram nenhum tratamento ou interferência visual após a desmoldagem.

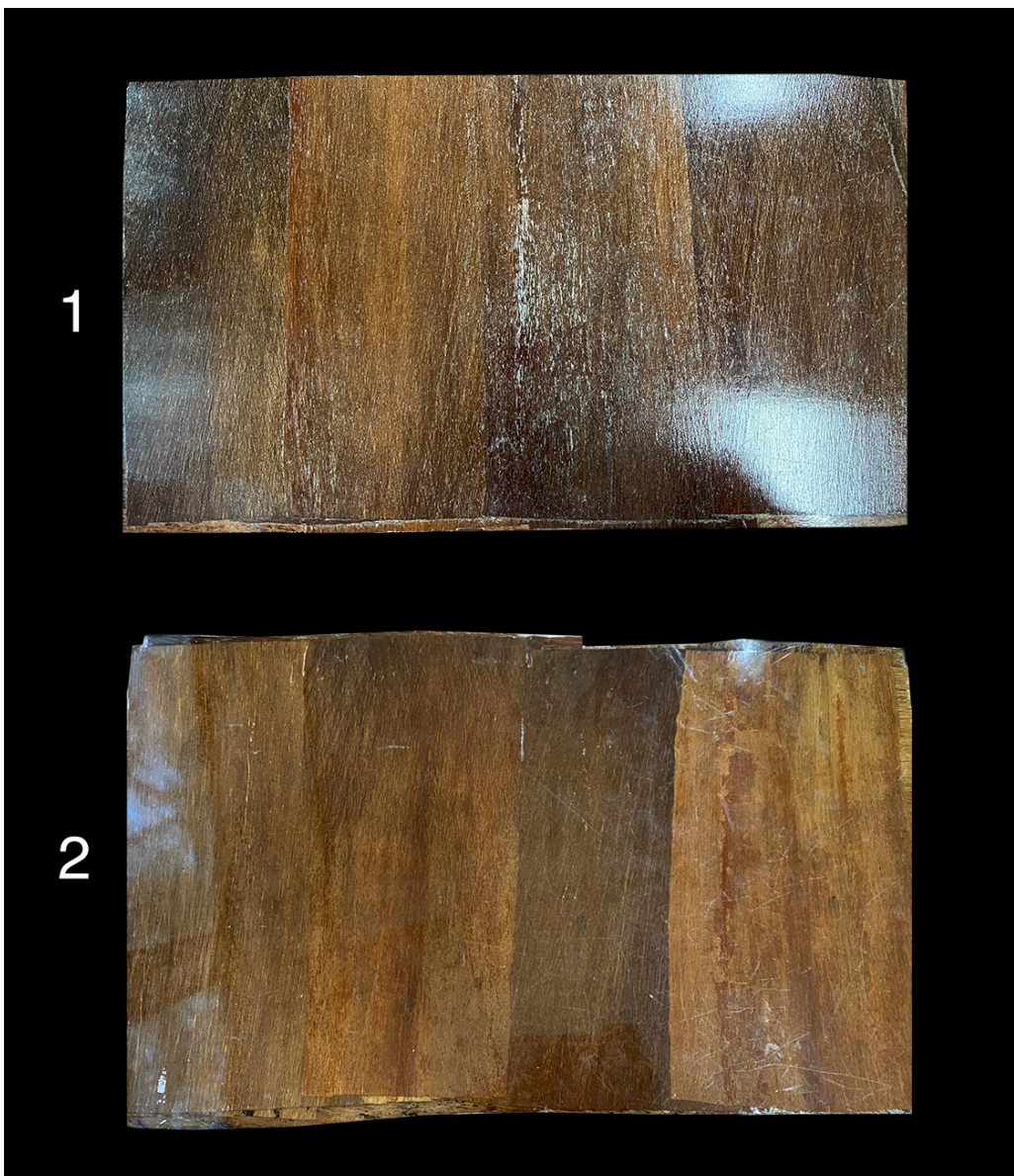


Fig. 74 - Placa de compósito desenvolvida, Material 1 - compósito de tururi (*Manicaria Saccifera* Gaertn.) e resina poliuretana à base de mamona; e Material 2 - compósito de tururi e resina epóxi

Fonte: Monteiro (2023).

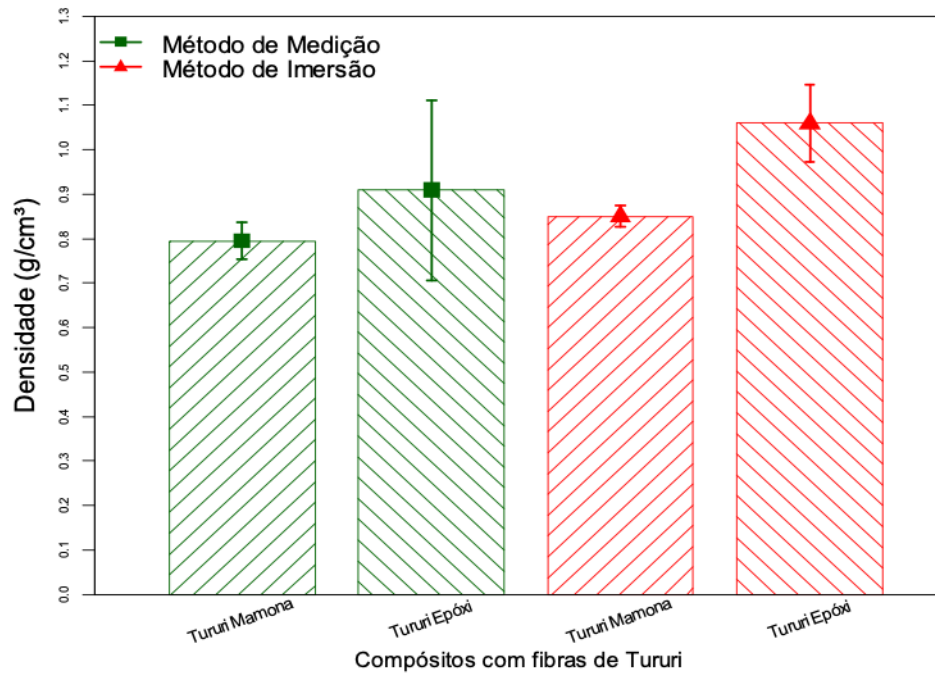
6.1.2.3

Densidade dos materiais compósitos

A **Figura 75** mostra o gráfico comparativo entre as densidades dos compósitos com fibras de tururi em matriz mamona e em matriz epóxi.

Fig. 75 - Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus Densidade

Fonte: Monteiro (2023).



Para o método de mensuração de densidade os resultados apresentados foram de **0,79 ± 0,04 g/cm³** e **0,91 ± 0,20 g/cm³**, para o compósito de fibra de tururi em matriz de resina de mamona e para o compósito de fibra de tururi em matriz epóxi, respectivamente. No segundo método, aparente em relação à água, os resultados apresentados foram **0,85 ± 0,02 g/cm³** e **1,06 ± 0,08 g/cm³**, para o compósito de fibra de tururi em matriz de resina de mamona e para o compósito de fibra de tururi em matriz epóxi, respectivamente.

Para compósitos poliméricos, valores de densidade menores são importantes por representarem a possibilidade de se obter materiais mais leves. Supian *et al.* (2021) analisaram a performance física de compósitos híbridos em matriz epóxi reforçados por fibras de tamareira e fibras de bambu, e mostraram que as densidades dos compósitos com fibras de tamareiras variaram de 1,15 a 1,28 g/cm³ e para os compósitos com fibras de bambu foi de 1,25g/cm³ e para os materiais compósitos híbridos (tamareira/bambu) foi de 1,23 a 1,27g/cm³.

Ribeiro *et al.* (2022) obtiveram resultados de massa específica, através da técnica de imersão, dos materiais compósitos fabricados por laminação manual assistida por vácuo, compósitos este de matriz poliéster reforçados por fibras de juta e malva dispostas na forma contínua e alinhadas na direção da carga aplicada, os resultados obtidos foram de 1,48 e 1,14 g/cm³, respectivamente. Gomes *et al.* (2023) estudaram materiais compósitos de matriz de polietileno de baixa densidade e usaram como fase de reforço a fibra de jupati (*Raphia taedigera*) variando em 5%, 10% e 15% na fração mássica de fibras e os resultados obtidos para a massa específica de 1,29g/cm³; 1,46g/cm³ e 1,48g/cm³, respectivamente.

6.1.2.4

Teor de umidade dos materiais compósitos

A **Figura 76** mostra o gráfico comparativo entre teor de umidade dos compósitos com fibras de tururi em matriz mamona e em matriz epóxi.

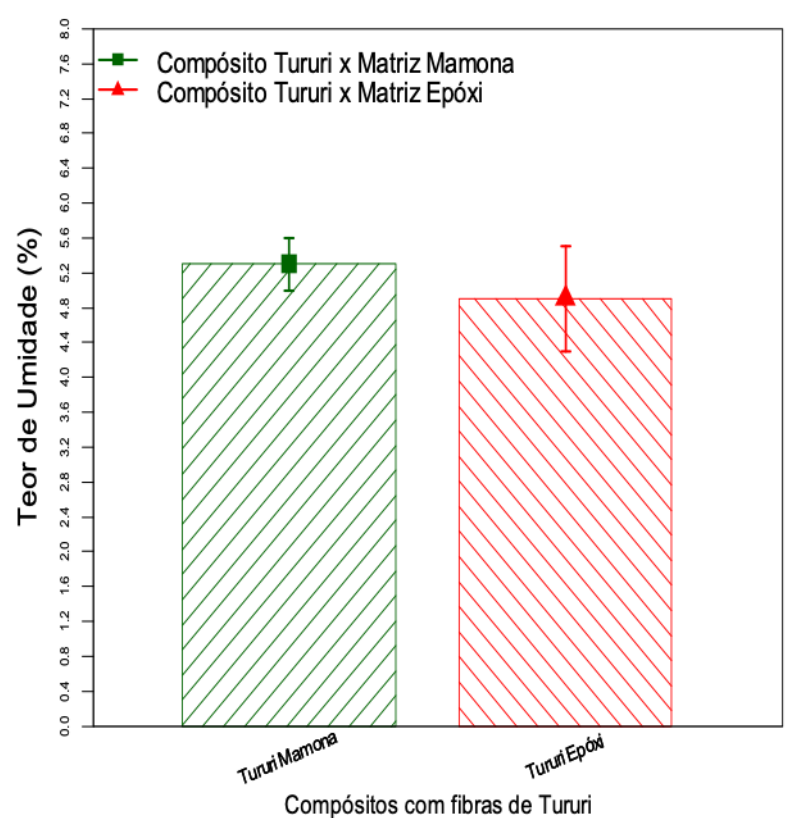


Fig. 76 - Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus Teor de Umidade

Fonte: Monteiro (2023).

Os resultados apresentados para o Teor de Umidade foram de **5,30 ± 0,30% e 4,90 ± 0,60%**, para o compósito de fibra de tururi em matriz de resina de mamona e para o compósito de fibra de tururi em matriz de resina de epóxi, respectivamente. Chen *et al.*

(2023) analisaram materiais compósitos reforçados com fibras de bambus alinhadas em matriz de polietileno de alta-densidade entre os resultados obtidos, destaca-se a absorção de água do compósito com 90% em fração mássica da matriz que foi de 1,30% para 6 horas de imersão e 4,70% para 168h de imersão em água, destacando a natureza hidrofílica da matriz.

Gomes *et al.* (2023) estudaram materiais compósitos de matriz de polietileno de baixa densidade e usaram como fase de reforço a fibra de jupati (*Raphia taedigera*) variando em 5% e 10% na fração mássica de fibras e os resultados obtidos para a absorção de água para 24 de imersão foram de 12,33% e 18,88%; respectivamente. Karthik *et al.* (2023) pesquisaram materiais compósitos híbridos reforçados com tecidos de fibras de bambu e algodão em matriz epóxi e observaram a absorção de água aumentou à medida que elevaram a fração mássica de fibras e tempo de imersão do compósito em água.

6.1.2.5

Ensaio de resistência à tração dos materiais compósitos

Os materiais compósitos após ensaio de tração foram avaliados quanto suas propriedades mecânicas na tração e os resultados obtidos de tensão de ruptura com as fibras de tururi dispostas transversalmente (σ_t), tensão de ruptura com as fibras de tururi dispostas na posição paralela (σ_p), apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8 -
Resultados do ensaio de tração dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

ID	σ_t (MPa) triplicata por placa	σ_t (MPa) Médias das amostras	σ_p (MPa) triplicata por placa	σ_p (MPa) Médias das amostras
Mamona - M1	19,20 ± 1,40		21,80 ± 6,40	
Mamona - M2	20,20 ± 2,50	17,33 ± 4,12	19,60 ± 2,60	18,78 ± 5,22
Mamona - M3	12,60 ± 2,90		13,10 ± 0,00	
Epóxi - E1	12,20 ± 1,20		18,30 ± 0,10	
Epóxi - E2	14,60 ± 2,00	16,18 ± 4,65	19,00 ± 1,40	20,95 ± 3,80
Epóxi - E3	19,90 ± 4,80		24,70 ± 3,80	

Observa-se que há semelhança entre os valores de tensão de ruptura para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente, para matriz mamona de **17,33 ± 4,12 MPa** e matriz epóxi de **16,18 ± 4,65 MPa**. O mesmo é observado para os valores dos compósitos com fibras de tururi dispostas paralelamente, para matriz mamona de **18,78 ± 5,22 MPa** e matriz epóxi de **20,95 ± 3,80 MPa**. No entanto, para os compósitos de matriz mamona ocorre aumento de **8,36%** da tensão de ruptura quando as fibras de tururi estão dispostas paralelamente em comparação as transversais. Comportamento semelhante é apresentado para os compósitos em matriz epóxi que teve a tensão de ruptura elevada em **29,48%**, comparando as fibras de tururi dispostas paralelamente em comparação as transversais.

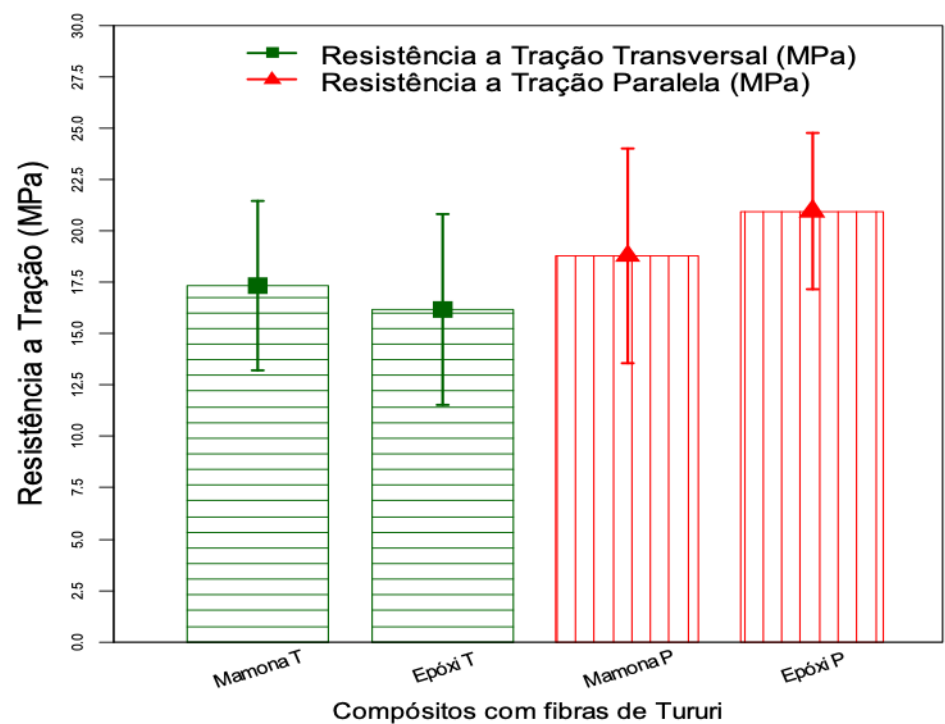
Em sua pesquisa, Pinheiro *et al.* (2019), ao inserir 30% em volume de fibras de guaruman dispostas paralelamente a carga aplicada em matriz epóxi, obtiveram aumento de 4,35% em comparação ao controle. Nurazzi *et al.* (2020) avaliaram a resistência a tração de compósitos de matriz poliéster insaturado reforçados com fibras de palmeira-do-açúcar (*Arenga Pinnata*) com fibras dispostas em três configurações de ângulo 0°, 45° e 90°. Os resultados indicaram que o maior desempenho mecânico dos compósitos foi alcançado para a orientação das fibras de 0°. Seguido por orientações de 45° e 90°. Suresh *et al.* (2021) investigaram as características mecânicas de materiais compósitos laminados por combinações de fibras de pseudocaule de banana (BPSF) e fibras de juta (JF) em matriz epóxi, a combinação de 30% em peso de BPSF + 30% em peso de JF + 40% em peso de resina epóxi apresentou satisfatório valor médio de resistência à tração.

Trabalhando com compósitos laminados, Sari *et al.* (2021) exploraram o uso da matriz de resina poliéster reforçados com fibras de casca de milho não tratados (FCM) com inserção de particulados de casca de coco (PCC), os resultados obtidos das propriedades mecânicas variaram entre 16,95 e 22,46 MPa. Semelhantemente, Chaturvedi *et al.* (2022) também ensaiaram em tração materiais compósitos reforçados com tecidos de fibras de juta na configuração de duas camadas, utilizaram matriz epóxi e obtiveram valores satisfatórios da ordem de 34,53 ± 1,50 MPa de resistência a tração. Ahmad *et al.* (2023), que em sua pesquisa fabricaram compósitos reforçados com fibras de dendê (*Elaeis Guineensis*) em matriz ABS (Acrlonitrilo-butadieno-estireno), observaram um comportamento de elevação da resistência à tração ao adicionar 3% em peso à fração de fibras na matriz.

A **Figura 77** mostra o gráfico comparativo entre as resistências a tração dos resultados obtidos no ensaio de tração para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente e paralelamente (Mamona T = MT = compósito matriz mamona com fibras de tururi transversal, Epóxi T = ET = compósito mamona com fibras de tururi transversal, Mamona P = MP = compósito matriz mamona com fibras de tururi paralela e Epóxi P = EP = compósito mamona com fibras de tururi paralelo).

Fig. 77 - Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus suas propriedades mecânicas de tração

Fonte: Monteiro (2023).



Como observado, a resistência à tração para os compósitos com fibras de tururi dispostas na mesma direção da carga aplicada exercem a função de reforço, uma vez que elas são mais rígidas que a matriz. Logo, os compósitos nestas configurações têm a resistência à tração e rigidez incrementadas. Por outro lado, com as fibras de tururi nas configurações contínuas, alinhadas e dispostas transversalmente em relação à carga aplicada, a resistência à tração diminui, pois deixam de exercer a função de reforço, prevalecendo as propriedades elásticas da matriz (Mendonça, 2019).

A análise de variância para os resultados das médias de resistência à tração entre as variações dos materiais compósitos de fibras de tururi (Mamona transversal, epóxi transversal, mamona paralela e epóxi paralelo) é destacada na **Tabela 9**.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Varição Entre Grupos (Tratamento)	97,91	3	32,64	1,64	2,03x10 ⁻¹	2,94
Varição Dentro do Grupo (Resíduo)	557,99	28	19,93			
Total	655,89	31				

Tabela 9 - Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de tração dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

Como o $F_{\text{calculado}}$ (1,64) é menor que F_{tabelado} (2,94) ao nível de significância $\alpha=5\%$, indicando, portanto, a aceitação da hipótese H_0 , ou seja, equivalência entre médias. Por este motivo, o teste de Tukey não foi considerado necessário.

6.1.2.6

Ensaio de resistência à flexão dos materiais compósitos

Os materiais compósitos após ensaio de flexão foram avaliados quanto suas propriedades mecânicas na flexão e os resultados obtidos de tensão de ruptura na flexão com as fibras de tururi dispostas transversalmente (σ_{ft}) e tensão de ruptura na flexão com as fibras de tururi dispostas na posição paralela (σ_{fp}) estão apresentados na **Tabela 10**.

ID	σ_{ft} (MPa) triplicata por placa	σ_{ft} (MPa) Médias das amostras	σ_{fp} (MPa) triplicata por placa	σ_{fp} (MPa) Médias das amostras
Mamona - M1	24,45 ± 1,36		25,11 ± 10,45	
Mamona - M2	17,56 ± 2,60	18,05 ± 6,25	25,45 ± 4,98	21,39 ± 8,28
Mamona - M3	12,28 ± 7,21		13,62 ± 2,03	
Epóxi - E1	-		-	
Epóxi - E2	-	38,11 ± 4,80	44,62 ± 4,50	44,62 ± 4,50
Epóxi - E3	38,11 ± 4,80		-	

Tabela 10 - Resultados de resistência à flexão dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

Observa-se que há semelhança entre os valores de tensão de ruptura na flexão para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente em matriz mamona de **18,05 ± 6,25 MPa** em comparação aos compósitos com fibras de tururi dispostas

paralelamente em matriz mamona de **21,39 ± 8,28 MPa**. O mesmo comportamento é observado para os valores dos compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente para matriz epóxi de **38,11 ± 4,80 MPa** em comparação aos compósitos com fibras de tururi dispostas paralelamente em matriz epóxi de **44,62 ± 4,50 MPa**. No entanto, para os compósitos com fibras transversais houve aumento de **111,44%** entre da matriz mamona para matriz epóxi. Este aumento pode ser observado também comparando as fibras de tururi dispostas paralelamente em matriz mamona para matriz epóxi que foi de **108,60%**.

Rangasamy *et al.* (2021), fizeram uma análise extensiva das propriedades mecânicas de materiais compósitos em matriz epóxi reforçados por fibras de jutas em quatro camadas e diferentes orientações de ângulo, destaca-se como resultados para a resistência à flexão três pontos, as orientações das fibras de 15°, 30° e 75° que foram de 44,08MPa; 45,92MPa e 45,04 MPa, respectivamente. Observa-se que os resultados de resistência à flexão obtidos por Parvez *et al.* (2023) têm comportamento semelhante, que em sua pesquisa fabricaram compósitos reforçados com fibras de rattan e bambu em matriz éster vinílica, compósitos estes fabricados pelo processo de laminação manual assistida por vácuo e os resultados apresentados foram de 49,26 e 44,65 MPa, respectivamente.

Mahmud *et al.* (2023) analisaram o comportamento em flexão três pontos de materiais compósitos de matriz epóxi reforçados por fibras banana, coco e juta, os resultados de máxima resistência à flexão foram de 52,67 MPa; 33,90 MPa e 29,76 MPa, respectivamente. Semelhantemente, Wahg *et al.* (2023) também ensaiaram em flexão, materiais compósitos fabricados através de laminação manual, estes compósitos foram reforçados com 20% fibras de juta, cânhamo e sisal, em forma de tecido, combinados com fibras de vidro a 30%, utilizaram matriz epóxi e obtiveram os resultados de 95,40 MPa, 47,9MPa e 27,67 MPa, respectivamente.

A **Figura 78** mostra o gráfico comparativo entre as resistências à flexão dos resultados obtidos no ensaio de flexão para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente e paralelamente (Mamona T = MT = compósito matriz mamona com fibras de tururi transversal, Epóxi T = ET = compósito mamona com fibras de tururi transversal, Mamona P = MP = compósito matriz mamona com fibras de tururi paralela e Epóxi P = EP =compósito mamona com fibras de tururi paralelo).

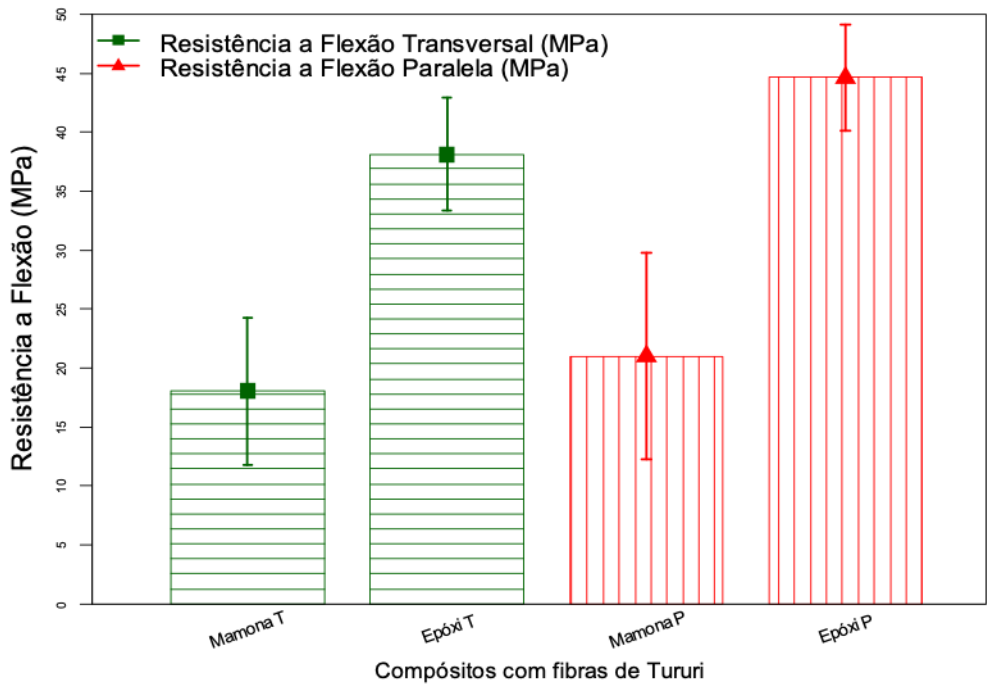


Fig. 78 - Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus suas propriedades mecânicas de flexão
 Fonte: Monteiro (2023).

A resistência à flexão para os compósitos com fibras de tururi dispostas na mesma direção da carga aplicada exercem a função de reforço, pois são mais rígidas do que a matriz. Assim como para o ensaio de tração, os compósitos nestas configurações têm a resistência à flexão e rigidez incrementadas. As fibras de tururi nas configurações contínuas, alinhadas e dispostas transversalmente em relação a carga aplicada implicam em diminuição da resistência à flexão, pois deixam de exercer a função de reforço, prevalecendo as propriedades elásticas da matriz (Mendonça, 2019).

A análise de variância para os resultados das médias de resistência à flexão entre as variações dos materiais compósitos de fibras de tururi (Mamona transversal, epóxi transversal, mamona paralela e epóxi paralelo) é destacada na **Tabela 11**.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Varição Entre Grupos (Tratamento)	1655,96	3	551,99	11,11	$1,95 \times 10^{-4}$	3,12
Varição Dentro do Grupo (Resíduo)	943,69	19	49,67			
Total	2599,65	22				

Tabela 11 - Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de flexão dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

Como o $F_{\text{calculado}} (11,11)$ é maior que $F_{\text{tabelado}} (3,12)$ ao nível de significância $\alpha=5\%$, mostrando, portanto, pelo menos uma diferença significativa para os tratamentos, rejeitando assim a hipótese H_0 . Conclui-se que pelo menos umas das médias de resistência a flexão é diferente das demais com grau de confiança superior a 95% de probabilidade, assim pelo P-valor menor que α , constata-se que os tratamentos das frações de resíduo foram significativos na flexão. Como H_0 foi rejeitada, pode-se verificar os tratamentos que diferem entre si, com isso foi utilizado o teste de Tukey que permite a comparação das médias uma a uma e assim identificar quais as diferenças entre os resultados.

A **Tabela 12** apresenta os resultados comparativos do teste de Tukey entre os compósitos, concluindo se há ou não diferença significativa. O valor da **d.m.s.** obtida (**Equação 3**) foi de **9,91** (o texto em negrito representa o tratamento que difere significativamente).

Tabela 12 -
Resultados obtidos para as diferenças entre os valores médios da resistência à flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP

Fonte: Monteiro (2023).

	MT	ET	MP	EP
MT	0,00	20,06*	3,35	26,57
ET	20,06	0,00	16,72	6,50
MP	3,35	16,72	0,00	23,22
EP	26,57	6,50	23,22	0,00

A **Figura 79** (exposta na próxima página) mostra o gráfico comparativo entre as médias de resistências a flexão dos resultados obtidos no ensaio de flexão para os compósitos estudados.

Com base nesses resultados apresentados, pode-se afirmar que houve diferença significativa apenas entre ET-MT, ET-MP, EP-MT, e EP-MP sendo em todos os casos os compósitos com a matriz epóxi apresentam maiores valores médio de resistência à flexão comparados com os compósitos de matriz mamona. Entre os tratamentos MP-MT e EP-ET, observa-se que não houve diferença significativa.

Outra propriedade na flexão que foi avaliada foi o módulo de flexão para os compósitos com as fibras de tururi dispostas transversalmente (Eft) e módulo de flexão com as fibras de tururi dispostas na posição paralela (Efp) estão apresentados na **Tabela 13**.

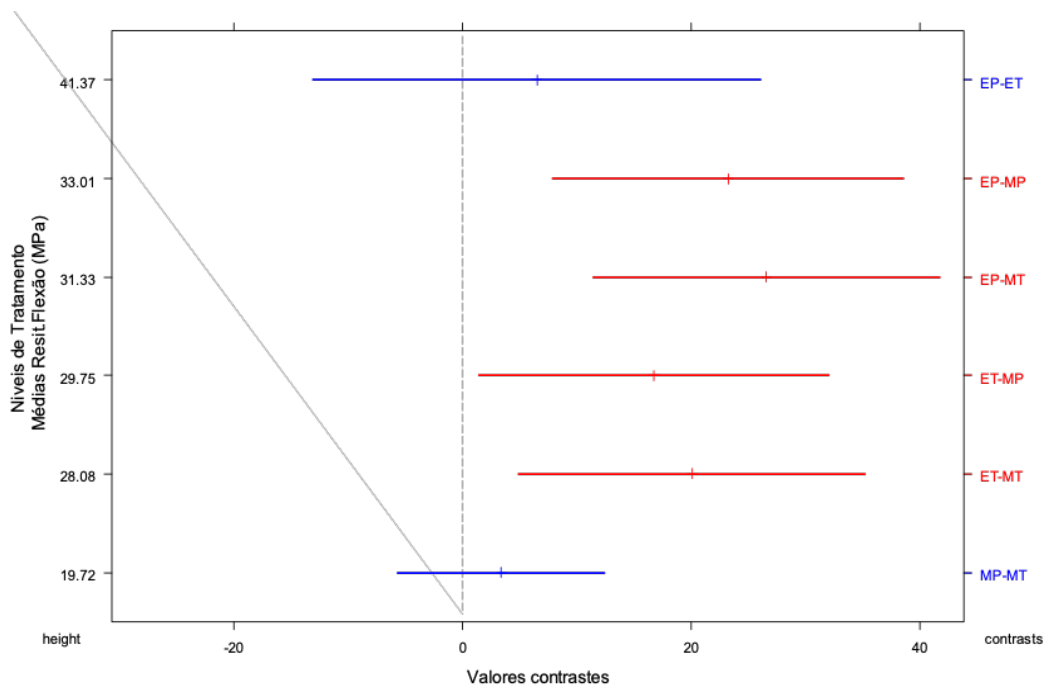


Fig. 79 - Gráfico para as diferenças entre os valores médios da resistência à flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP

Fonte: Monteiro (2023).

ID	Eft (GPa) triplicata por placa	Eft (GPa) Médias das amostras	Efp (GPa) triplicata por placa	Efp (GPa) Médias das amostras
Mamona - M1	1,08 ± 0,04		0,95 ± 0,63	
Mamona - M2	0,65 ± 0,20	0,69 ± 0,35	0,76 ± 0,29	0,69 ± 0,43
Mamona - M3	0,36 ± 0,34		0,37 ± 0,12	
Epóxi - E1	-		-	
Epóxi - E2	-	2,90 ± 0,17	2,03 ± 0,194	2,03 ± 0,19
Epóxi - E3	2,90 ± 0,17		-	

Tabela 13 - Resultados de módulo de flexão dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

Observa-se que há semelhança entre os valores de módulo de flexão para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente em matriz mamona de **0,69 ± 0,35 GPa** em comparação aos compósitos com fibras de tururi dispostas paralelamente em matriz mamona de **0,69 ± 0,43 GPa**. O mesmo comportamento é observado para os valores dos compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente em para matriz epóxi de **2,90 ± 0,17 GPa** em comparação aos compósitos com fibras de tururi dispostas paralelamente em matriz epóxi de **2,03 ± 0,19 GPa**. No entanto, para os compósitos com fibras transversais houve aumento de 315,76% entre da matriz mamona para matriz epóxi.

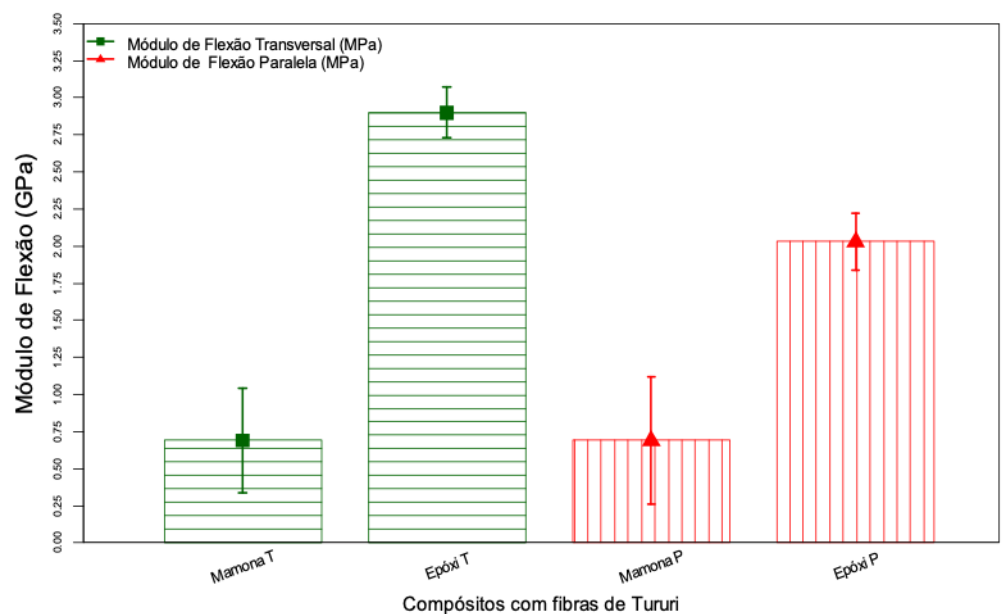
Este aumento pode ser observado também comparando as fibras de tururi dispostas paralelamente em matriz mamona para matriz epóxi que foi de 190,83%.

Vinod *et al.* (2022) ensaiaram, em flexão, materiais compósitos fabricados através de laminação manual, reforçados com fibras de juta e cânhamo, em forma de tecido, utilizando matriz de base biológica SR green epóxi 56, e obtiveram resultados para o módulo de flexão que variaram de $1,32 \pm 0,12$ GPa a $3,48 \pm 0,17$ GPa. Bollino *et al.* (2023), em sua pesquisa, estudaram materiais compósitos de matriz epóxi reforçados com tecidos de fibras de cânhamo fabricados através do processo de infusão, e obtiveram resultados satisfatórios para módulo de flexão de até 2,46 GPa. Jumaidin *et al.* (2023), ao produzirem biocompósitos através de laminação manual e em molde metálico sob pressão, utilizaram como matriz o termoplástico de amido de mandioca reforçado por fibras de casca de durião, e após ensaio de flexão alcançaram resultados de módulo de flexão de até 2,96 GPa.

A **Figura 80** mostra o gráfico comparativo entre os módulos de flexão dos resultados obtidos no ensaio de flexão para os compósitos com fibras de tururi dispostas transversalmente e paralelamente (Mamona T = MT, Epóxi T = ET, Mamona P = MP e Epóxi P = EP).

Fig. 80 - Gráfico dos compósitos com fibras de tururi versus módulo de flexão

Fonte: Monteiro (2023).



Observa-se que os materiais compósitos de matriz epóxi reforçados com fibras de tururi apresentaram valores superiores ao comparado com a matriz mamona reforçados com fibras de tururi.

A análise de variância para os resultados das médias de módulo de flexão entre as variações dos materiais compósitos de fibras de tururi (Mamona transversal, epóxi transversal, mamona paralela e epóxi paralelo) é destacada na **Tabela 14**.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Varição Entre Grupos (Tratamento)	11,09	3	3,70	25,55	$7,03 \times 10^{-7}$	3,12
Varição Dentro do Grupo (Resíduo)	2,75	19	0,14			
Total	13,84	22				

Tabela 14 - Dados gerados pela “ANOVA: único fator para ensaio de flexão dos compósitos com fibras de tururi

Fonte: Monteiro (2023).

Como o $F_{calculado}$ (25,55) é maior que $F_{tabelado}$ (3,12) ao nível de significância $\alpha=5\%$, mostrando, portanto, pelo menos uma diferença significativa para os tratamentos, rejeitando assim a hipótese H_0 . Conclui-se que pelo menos umas das médias de módulo de flexão é diferente das demais com grau de confiança superior a 95% de probabilidade; assim, pelo P-valor menor que α , constata-se que os tratamentos das frações de resíduo foram significativos na flexão. Como H_0 foi rejeitada, pode-se verificar os tratamentos que diferem entre si. Com isso, foi utilizado o teste de Tukey que permite a comparação das médias uma a uma e assim identificar quais as diferenças entre os resultados.

A **Tabela 15** apresenta os resultados comparativos do teste de Tukey entre os compósitos, concluindo se há ou não diferença significativa. O valor da **d.m.s.** obtida foi de **0,53** (o texto em negrito representa o tratamento que difere significativamente).

	MT	ET	MP	EP
MT	0,00	2,20*	0,00	1,33
ET	2,20	0,00	2,20	0,87
MP	0,00	2,20	0,00	1,33
EP	1,33	0,87	1,33	0,00

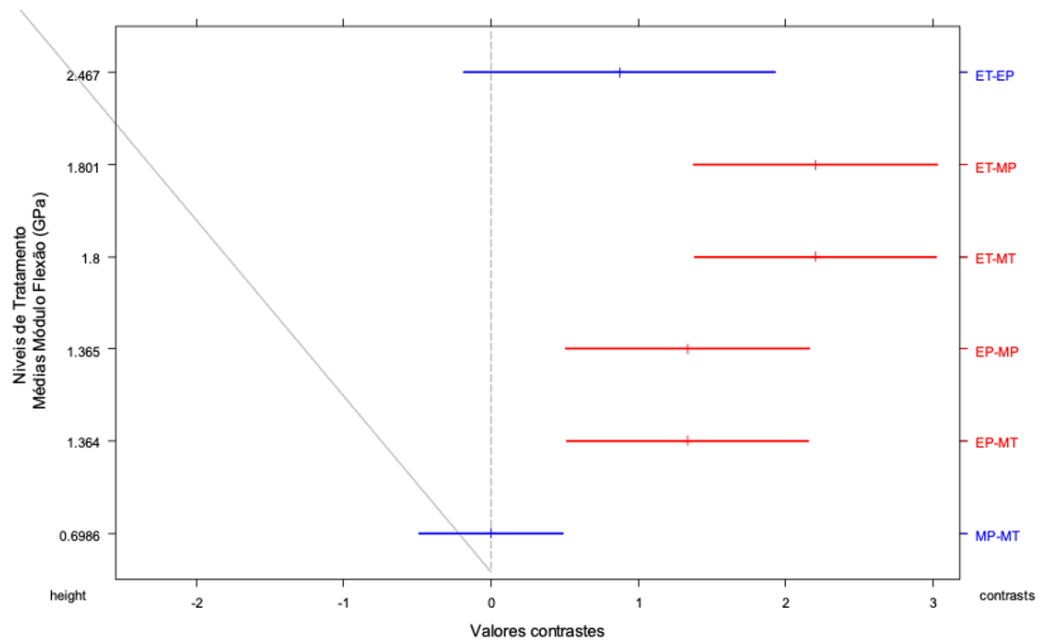
Tabela 15 - Resultados obtidos para as diferenças entre os valores médios de módulo de flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP

Fonte: Monteiro (2023).

A **Figura 81** mostra o gráfico comparativo entre as médias de módulo de flexão dos resultados obtidos no ensaio de flexão para os compósitos estudados. Com base nesses resultados apresentados, pode-se afirmar que houve diferença significativa apenas entre ET-MT, ET-MP, EP-MT, e EP-MP sendo em todos os casos os compósitos com a matriz epóxi apresentam maiores valores médio de módulo de flexão comparados com os compósitos de matriz mamona. Entre os tratamentos MP-MT e ET-EP, observa-se que não houve diferença significativa.

Fig. 81 - Gráfico para as diferenças entre os valores médios do módulo de flexão para os tratamentos: MT, ET, MP e EP

Fonte: Monteiro (2023).



Com base nesses resultados apresentados, pode-se afirmar que houve diferença significativa apenas entre ET-MT, ET-MP, EP-MT, e EP-MP sendo que, em todos os casos, os compósitos com a matriz epóxi apresentam maiores valores médio de módulo de flexão comparados com os compósitos de matriz mamona. Entre os tratamentos MP-MT e ET-EP, observa-se que não houve diferença significativa.

O comportamento mecânico, de forma geral variado, pode ser explicado pelas diferentes particularidades de cada espécime de tururi, com gramaturas, espessura e peso diferentes. Além disso, conforme relata Oliveira (2011) o entrelaçamento resultado do formato de não-tecido do material (**Figura 82**), sua heterogeneidade química e física também é responsável pela variabilidade dos resultados, com possíveis rupturas não visíveis e consequente redistribuição dos esforços no material.

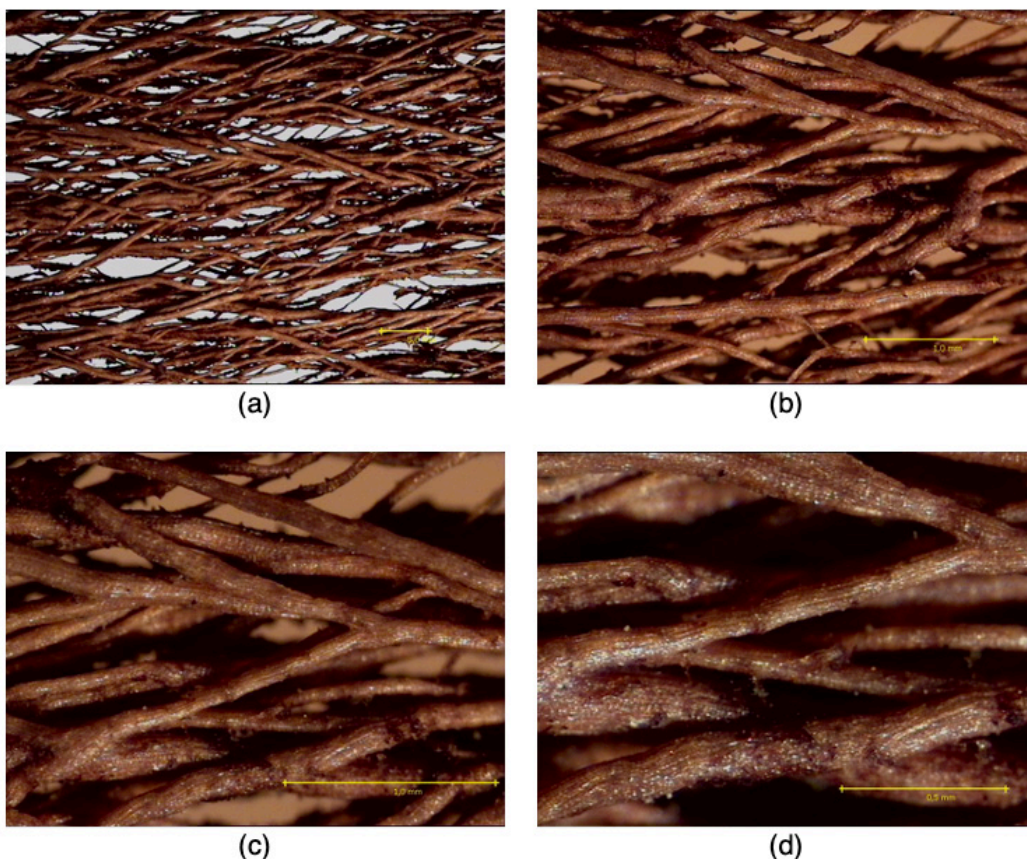


Fig. 82 - Micrografias longitudinais da fibra de tururi. (a) ampliação de 20x e indicação de escala correspondente a 5000 microns; (b) ampliação de 32x e indicação de escala correspondente a 500 microns; (c) ampliação de 80x e indicação de escala correspondente de 500 microns; (d) ampliação de 128x e indicação de escala correspondente a 500 microns

Fonte: Monteiro (2016).

6.1.2.7

Trabalhabilidade do material

Para compreender as possibilidades quanto à trabalhabilidade do compósito de tururi, foram realizados testes empíricos de corte, união e acabamento. Para o corte da placa, foram testados cortes com serra circular de bancada e com serra popularmente chamada de “tico-tico” (conhecida também como serra vaivém).

Tendo como base a pesquisa apresentada por Porto *et al.* (2020), constatou-se que o material é facilmente cortado com ambas as opções, não requerendo preparação de superfície e mantendo a área cortada com poucas rebarbas. Com a serra de bancada, a área cortada apresentou aspecto áspero e opaco e não houve deslocamento de fibra/matriz ou remoção de fibras (**Figuras 83 e 84**).

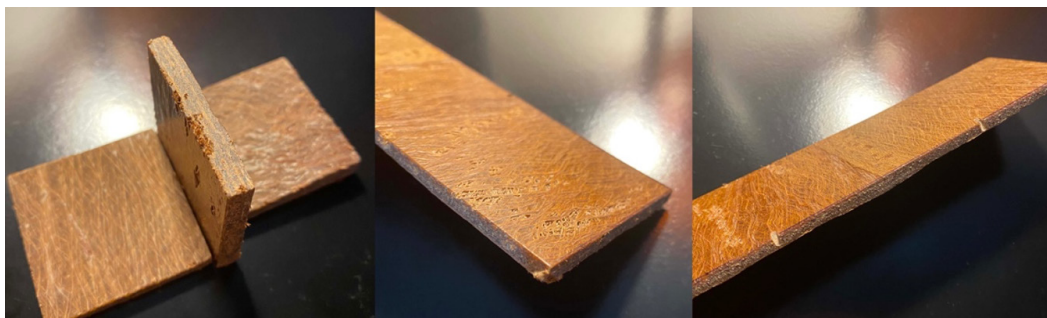
Fig. 83 - Corte da placa de compósito com serra circular manual

Fonte: Monteiro (2023).



Fig. 84 - Análise visual de corte com serra de bancada

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).



Também foi possível realizar fresamento do material, sem deslocamento de fibras durante e após o processo. Com este tipo de corte ocorre um risco maior de lascas no material cortado, sendo de grande importância sua manutenção como observado no compósito de tururi (**Figura 85**).



Fig. 85 - Corte circular na placa de compósito

Fonte: Monteiro (2023).

Com a serra “tico-tico” houve presença visual mais significativa de rebarbas (**Figura 86**). Apesar da qualidade do corte, ambos os processos se mostraram eficazes para o material e foram facilmente realizados.



Fig. 86 - Análise visual de corte com serra “tico-tico”

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).

Como união do material foram testadas a inserção de parafusos nas placas de compósito, para verificar a estabilidade do material durante e após o processo. Para tanto,

utilizou-se uma furadeira de impacto (Makita, modelo 18v Li-Ion) com broca de madeira de 4 mm. O procedimento de furo sucedeu-se de forma satisfatória, sem prejudicar a placa, deslocar fibras ou deixar rebarbas. Na **Figura 87**, os furos em ambas as faces do compósito.

Fig. 87 - Análise visual de furo

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).



Como técnicas de escareamento, foi testada a utilização de broca escareadora e posterior união de duas placas com parafuso de 3,5 mm. A amostra suportou as técnicas, demonstrando que é possível fazer a união mecânica entre diferentes placas mantendo sua estabilidade física (**Figura 88**).

Fig. 88 - Análise visual de escareamento e inserção de parafuso

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).



Quanto ao visual do compósito, foram testados os processos de lixamento e polimento na face mais prejudicada no processo de laminação a vácuo (**Figura 89**). Foi realizado o processo de lixamento com lixas número 150, 320 e 1000, com posterior polimento com cera de abelha. O resultado visual foi satisfatório, dando destaque para fibras com brilho opaco. Na **Figura 90** a região polida é destacada com o retângulo na cor azul, em contraste com a região sem qualquer tipo de trabalho.



Fig. 89 - Diferença entre as faces do compósito

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).

Fig. 90 - Diferença entre a região polida (no retângulo azul) e a original

Fonte: Monteiro *et al.*, (2021).

De modo geral, os ensaios empíricos de trabalhabilidade foram bastante relevantes no entendimento do próprio material, gerando inclusive um processo criativo durante sua elaboração, já que as formas geradas inspiram a pessoa designer a pensar em novas possibilidades e associar o material com outros que possui prévia experiência. Muitos outros ensaios de trabalhabilidade podem ser realizados, e se reforça, por isso, a necessidade de mais estudos sobre essa prática.

6.1.3

Etapa IV: experiência com o material

Para a etapa de definição da experiência com o material, são apresentados os resultados das investigações realizadas com o intuito de testar ferramentas e analisar o material desenvolvido. Primeiramente, se atenta para a falta de recursos na língua portuguesa, no que tange ferramentas para as análises de aspectos intangíveis. Por essa razão, foi preciso adaptar e criar ferramentas, incluindo a tradução, a adaptação para o formato de uma oficina de trabalho com múltiplos participantes, desenvolvimento de uma técnica para análise dos resultados, além da própria organização e condução da oficina onde ocorreram as análises.

Como descrito no método *eXpiral*, o designer pode utilizar tanto as ferramentas apresentadas nesta tese quanto outras que melhor se adaptem aos seus interesses de pesquisa, com a liberdade de adaptar os materiais, linguagem e formato segundo as suas

necessidades. Com este alinhamento, seguiu-se para os resultados de desenvolvimento e aplicação de duas ferramentas utilizadas para a avaliação nesta tese, o **mapa de experiência** e o aplicativo **X-MAT**.

6.1.3.1

Mapa de experiência

Foram organizadas e conduzidas oficinas de trabalho para teste do **mapa de experiência**, no ano de 2019, na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. A oficina foi conduzida por uma pesquisadora-facilitadora (aqui denominada facilitadora), que guiou o preenchimento do mapa. Participaram das oficinas 19 usuários especializados em design, entre alunos da graduação, pós-graduação e professores da área.

Durante a oficina, foram entregues aos participantes o mapa de experiência do usuário, cartões de vocabulário interpretativo e afetivo, assim também como uma amostra de material. Para compreender a potencialidade da ferramenta na investigação de novos materiais, foram avaliadas amostras de materiais desenvolvidos por designers de produtos de maneira “faça-você-mesmo”, sendo ambas as amostras, compósitos poliméricos. Escolheu-se também utilizar outros materiais visualmente semelhantes aos compósitos e pouco conhecidos pelo público.

Dessa forma, foram testados quatro distintos materiais, com amostras no tamanho padrão de 5x5 cm (**Figura 91**): (1) Compósito de resíduo têxtil e resina poliuretana à base de mamona (Fabrini, 2018); (2) Compósito de fibra de tururi e resina epóxi-vinil-éster (Seyam et al., 2017); (3) Laminado de Bambu Verde, doação Labdesign – FAUUSP; (4) Laminado de Goiabão Escuro, ecofolhas, doação Labdesign – FAUUSP.

Fig. 91 - Amostras utilizadas durante a oficina com o mapa de experiência

Fonte: Monteiro (2019).



Os mapas de experiência, cartões de vocabulário interpretativo e afetivo, e uma amostra de material foram organizados em uma sala aleatoriamente (**Figura 92**). Ao início da oficina, foi solicitado aos participantes que tocassem as amostras livremente, e em seguida, respondessem a questões apresentadas no mapa de acordo com o tempo estabelecido pela facilitadora. Não houve explicação prévia do que seria analisado, seguindo as diretrizes do guia para facilitadores do material original (descrito anteriormente no Subitem 3.3.6.3).



Fig. 92 - Materiais da oficina, por participante

Fonte: Monteiro (2019).

A facilitadora guiou a oficina, oferecendo explicações sobre o preenchimento do mapa. O mapa foi originalmente pensado a ser realizado entre um facilitador e um participante, todavia devido ao formato escolhido de oficina com múltiplos participantes não era possível que fosse replicado de tal maneira. Por razão de tal adaptação, foi necessário que o tempo de execução de cada análise também fosse diferente daqueles propostos no material original. É indicado que cada tarefa seja realizada em até oito minutos, porém durante as oficinas, notou-se ser mais proveitoso quando cada análise era realizada em quatro minutos. Percebeu-se que os participantes não despendiam tanto tempo nas análises e que aprenderam rapidamente como cada uma deveria ser preenchida (**Figura 93**).

Fig. 93 - Análise de uma participante durante a oficina

Fonte: Monteiro (2019).



Os participantes não demonstraram dificuldade ao preencher o mapa individualmente, aproveitaram até mesmo o espaço destinado aos comentários para contribuir com sugestões, como, por exemplo: “Mapa em formato maior, para melhor visualização das imagens”; “Ajuste nas traduções e adequação dos termos utilizados”; “Explicação mais detalhada por parte do facilitador, na etapa nível afetivo”; e “Guia para desenho na etapa nível afetivo”.

Segue-se apresentando o resultado para aplicação de cada análise, na ordem: [1] interativo; [2] sensorial; [3] afetivo; e [4] interpretativo.

Nível interativo

Durante as oficinas os participantes demonstraram dificuldade em associar as imagens ilustrativas com as ações apresentadas no questionário (**Figura 94**). Alguns citaram que as fotografias eram muito pequenas e indicaram que se fosse maior, seria possível realizar uma análise mais detalhada das ações.

O espaço destinado a ações extras (o pontilhado em duas das perguntas – como você toca o material e como segura o material) foi utilizado, o que é bastante positivo já que as informações adquiridas podem ser incluídas no questionário em futuras revisões.



Fig. 94 - Análise do nível interativo

Fonte: Monteiro (2019).

Nível sensorial

Foram apontadas dificuldades no preenchimento da análise de nível sensorial, devido ao tamanho das palavras e ilustrações que acompanham a análise. O espaço destinado possui o tamanho de 60 x 80 mm, com utilização de fonte tipográfica no tamanho 10. Os participantes também mostraram dúvidas quanto aos números destacados acima do espaço disponível para as respostas. Os números são de uso do pesquisador para categorização das respostas, logo ao participante se tornam dispensáveis (**Figura 95**).



Fig. 95 - Análise do nível sensorial

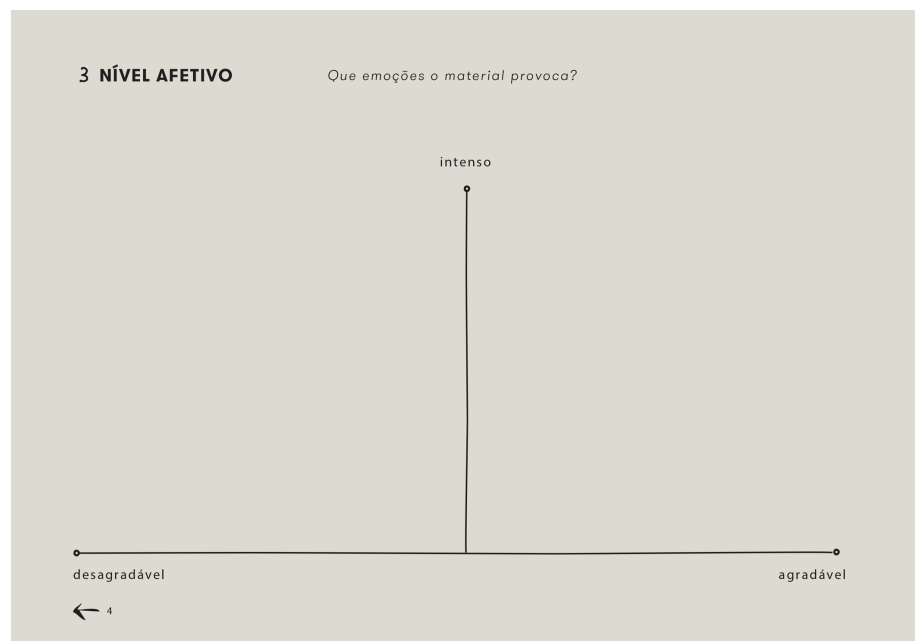
Fonte: Monteiro (2019).

Nível afetivo

Esta foi a etapa mais problemática em relação ao preenchimento durante as oficinas. Foi apontada a necessidade de linhas guia para responder o gráfico (**Figura 96**), assim também como uma explicação mais detalhada de como preencher o mesmo. A análise dos resultados também foi prejudicada, já que a não delimitação de preenchimento das informações no gráfico não proporcionou respostas facilmente mensuráveis e interpretáveis.

Fig. 96 - Análise do nível afetivo

Fonte: Monteiro (2019).



Nível interpretativo

Os participantes não demonstraram dúvidas nesta etapa, porém alguns não responderam completamente a análise. Nas perguntas finais, notou-se a atribuição de termos quantitativos, derivados de propriedades físicas dos materiais, como durabilidade, dureza e resistência. Isto pode ser interpretado como uma inclinação dos designers de conferirem características quantitativas às experiências qualitativas (**Figura 97**).

4 NÍVEL INTERPRETATIVO O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1 significado 2 significado 3

5 (desdobre o mapa e abra as laterais)

The image shows a worksheet for the '4th Interpretative Level'. It has a header with the title '4 NÍVEL INTERPRETATIVO' and the question 'O que você associa ao material?'. Below this is the instruction 'Como você descreveria isso?'. The main area is divided into three columns, each labeled 'significado 1', 'significado 2', and 'significado 3'. Each column contains two empty rectangular boxes connected by a vertical line, intended for drawing or writing. At the bottom left, there is a small downward arrow icon and the number '5' with the instruction '(desdobre o mapa e abra as laterais)'.

Fig. 97 - Análise do nível interpretativo
Fonte: Monteiro (2019).

Conclusões sobre a aplicação do material

A aplicação do mapa foi imprescindível para validar sua eficácia. Percebeu-se questões referentes à tradução, principalmente no que diz respeito à adaptação de termos não convencionais no Brasil, que devem futuramente ser revisitadas para melhor adaptação. Estas adaptações devem considerar questões de regionalidade dos termos, de modo a tentar estabelecer um vocabulário em português que seja mais bem aceito em diferentes regiões do país, evitando assim a necessidade de adaptações regionais. Como exemplo, é possível citar termos como “toy-like” (traduzido como infantilizado) e “sexy” e “not-sexy” que não puderam ser traduzidos. Se faz necessário, por essa razão, que a tradução seja revisitada para uma melhor adequação.

Sobre o tamanho do mapa, no tamanho A3 (297 x 420 mm) e desdobrável, também houve comentários que indicam a necessidade de ampliação do formato proposto, para melhorar a visualização e compreensão das informações. Também se mencionou a questão da acessibilidade, o tamanho diminuto das palavras e imagens pode prejudicar uma grande parte da população, o que torna sua utilização problemática.

Outro ponto que deve ser ponderado é o tempo de aplicação de cada etapa, novas oficinas podem auxiliar na compreensão do tempo ideal para cada análise, visto que os participantes indicaram que o tempo padrão de quatro minutos para cada etapa nem

sempre é necessário, podendo tornar a condução da oficina mais dinâmica com tempo personalizado para cada etapa.

6.1.3.2

Aplicativo X-MAT

Em sequência à primeira aproximação com ferramentas de análise da experiência do usuário, foram investigados os resultados das aplicações nas oficinas de trabalho, o processo de análise de dados e os dados obtidos. Avaliaram-se as possíveis questões que poderiam ser ajustadas e que melhor se encaixavam aos nossos objetivos de pesquisa. Tal exame acarretou o desenvolvimento de uma nova e original ferramenta, desenvolvida paralelamente a esta pesquisa, o aplicativo “**X-MAT - Materiais para o Design**”. Idealizado para ser utilizado de forma remota, para a primeira versão delimitou-se como plataforma digital um aplicativo para iOS (sistema operacional móvel da empresa Apple).

O “**X-MAT - Materiais para o Design**” serviu como aprendizado para inúmeras questões que permeiam o desenvolvimento do método experimental e da análise da experiência do usuário. Primeiramente, o ato de adaptar um material analógico ao formato digital requereu uma série de estudos de uma nova área – a experiência dos usuários (UX), que para fins acadêmicos e de relato da experiência, foram incluídos como resultados desta tese.

Através da parceria entre a Universidade de São Paulo (USP) e a plataforma digital Coursera, a pesquisadora responsável iniciou os estudos na área, com o curso de 6 horas “Introdução ao Design de experiência do usuário” promovido pela *Georgia Institute of Technology* e o curso de 13 horas “Conceitos básicos do Design de UX” do Instituto de Artes da Califórnia. Foram realizados em conjunto exercícios práticos para maior aprofundamento nas questões abordadas nos cursos teóricos.

Após os estudos iniciais, foram desenhados os primeiros esboços (**Figura 98**) do que seria abordado no aplicativo, partindo das análises realizadas nas oficinas de trabalho e outras ferramentas de experiência, como a de Wilkes *et al.* (2015) e Piselli *et al.* (2018). Os esboços foram utilizados para examinar possíveis fluxos para as análises que seriam desenvolvidas, além do cadastro do usuário e pesquisador, cadastro de nova amostra, acesso ao aplicativo, seguimento das análises e conclusão. Buscou-se coerência entre os fluxos, para que o usuário perpassasse por todas as etapas de forma fluída e rápida.

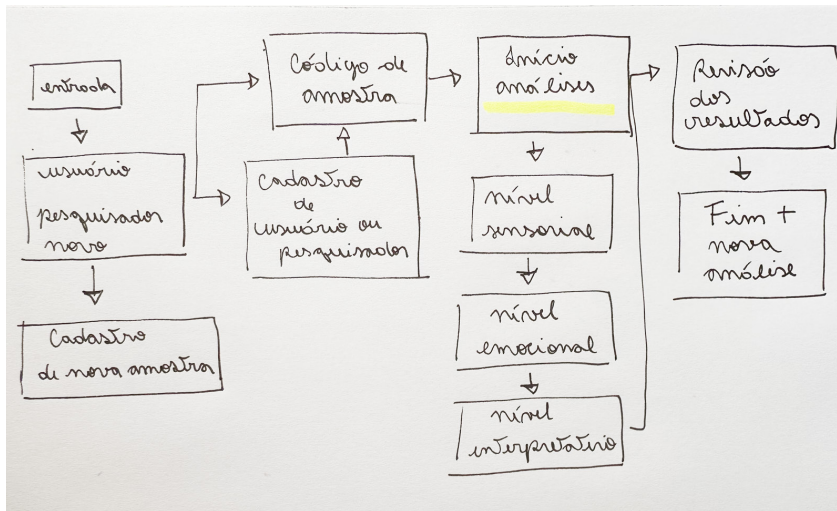


Fig. 98 - Primeiro esboço em baixa fidelidade do aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro (2021).

Com o aprofundamento nos aprendizados das oficinas anteriormente realizadas, optou-se por seguir com as seguintes referências para cada análise que seria realizada no aplicativo (**Quadro 16**). Também se entendeu quais atributos técnicos de um material tal análise poderia ser associada, para então prosseguirmos com as próximas etapas de design de experiência e interface.

Referência	Experiência do usuário	Propriedade do material
Wilkes <i>et al.</i> , (2015)	Análise sensorial	Efusividade térmica
Piselli <i>et al.</i> , (2018)	Análise visual	Brilho
		Cor
		Intensidade
		Rugosidade
		Suavidade

Quadro 16 -

Relação entre análises utilizadas e propriedades do material

Fonte: Monteiro (2021).

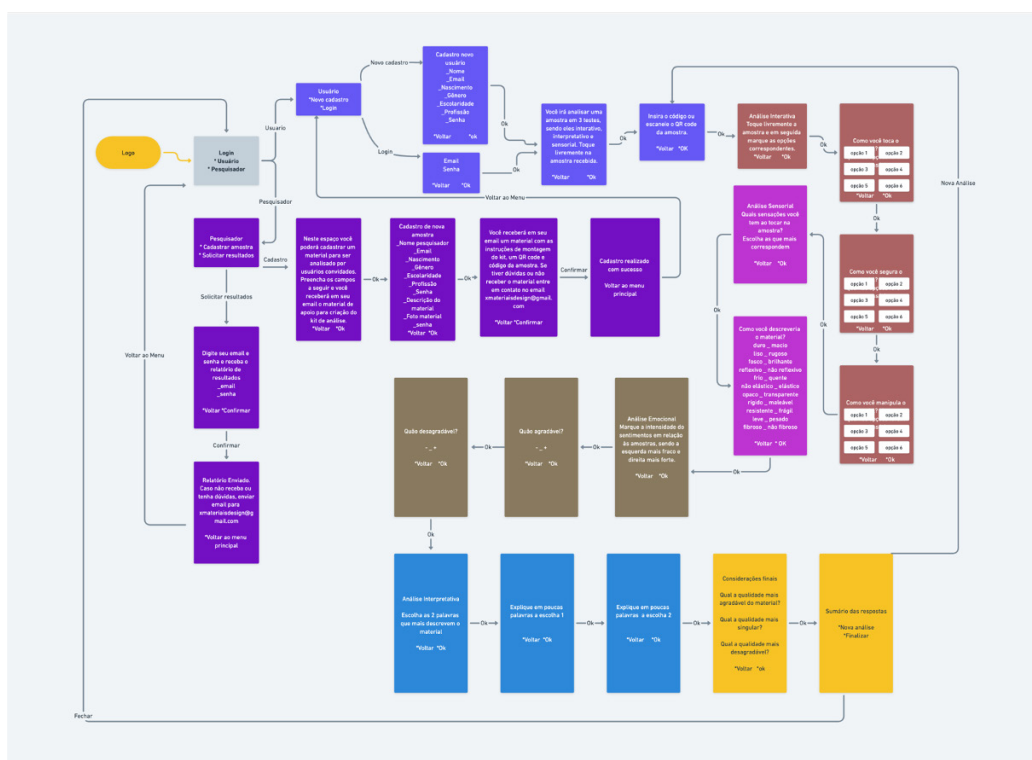
Por conta da subjetividade associada às análises interpretativa e afetiva de Camere e Karana (2018), não é possível correlacionar as mesmas com atributos técnicos do material. É importante mencionar que no desenvolvimento da ferramenta no formato de teste não foi possível o aprofundamento na correlação entre as análises de experiência do usuário e os atributos técnicos do material. Todavia, ressalta-se a importância de ter como referência pesquisas que puderam realizar tais comparações (Wilkes *et al.*, 2015).

Com as definições dos testes, foi desenhado o primeiro fluxograma do aplicativo (Figura 99). Como requisitos de projeto, foram definidos que os fluxos deveriam abranger:

- 1- Tela inicial de boas-vindas;
- 2- Cadastro do usuário e de pesquisador;
- 3- Acesso do usuário e de pesquisador;
- 4- Tela com mensagem explicativa e introdução às análises;
- 5- Análise sensorial e visual;
- 6- Análise emocional;
- 7- Análise interpretativa;
- 8- Considerações finais, com compilação de respostas para os usuários e a possibilidade de solicitação de resultados para pesquisadores.

Fig. 99 - Primeiro fluxograma do aplicativo X-MAT. A figura pode ser acessada via link QR Code para leitura detalhada de cada etapa

Fonte: Monteiro (2021).



Como continuação, iniciaram-se desenhos de esboços de baixa fidelidade no software Figma, em referência ao que havia sido desenhado nos esboços manuais. Buscou-se compreender a aplicação dos fluxos em telas com mais proximidade, sem preocupação em delimitar uma identidade visual ou desenho de interface. Também foram experimentadas possibilidades de adequação das análises previamente realizadas em formato digital, para assimilar a quantidade de telas que cada etapa utilizaria e possibilidades quanto às imagens e textos de apoio. Na **Figura 100**, um exemplo do esboço em baixa fidelidade do aplicativo.

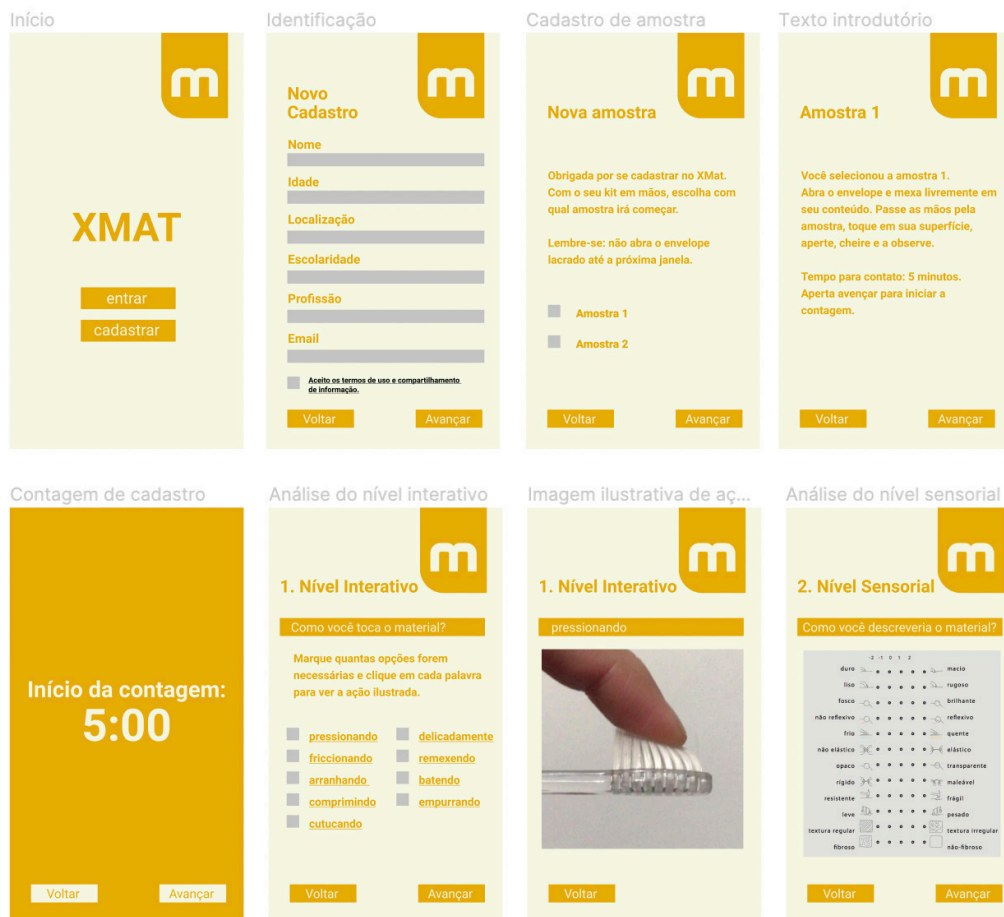


Fig. 100 - Desenho em baixa fidelidade do aplicativo X-MAT
Fonte: Monteiro (2021).

Todas as etapas de trabalho apresentadas podem ser consideradas como etapas de pesquisa para o desenvolvimento do aplicativo. Com estas definições, foi possível iniciar as atividades de formação de equipe e captação de verbas para criação de uma versão teste. É importante enfatizar que o desenvolvimento de aplicativos demanda uma série de profissionais envolvidos, como o designer de experiência, de interface e desenvolvedor. Ademais, é necessário considerar o custo associado à publicação do aplicativo. A título

Como última etapa de desenvolvimento da versão teste do aplicativo, foram definidos os textos de cada tela e a identidade visual do projeto, contando com o design de interface. Nas **Figuras 102 e 103** são apresentados exemplos da identidade visual.

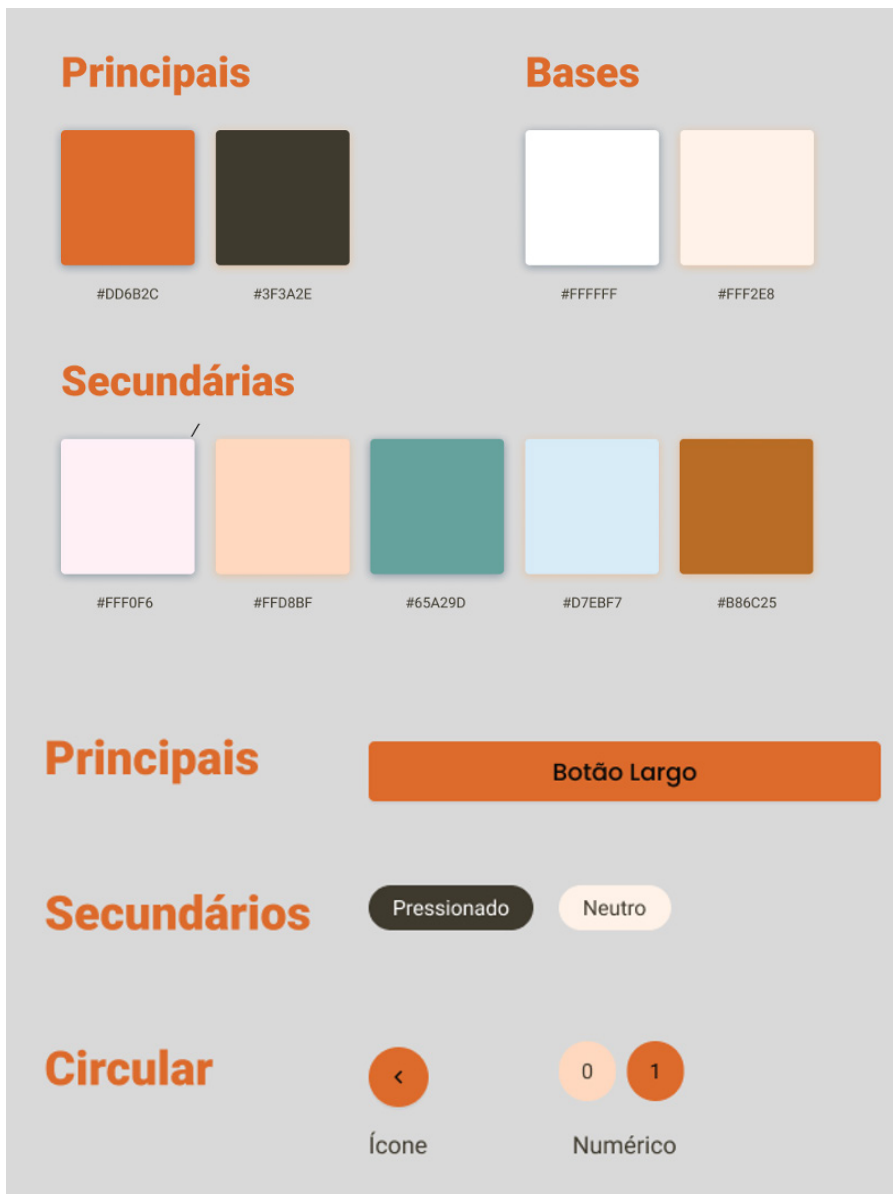


Fig. 102 - Cores do aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)

Fig. 103 - Botões do aplicativo X-MAT

Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)

Por fim, são apresentados os resultados das jornadas que o aplicativo **X-MAT** contempla. É possível cadastrar-se como usuário ou pesquisador, fazer o acesso no aplicativo, solicitar mudança de senha, cadastrar uma nova amostra, realizar leitura de amostra já existente, analisar as amostras em diferentes níveis de experiência, ver os resultados compilados e para os pesquisadores, solicitar resultados. As **Figuras 104, 105, 106, 107 e 108** ilustram as telas finais.

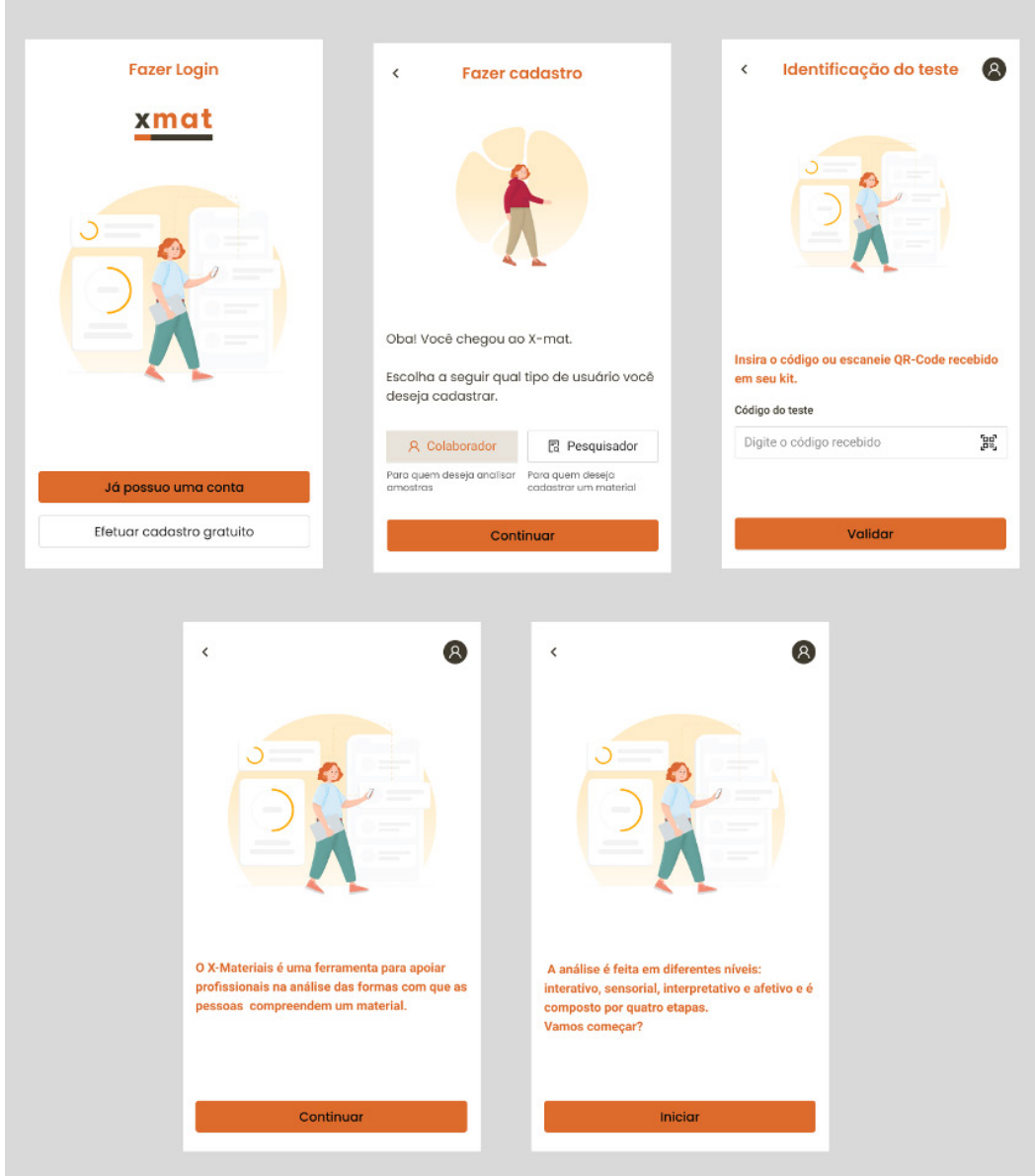
Fig. 104 - Tela de início do aplicativo

Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)



Fig. 105 - Acessos usuários e pesquisadores

Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)



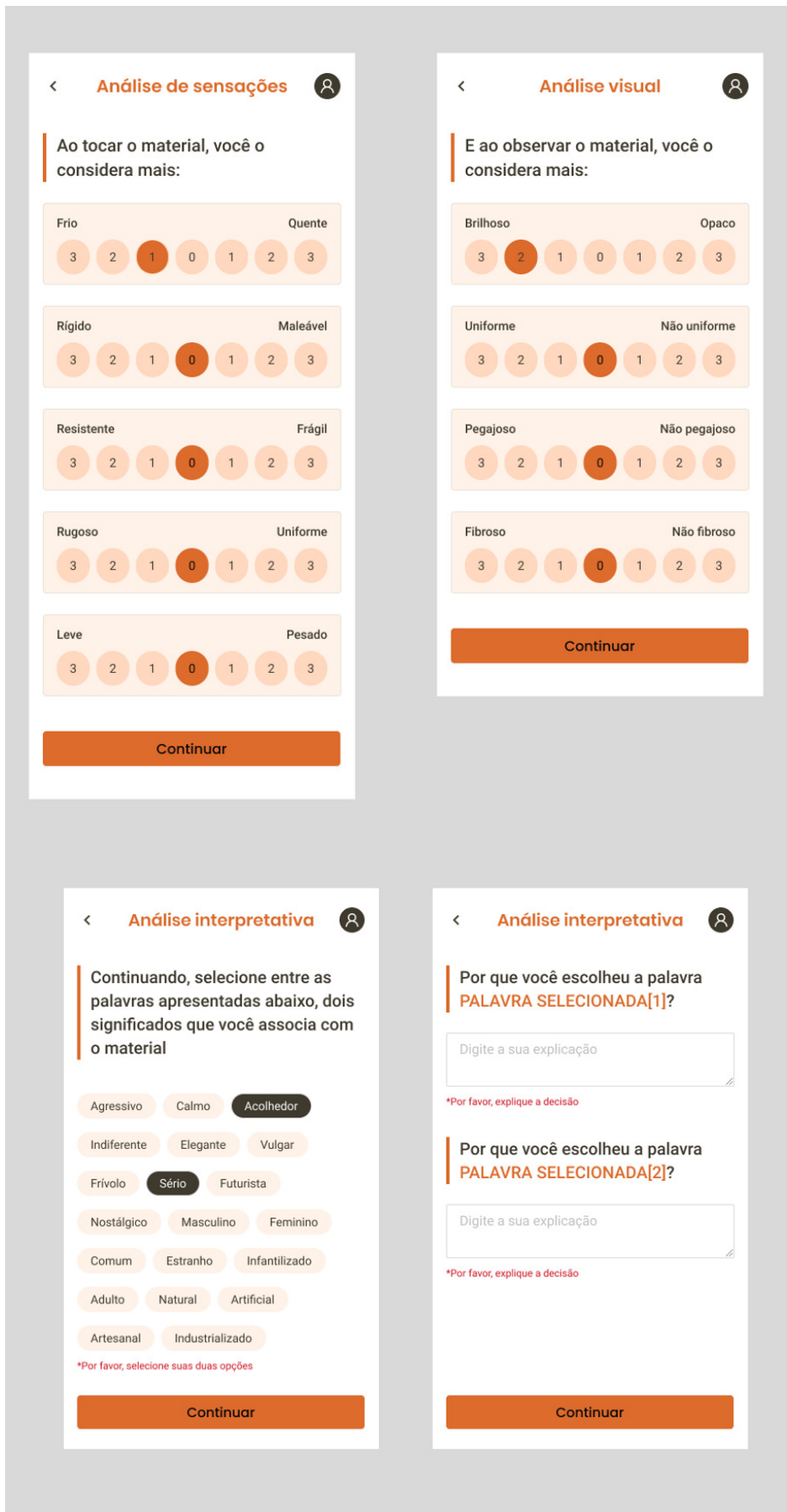


Fig. 106 - Telas de análise sensorial tátil e visual

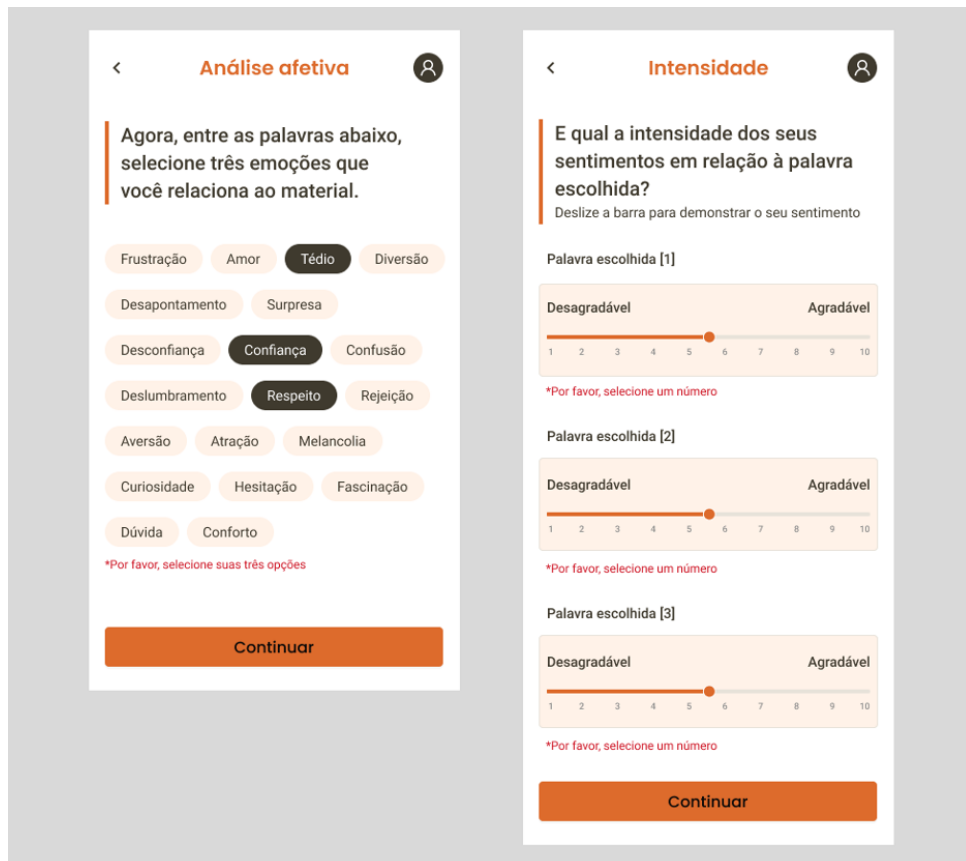
Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)

Fig. 107 - Tela de análise interpretativa

Fonte: Monteiro; Sarmento; Rosa (2021)

Fig. 108 - Tela de análise afetiva

Fonte: Monteiro; Sarmiento; Rosa (2021)



Para compreender a eficácia na navegação dos fluxos e o preenchimento das análises propostas, foram realizados testes com cinco usuários utilizando um modelo virtual do aplicativo no software Figma. Como metodologia foi utilizado o teste de usabilidade moderado, onde um pesquisador-facilitador acompanhou o teste, que teve como tarefas:

- 1- Primeiro acesso ao aplicativo;
- 2- Cadastro de usuário;
- 3- Preenchimento das etapas que compõe a análise da experiência do usuário;
- 4- Visualização dos resultados;
- 5- Discussão sobre o processo e uso do aplicativo.

Como amostragem, foram recrutados três usuários não especializados e que não tinham nenhum contato prévio com a temática dos materiais ou de experiência do usuário, com as idades de 43, 33 e 23 anos. As respostas estão compiladas no Apêndice 5, ao final desta tese.

Os principais aprendizados e achados dos testes dizem respeito ao entendimento dos usuários sobre as análises e termos utilizados. Sobre a finalidade, todos compreenderam que eram análises de um material, mas tiveram dúvidas sobre como seriam utilizadas as análises, onde as respostas seriam armazenadas e o que seria feito com os dados obtidos. Inclusive foi apontado a necessidade de os usuários acessarem novamente os dados posteriormente, como um banco de dados de suas análises sobre diversos materiais.

Sobre os termos utilizados nas análises, foi apontado que algumas palavras não faziam sentido ao se analisar o material, como por exemplo “frívolo”. Citou-se também o ato inusitado de criar afeição por um material e precisar descrever as emoções, já que não é um sentimento comum. Ainda sobre este ponto, um dos participantes relatou sentir-se confuso quanto aos sentimentos abstratos em relação ao material e que suas respostas foram baseadas na memória que tem com aquele tipo de material e não ao material em si.

Por fim, foram citadas questões técnicas dos materiais, como exemplo “durabilidade” e “resistência”, sendo que dois participantes mencionaram essas palavras bem como possíveis aplicações do material em análise. Outra importante observação foram as comparações entre o material estudado e outros já conhecidos. Os participantes realizaram todas as análises levando em consideração que o material analisado era de outro tipo (associaram a uma madeira) e julgando segundo a aplicação que eles acreditavam ser viável.

Com estas análises e observações, percebeu-se a necessidade de revisitar as palavras utilizadas nos testes e incluir fluxos onde o usuário tenha mais explicações da finalidade do aplicativo, além de permitir com que seja possível acessar os resultados de análises anteriormente desenvolvidas. Além disso, também se notou a oportunidade de desenvolver uma análise de qualidade aparente do material, ou seja, explorar como os usuários percebem questões técnicas do material como sua durabilidade e resistência.

Os aprendizados do desenvolvimento do aplicativo e dos testes de usabilidade foram úteis para que uma nova rodada de requisitos fosse elaborada, a fim de gerar uma segunda versão do aplicativo que pudesse contemplar as questões apontadas durante o teste e melhor responder ao objetivo nesta tese, que foi gerar uma versão remota e acessível para os ensaios de experiência do usuário. Reforça-se que esta é apenas uma das ferramentas possíveis para a análise de tais experiências, sendo imprescindível a constante avaliação e evolução das propostas.

Como requisitos para a segunda versão do aplicativo, foram definidos:

- 1- Tela inicial de boas-vindas;
- 2- Explicação sobre a finalidade do aplicativo e dos dados obtidos;
- 3- Cadastro do usuário e de pesquisador;
- 4- Acesso do usuário e de pesquisador;
- 5- Tela com mensagem explicativa de introdução às análises;
- 6- Análise sensorial e visual;
- 7- Análise emocional;
- 8- Análise interpretativa;
- 9- Análise de qualidade aparente;
- 10- Considerações finais, com compilação de respostas para os usuários e a possibilidade de solicitação de resultados para pesquisadores.
- 11- Banco de dados de análises anteriormente realizadas, para consulta de usuários e pesquisadores.

6.1.4

Etapas V, VI e VII: aplicação, apresentação e iteração

Nesta tese foram realizadas especulações projetuais para avaliar a possível aplicação do material desenvolvido, sem aprofundar-se em um projeto de produto real, devido a extensa metodologia desenvolvida que agregou diversas etapas e estudos para sua formulação. Ainda que de forma especulativa, analisou-se como os resultados avaliados podem ser traduzidos em requisitos de projeto e como, por meio de exercícios criativos, o designer pode gerar propostas únicas e inovadoras para os novos materiais.

Para a aplicação especulativa do compósito de tururi, foram perpassadas as seguintes etapas de forma reduzida, tendo como base os resultados obtidos nas etapas anteriores do método **eXpiral**: (1) Definição e análise do problema; (2) Requisitos de projeto (3) Criatividade, com geração de alternativas, planejamento de estilo e projeto

conceitual; (4) Modelo e verificação; (5) Solução. No contexto de um projeto de produto convencional, essas etapas requerem uma série de análises aprofundadas. Destaca-se, portanto, a importância da elaboração cuidadosa dessas etapas para garantir uma aplicação efetiva que atenda às demandas comuns de um projeto.

A primeira parte, definição e análise do problema, foi definida como “Aplicar o novo material compósito de tururi em um produto que reflita a interpretação de seus possíveis usuários e que seja compatível com suas potencialidades determinadas através dos ensaios de caracterização mecânica”. O problema é abrangente, porém menciona dois fatores de extrema importância neste projeto: as questões tangíveis e intangíveis que foram investigadas no método ***eXpiral***.

A definição do problema levou a uma análise que englobou as questões sociais e ecológicas de uma possível solução. Destacam-se alguns pontos considerados durante a elaboração do método, essenciais para o projeto de produto, uma vez que influenciam a obtenção do material, sua transformação em um compósito, os agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida e a qualidade percebida do novo material:

- 1- Pequena produção. O material tururi é encontrado de forma dispersa na região amazônica, não tendo silvicultura conhecida e dependendo da população local para sua extração;
- 2- Dependente de oferta sazonal. Não há disponibilidade todos os meses do ano. Apesar disso, sua extração não implica na derrubada de palmeiras o que é benéfico, pois respeita a resiliência do ecossistema;
- 3- Ligado ao artesanal local. Tradicionalmente, uma pequena comunidade artesão realiza o trabalho de beneficiamento e transformação do material em objetos de forma artesanal. Mesmo que não se objetive realizar o mesmo tipo de produção, é importante aproveitar-se do conhecimento local;
- 4- Requer mão de obra especializada. Sobre sua transformação em compósito, é necessário treinamento para confeccionar este tipo de material, sendo que o tipo de produção por infusão a vácuo não é o mais comum no país;
- 5- Utilização de diversos materiais não reaproveitados para sua construção. Ainda sobre a produção dos compósitos, atenta-se que é preciso custear os materiais para construção do compósito, montar uma pequena oficina e descartar os materiais utilizados de forma

correta;

6- Sobre os materiais compósitos produzidos, uma das faces do compósito é prejudicada com o processo – ou seja, deve-se priorizar no projeto a face com maior apelo visual;

7- Material pode apresentar diferenças – não há como manter qualidade. Esta é uma característica de materiais compósitos desenvolvidos com fibras naturais como o tururi. Não há como estandardizar a produção, pois o material apresenta diferenças naturalmente.

Com tais delimitações, passou-se à análise dos requisitos tangíveis (que dizem respeito às propriedades do material) – mecânicos e físicos. Com a determinação da densidade, teor de umidade, resistência a tração e resistência a flexão conduzidos e apresentados anteriormente (Subitem 6.1.2), foi possível compreender o potencial de aplicação do material com base em comparações com dados de compósitos similares (Pinheiro *et al.*, 2019), (Nurazzi *et al.*, 2020), (Suresh *et al.*, 2021), (Sari *et al.*, 2021), (Chaturvedi *et al.*, 2022), (Rangasamy *et al.*, 2021), (Parvez *et al.*, 2023), (Mahmud *et al.*, 2023) e (Wahg *et al.*, 2023). É possível inferir que o compósito de tururi não possui uma alta carga associada quando comparado a estes outros materiais, já que demonstra resultados similares ou inferiores. Ainda assim, tais dados não são impeditivos e o material pode ser utilizado no Design, sendo necessária análise complementares para saber se a aplicação intencionada está de acordo com os valores determinados.

Para as análises referentes aos atributos intangíveis do novo material compósito, após a avaliação dos dois testes realizados, os termos mais citados foram destacados, assim também como comentários dos participantes que pudessem contribuir na construção da visão de experiência (**Figura 109**). Entre os termos escolhidos, se destacam os sentimentos de nostalgia e acolhimento relacionados ao material. Tais associações se deram principalmente pela comparação com a madeira, mesmo que o material fosse visto como tendo origem fibrosa. São interpretações contraditórias, que explicam, todavia, a surpresa e curiosidade que a maioria dos participantes relatou ao ter o primeiro contato com o material.



Fig. 109 - Resultado dos testes de experiência com usuários

Fonte: Monteiro (2023).

Como primeira etapa de exercício criativo, foi utilizado o modelo de associação de termos de Camere e Karana (2018), onde são apontados os termos utilizados em maior frequência nas duas análises, assim como a intensidade apontada pelos participantes (**Figura 110**). Quando vistos lado a lado, é possível que o designer inicie um processo de comparação e criação de significado, partindo de suas próprias vivências e repertório.

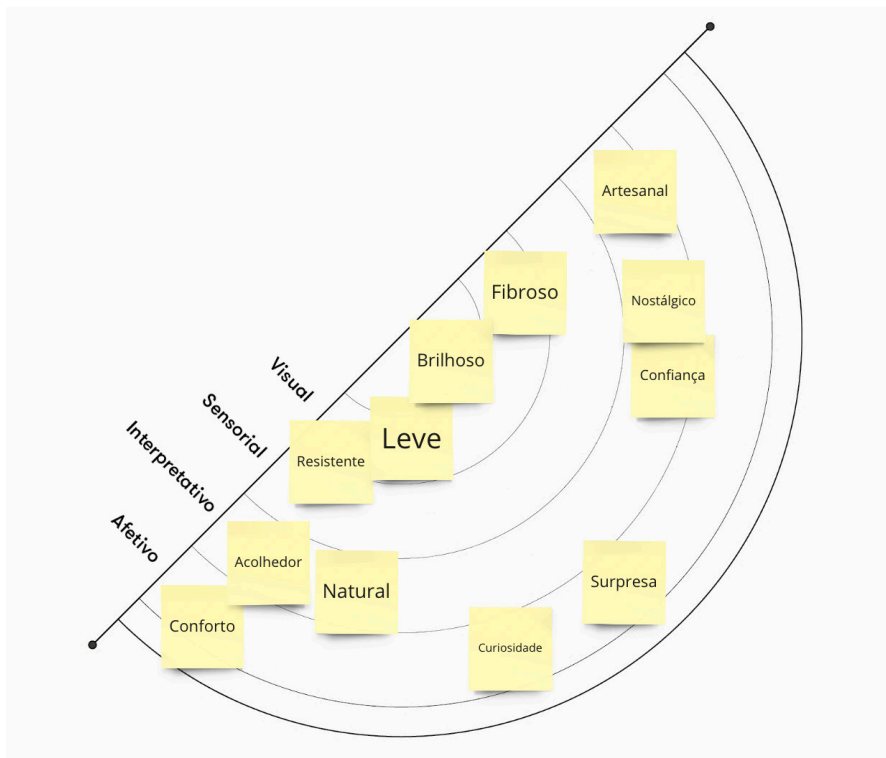


Fig. 110 - Modelo de associação de termos

Fonte: Monteiro (2023). Adaptado de Camere e Karana (2018).

Com todas essas questões pontuadas, ocorreu o segundo exercício de criatividade, visando gerar uma ou mais propostas especulativas que se adequassem às expectativas dos usuários, do designer e também respondessem aos resultados obtidos nos ensaios mecânicos. Foi utilizada a tradicional ferramenta “*Brainstorming*” onde buscou-se elencar livremente alternativas de aplicação, em um tempo pré-determinado. O resultado é apresentado na **Figura 111**.

Fig. 111 -
Brainstorming de
possíveis aplicações

Fonte: Monteiro (2023).



A próxima etapa foi a construção de um painel de referências inspiracionais (**Figura 112**) com as aplicações mencionadas no exercício de *brainstorming*. As etapas foram conduzidas exclusivamente pela pesquisadora proponente da tese, refletindo, por isso, suas preferências visuais em Design. Com o painel foi possível analisar quais imagens possuíam uma maior relação com as questões mencionadas pelos usuários nos testes de experiência e assim chegar a uma solução que mais atendesse às expectativas pontuadas (**Figura 113**). Mais uma vez, tal análise foi motivada por questões subjetivas e associativas da pesquisadora responsável, sendo por isso parte do exercício criativo de geração de propostas.

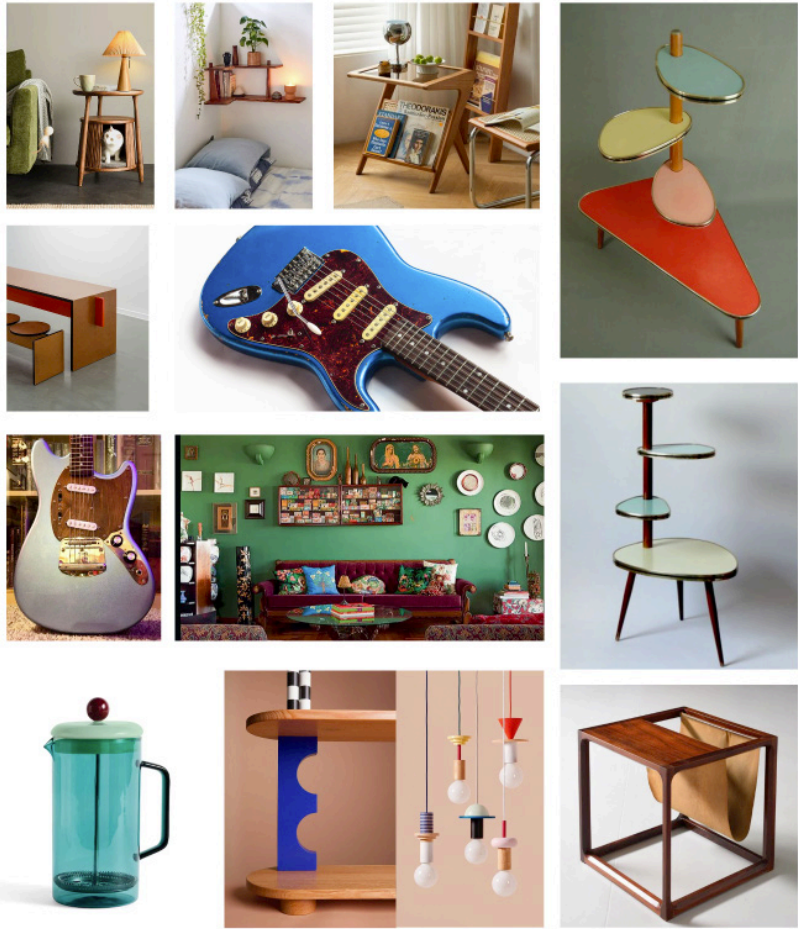
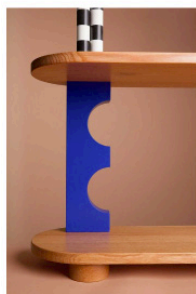


Fig. 112 - Painel semântico de propostas de aplicação

Fonte: Monteiro (2023).



Natural	Artesanal	Curiosidade	Leve	Resistente
Nostálgico	Confiança	Surpresa	Brilhoso	Fibroso



Natural	Nostálgico	Brilhoso	Fibroso
Curiosidade	Surpresa	Resistente	



Natural	Acolhedor	Curiosidade	Brilhoso
Nostálgico	Conforto	Surpresa	Fibroso

Fig. 113 - Associação de produtos e significados pontuados por usuários

Fonte: Monteiro (2023).

Por fim, definiu-se que o produto escudo de instrumento musical (guitarra) atendia aos requisitos delimitados, por ser um produto de alto valor associado, que permite uma pequena produção, reflete as questões interpretativas, afetivas e sensoriais mencionadas, além de suportar os atributos técnicos dos compósitos com fibra de tururi. Um modelo de guitarra *Gibson SG Junior* foi utilizado como experimentação da aplicação (**Figura 114 a 116**), podendo seguir com fidelidade ao desenho técnico do modelo (**Figura 117**). Escolheu-se este modelo devido ao visual nostálgico, elemento que foi mencionado durante os testes de experiência e que condiz com a tipologia de produto selecionada.

Fig. 114 - Compósito aplicado em escudo de guitarra

Fonte: Monteiro (2023).





Fig. 115 - Compósito aplicado em escudo de guitarra

Fonte: Monteiro (2023).

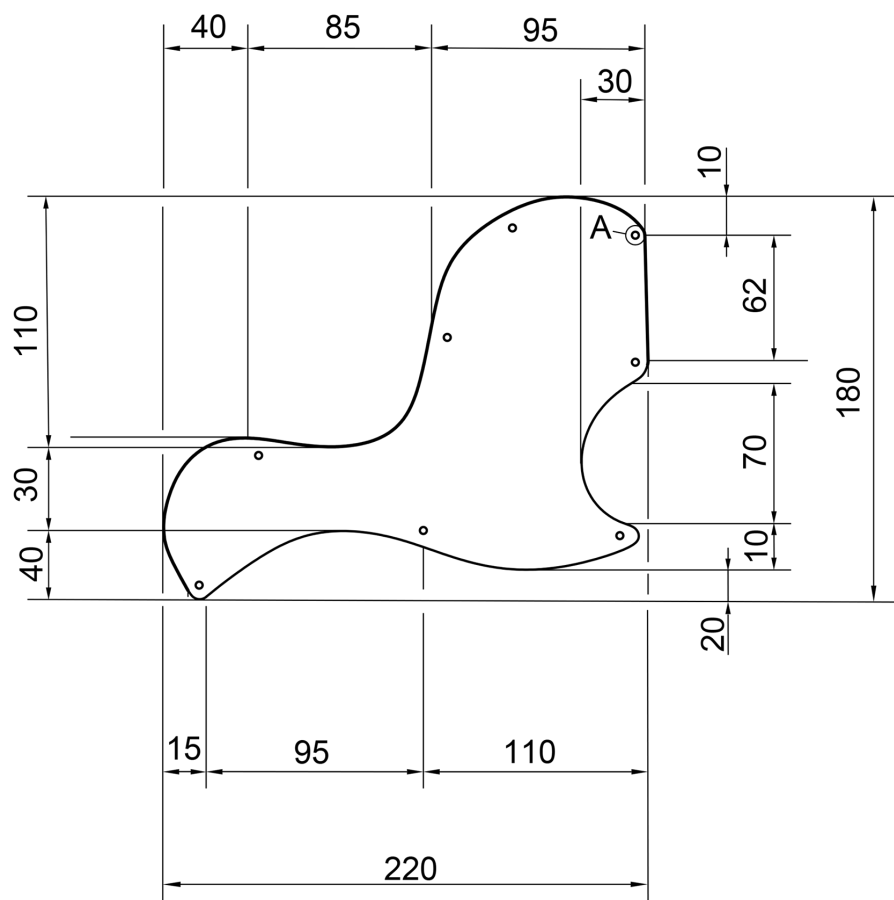


Fig. 116 - Compósito aplicado em escudo de guitarra

Fonte: Monteiro (2023).

Fig. 117 - Desenho técnico do escudo fabricado (em milímetros)

Fonte: Monteiro (2023).



Para produção do escudo foram utilizadas as seguintes ferramentas: lixamento com *flap disk* de esmerilhadeira, lixadeira de tambor e disco, serra fita, furadeira, raspador e polimento com estopa. O escudo foi produzido pelo *luthier* Raony Barbosa Pinheiro, da *Metro Luthieria*, e de acordo com seu relato sobre a trabalhabilidade do material, o processo ocorreu de forma satisfatória com o material apresentando características de trabalho da madeira e do plástico. De acordo com o produtor, foi necessário seguir o veio da fibra para evitar desfibramento (como ocorre com madeira), todavia foi possível utilizar o polimento (como ocorre com plásticos), um ponto bastante positivo no acabamento da peça.

6.1.5

Método eXpiral sintetizado

Após perpassar por etapas de exploração, manipulação, investigação de atributos técnicos, análises da experiência dos usuários, projeto de produto utilizando da criatividade e análise dos resultados para sugestão de aplicação do material, é chegado ao fim da aplicação do método **eXpiral**. Foram organizados quadros os principais achados das etapas elaboradas, no que tange o projeto de compósitos Material 1 - matriz mamona com fibras de tururi; e Material 2 - matriz epóxi com fibras de tururi. O processo foi bastante proveitoso por investigar todas as questões que envolvem o material e pode ser revisitado quando exista necessidade de iteração do projeto.

Novamente, é preciso que os designers que por meio de testes presenciais ou da utilização de ferramentas online, sejam cuidadosos para analisar que tipo de informação os métodos e ferramentas lhe entregam, assim também como as formas de interpretar e compartilhar os resultados. Independentemente da escolha do designer, ele deve ser capaz de explanar seus processos, escolhas para a investigação e os resultados alcançados.

Na **Figura 118** é apresentado o quadro sintetizado dos resultados do material compósito de tururi. Como mencionado nas etapas de trabalho anteriormente explanadas, se buscou compreender como o material base é tradicionalmente utilizado, quem realiza os trabalhos de manipulação e técnicas passíveis de serem aplicadas para o material atualmente. Também menciona vantagens e desvantagens elencados a partir dos resultados obtidos para os compósitos, tanto na caracterização mecânica, física e da experiência dos usuários. É um guia visual para leitura rápida e compreensão generalista do material, que pode ser combinado com outras fontes de dados para dar suporte ao entendimento das questões apresentadas.

Fig. 118 - Resumo das etapas de exploração do material

Fonte: Monteiro (2023).



COMPÓSITO DE TURURI RESINAS EPÓXI E MAMONA

Técnicas de manipulação

Compósito prensa e infusão à vácuo

Processos disponíveis

No material tururi: descoloração e tingimento; no compósito: perfuração, lixamento, polimento e corte.

Quem realiza as manipulações

Artesãos, designers e pesquisadores

Características do novo material

Propriedades físicas comparáveis a outros compósitos poliméricos com fibras vegetais como reforço.

Vantagens e desvantagens

Vantagens

Visualmente parecido com madeira;

O material tururi pode ser alterado para obter novos visuais e propriedades;

Desvantagens

Alto custo de insumos;

Dificuldade na obtenção do espécimes;

Não permite padronização.

Experiência do usuário

Agradável

- Visual natural e artesanal;
- Sentimentos de nostalgia, e conforto;
- Relacionado a memória - casa de familiares e ambientes seguros;
- Curiosidade e surpresa ao primeiro contato;
- Percepção de que o material é leve, resistente e brilhoso.

Desagradável

- Receio de que perca o brilho com o uso;
- Dificuldade de limpeza por conta da rugosidade;
- Necessidade de manutenção;
- Descascamento da superfície;
- Toque áspero;
- Sentimentos de melancolia e tédio;



CAPÍTULO VII

Conclusões

A pesquisa apresentada foi uma intensa jornada pelo design de produtos, engenharia de materiais, ciência dos materiais e a área da experiência dos usuários. Foi gerada pela curiosidade a respeito de um material e evoluiu para um método, que instiga outros pesquisadores e designers de produto a explorarem criativamente novos materiais e todos os aspectos que tangem sua existência. Levantaram-se questões sobre o que um novo material significa, onde ele é originalmente encontrado e utilizado, como é manipulado, quais propriedades ele possui, como é compreendido e como pode se tornar um material viável para o design de produtos.

Em respeito ao atendimento dos objetivos propostos nesta tese, conclui-se que o objetivo geral de **“Propor um método para a criação, avaliação e aplicação em produtos de novos materiais, a partir de experimentos empíricos”** foi alcançado pelo desenvolvimento do método *eXpiral* – que, em suas sete etapas constituintes, perpassa todas as fases de exploração, experimentação e aplicação de novos materiais no design de produtos.

O atendimento aos objetivos específicos é relatado a seguir, avaliando como cada um foi alcançado e como contribuiu para o desenvolvimento das etapas do método *eXpiral*:

1. Desenvolver revisão de literatura sobre os processos de desenvolvimento de materiais por designers e ferramentas para análise da experiência dos usuários:

No referencial teórico apresentado, foram abordados diversos conceitos referentes aos eixos “Materiais e Design” e “Experiência com materiais”, com a consulta a autores, métodos e ferramentas que explicam e exploram tais conceitos, assim como sua relação com designers de produto. A revisão também auxiliou nas etapas iniciais do método eXpiral (Etapas I, II, III e IV), já que ferramentas e métodos explorados puderam ser aplicados nas análises do material, seu desenvolvimento e avaliação da experiência dos usuários.

2. Elaborar e validar procedimentos para seleção de um material a ser explorado, incluindo manipulação, análise mecânica e teste de trabalhabilidade:

As atividades mencionadas foram exploradas individualmente durante a elaboração desta tese de doutorado, culminando nas etapas I, II e III do método eXpiral. Tendo como base as vivências da pesquisadora responsável com a temática, chegou-se à aplicação teste: os novos materiais compósitos (material 1 - matriz mamona com fibras de tururi; e material 2 - matriz epóxi com fibras de tururi). Tal desenvolvimento foi de suma importância a pesquisa, pois permitiu a elaboração de um plano de trabalho que pode ser testado e revisitado para garantir uma produção que fosse capaz de suportar replicabilidade e verificação por ensaios mecânicos e físicos. Além dessas questões, o ineditismo da proposta tem seu próprio valor, com muitas possibilidades futuras para geração de patentes e variações do novo material.

Sobre os resultados de caracterização, demonstrou-se que os Materiais 1 e 2 possuem valores próximos aos de outros compósitos poliméricos com fibras vegetais como reforço, o que implica em utilizações distintas e viabilidade dos materiais para o design. São destacadas também as possibilidades criativas que a presença do designer durante o desenvolvimento dos compósitos permite, já que a fibra de tururi pode ser descolorida, tingida e tratada para que novos visuais possam ser elaborados para a placa de compósito.

Outro ponto de grande valor foram os testes de trabalhabilidade com o material. Ressalta-se que para o design é muito importante que questões referentes ao corte e acabamento de materiais seja explorado e que apesar do número pequeno de testes

realizados e a falta de standardização, é necessário que designers elaborem testes do tipo e sintam-se à vontade para explorar possibilidades e gerar um conteúdo educativo sobre a temática.

3. Desenvolver e testar procedimentos para avaliação da experiência dos usuários com o material desenvolvido, por meio de ferramentas qualitativas (“**Mapa de experiência**” e aplicativo “**X-MAT**”):

Entre os vários ineditismos apresentados nesta tese, menciona-se a tradução e adaptação do **Mapa de experiência** de Camere e Karana (2018) e a criação da ferramenta original, o aplicativo **X-MAT**. Ambos os desenvolvimentos foram necessários para testar a experiência do usuário com o novo material de forma rápida e em diferentes contextos (presencial e remoto). Mostraram-se eficazes ao gerar informações relevantes sobre os materiais explorados, que foram posteriormente aproveitados na geração de ideias para aplicação do material.

4. Elaborar e testar procedimentos para definição dos padrões técnicos e de experiência do material, indicando sua possível aplicação em produto de acordo com os resultados obtidos;

A partir do projeto especulativo formulado como etapa VI do método *eXpiral*, foi possível testar como as análises elaboradas nas etapas anteriores podem ser convertidas em requisitos de projeto e como, por exercícios de criatividade, o designer pode convergir tais requisitos em um projeto de produto. Devido ao tempo disponível não foi possível elaborar modelos e um produto teste para a aplicação proposta, todavia deve ser mencionada a importância de tal etapa e como é preciso a realização de novas investigações da experiência com o material aplicado.

5. Desenvolver uma aplicação teste para o método, a fim de testar as etapas constituintes e sua eficiência na geração de um novo material, bem como sua aplicação no design de produto.

De forma geral, foi imprescindível realizar a aplicação com o compósito de tururi para testar a viabilidade do método, já que o desenvolvimento do material em si levou à pesquisadora a formulação das etapas constituintes do *eXpiral*. A experiência vivenciada em cada uma das etapas foi de suma importância, e como já citado nesta tese, o processo com seus erros e acertos são extremamente relevantes e por isso devem ser validados,

documentados e divulgados.

7.1

Método *eXpiral*

A elaboração de diversas etapas e análises, testes e aplicação para garantir sua viabilidade foram essenciais aos cumprimentos dos objetivos desta tese. A experiência, em seu sentido mais amplo, pode ser verificada em todo o percurso que o método propõe, seja a dos usuários ou do próprio designer. Foi possível verificar como o papel ativo do profissional designer no desenvolvimento de propostas materiais pode levar a caminhos inovadores, instigando o olhar curioso para as possibilidades locais e também às pessoas que interagem com os materiais.

Espera-se que esta pesquisa e método possam ser aplicados em diferentes contextos acadêmicos e profissionais, e que pesquisadores e designers se sintam livres para discutir, aplicar, modificar e evoluir nossa proposta. A disponibilização de todos os materiais mencionados também é de suma importância à democratização das práticas que esta tese propõe, e por essa razão também é incentivado que aqueles que se proporem a modificar o método publiquem, compartilhem e disseminem tal conhecimento.

Diante dos métodos de manipulação e exploração desenvolvidos e explanados, espera-se que tais etapas de trabalho possam ser replicadas, seja na cidade de Muaná – PA ou em uma grande capital, como São Paulo – SP. É um desejo que estudantes, designers e outros profissionais criativos possam olhar o seu entorno e imaginar como poderiam transformar os materiais em propostas únicas e inovadoras. É um exercício corajoso trabalhar de maneira interdisciplinar e inserir-se em áreas onde tradicionalmente o design de produtos não encontra espaço, porém existem inúmeras possibilidades que um trabalho em conjunto pode proporcionar, até mesmo formas de mudar realidades através da curiosidade e criatividade.

A respeito da inserção do designer de produtos em áreas que comumente não há espaço para a metodologia projetual, também é possível refletir como os anos de pesquisa, trabalho e investigação dedicados a uma pesquisa são importantes para que gerar espaços para essas associações entre áreas. Muito ainda há a ser explorado nesse sentido, porém passos iniciais, como esta tese e método apresentados, podem auxiliar nestes avanços. Destaca-se também que as caracterizações apresentadas são uma

pequena parte de muitas possibilidades que existem para a exploração de materiais, e que o trabalho interdisciplinar é de extrema importância para uma efetiva análise de dados, aplicação e evolução das técnicas trabalhadas.

7.2.

Aplicação experimental

Como já mencionado, a aplicação experimental foi de grande valia para explorar novas facetas de um material. Para o trabalho de construção das placas de compósito, foram testadas novas técnicas, já que foi necessário adaptar o processo de fabricação artesanal a uma nova realidade de pesquisa.

Sobre a aplicação em si, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, principalmente o Material 2 – matriz epóxi com fibras de tururi. Destaca-se também os resultados obtidos para o Material 1, que mesmo sendo inferiores ao de matriz epóxi com fibra de tururi, são similares e por isso muito importantes por representarem uma condição mais sustentável por conta da utilização de uma resina de origem vegetal. Ainda sobre os resultados de ambos os materiais, também deve ser mencionado o aumento da tensão de ruptura quando as fibras de tururi estão dispostas paralelamente em comparação as transversais, que pode ser aproveitado no projeto de futuros produtos.

A construção dos materiais, através do processo de infusão a vácuo, é inédita, e por essa razão também se conclui que foi possível construir um novo material com muitas possibilidades ecológicas, sociais e criativas, e que futuras pesquisas e trabalhos podem e devem se beneficiar deste estudo para gerar propostas inovadoras. O Material 2 – fibra de tururi e resina epóxi também apresenta muitas possibilidades quanto a sua formulação, já que tal resina é facilmente encontrada e pode ser combinada com outras fibras vegetais, para a criação de novos materiais sustentáveis.

7.3

Futuros trabalhos

Partindo de todas as etapas e ineditismos gerados no desenvolvimento do método *eXpiral*, da criação do novo material e do aplicativo para apreensão da experiência dos usuários **X-MAT**, listam-se futuros trabalhos que podem ser realizados para aprofundar questões apresentadas e disseminar conhecimento quanto as temáticas apresentadas.

Primeiramente, quanto ao método **eXpiral**, novas aplicações com distintos materiais podem ser realizadas para testar sua viabilidade, alterações e sua própria evolução enquanto método. Quaisquer que sejam os resultados obtidos, por sua natureza a elaboração gera novos e inéditos resultados.

Em relação aos materiais compósitos Material 1 - matriz mamona com fibras de tururi; e Material 2 - matriz epóxi com fibras de tururi, também há muitas possibilidades quanto a investigação de suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, químicas e elétricas. Tais pesquisas podem ser elaboradas em conjunto com a ciência e engenharia de materiais, para gerar um banco de dados completo para o novo material. Além disso, novos formatos de compósitos podem ser testados, incluindo formas sinuosas que são muito importantes para o design de produto e possíveis de serem desenvolvidas com o método de infusão a vácuo apresentado.

Para as ferramentas de investigação da experiência do usuário, também é recomendado o aprofundamento e novas revisões, com base no conhecimento adquirido em suas aplicações e dos comentários dos participantes. A ferramenta **mapa de experiência** pode ser revisitada quanto à tradução dos termos e formato físico. Para o aplicativo **X-MAT**, também há possibilidades para a elaboração das análises, podendo ser incluídas questões visuais, novos formatos para armazenamento e análise dos dados, assim também como elaboração de relação com questões quantitativas.

Por fim, também são mencionadas as possibilidades de aplicação prática dos materiais desenvolvidos nesta tese em novos projetos, podendo adentrar áreas totalmente novas e gerar propostas inovadoras para o design de produtos. Espera-se que designers se sintam encorajados a conhecer e trabalhar com este novo material, e que seja possível observar seu aprimoramento ao longo do tempo.

Referências

AGÊNCIA PARÁ. Estado inaugura fábrica de biojoias durante festival do camarão em Muaná. **Agência Pará**, 08 jun. 2019. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/13195/estado-inaugura-fabrica-de-biojoias-durante-festival-do-camarao-em-muana>. Acesso em 18 set 2019.

AKIN, F.; PEDGLEY, O. Sample libraries to expedite materials experience for design: A survey of global provision. **Materials and Design**, v. 90, p. 1207-1217, 2014.

AMAHD, M. N.; ISHAK, M. R.; TAHA, M. M.; MUSTAPHA, F.; LEMAN, Z.; IRIANTO, I. Mechanical, thermal and physical characteristics of oil palm (*Elaeis Guineensis*) fiber reinforced thermoplastic composites for FDM – Type 3D printer. **Polymer Testing**, n. 120, 107972, 2023.

APPLE. Suporte. **Apple Developer**, 2023. Disponível em: <https://developer.apple.com/pt/support/compare-memberships>. Acesso em: 20 dez. 2022.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Tradução de Arlete Simille. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

BALICK, M.J. Amazonian oil palms of promise: a survey. **Economic Botany**, v.33, n.1, p.11-28, 1979.

BISARIA, H. *et al.* Effect of Fibre Length on Mechanical Properties of Randomly Oriented Short Jute Fibre Reinforced Epoxy Composite. **Materials Today: Proceedings**, 4th International Conference on Materials Processing and Characterization. v. 2, n. 4, p. 1193-1199, 2015.

BLACKBURN, R.S. **Biodegradable and Sustainable Fibres**. Cambridge: The Textile Institute Woodhead Publishing Limited, 2005. 456p.

BOLLINO, F.; GIANNELLA, V.; ARMENTANI, E.; SEPE, R. Mechanical behavior of chemically-treated hemp fibers reinforced composites subjected to moisture absorption. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 22, p.762-775, 2023.

BONSIEPE, G. **Design, Cultura e Sociedade**. São Paulo: Blucher, 2011.

BONSIEPE, G. **Design: como prática de projeto**. São Paulo: Blucher, 2012.

BRASIL. Lei nº 14.017, de 29 de junho de 2020. Dispõe sobre as ações emergenciais para o enfrentamento da crise causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 e da pandemia da covid-19. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 jun. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14017.htm,

CALLISTER, Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CALEGARI, E.; OLIVEIRA, B. Aspectos que influenciam a seleção de materiais no processo de design. **Arcos Design**, v. 8 n.1, p. 1-19, 2014.

CAMERE, S.; KARANA, E. Experiential Characterization of Materials: toward a toolkit. *In*: STORNI, C.; LEAHY, K.; MCMAHON, M; LLOYD, P; BOHEMIA, E. (Eds.). **Design as a catalyst for change - DRS International Conference 2018**. Limerick, Ireland: DRS, 2018. 22 p. Disponível em: <https://doi.org/10.21606/drs.2018.508>. Acesso em: 28 out. 2023

CHATURVEDI, R.; PAPPU, A.; TYAGI, P.; PATIDAR, R.; KHAN, A.; MISHRA, A.; GUPTA, M. K.; THAKUR, V. K. Next-generation high-performance sustainable hybrid composite materials from silica-rich granite waste particulates and jute textile fibres in epoxy resin. **Industrial Crops e Products**, n. 177, 114527, 2022.

CHEN, C.; WANG, L.; BU, X.; FENG, Q.; LI, SUIYI; XU, Z.; LI, D. Construction of high-strength aligned bamboo fibre/high density polyethylene composites. **Materials Today Communications**, v. 34, 105037, 2023.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de Pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Penso, 2021.

CRIPPA, G.; ROGNOLI, V.; LEVI, M. Materials and emotions: A study on the relations between materials and emotions in industrial products. *In*: **Out of Control: Proceedings of 8th International Design and Emotion Conference, Design and Emotion Society**. Central Saint Martins College of Arts & Design, London, England., 2012. p. 1-9.

DESMET, P.; HEKKERT, P. Framework of Product Experience Human-Product Interaction. **International Journal of Design**, v. 1, n. 1, p. 13-23, 2007.

DIAS, M. R. A. C. **Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatus**. 2009. 368 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

DOORDAN, D. P. On Materials. **Design Issues**, v. 19, n. 4, p. 3-8, 2003.

E-COMPOSITES. Hex135 Slow. **E-composites**, 2021. Disponível em: https://www.e-composites.com.br/hex135_slow/p. Acesso em: 28 set. 2021.

EDWARDS, K. Interaction between Functional and Human-Centered Attributes in Materials Selection. *In*: KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. (Eds.). **Materials experience: Fundamentals of materials and design**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 2014. p. 287-299.

FASHION SCHOOL DAILY. Material Connexion: The Adult Playground of Design. **Fashion School Daily**: Academy Of Art University, 03 out. 2018. Disponível em: <https://fashionschooldaily.com/material-connexion-adult-playground-design/45518/>. Acesso em: 14 dez. 2018.

FAUCHEU, J. *et al.* Experimental setup for visual and tactile evaluation of materials and products through Napping® procedure. **Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15)**, Milan, Italy, v. 9, 2015. p. 129-138.

IORE, V.; DI BELLA, G.; VALENZA, A. The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 68, 2015, p. 14-21.

FOLHA DE S.PAULO. **Ranking Universitário Folha**. São Paulo: Folha de S.Paulo, 2019. Disponível em: <https://ruf.folha.uol.com.br>. Acesso em: 2 ago. 2022.

GIACCARDI, E.; KARANA, E. Foundations of Materials Experience: An approach for HCI. *In*: **CHI'15: Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems**, 2015, p. 2447-2456

GIBSON, J. J. **The Theory of Affordances**: The Ecological Approach to Visual Perception. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, D. A. C.; MIRANDA, E. H. N.; VELOSO, M. C. R. A.; SILVA, M. G.; FERREIRA,

G. C.; MENDES, L. M.; JUNIOR, J. B. G. Production and characterization of recycled low-density polyethylene/ amazon palm fiber composites. **Industrial Crops & Products**. 201, 116833, 2023.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GUPTA, M. K.; SRIVASTAVA, R. K. Tensile and Flexural Properties of Sisal Fibre Reinforced Epoxy Composite: A Comparison between Unidirectional and Mat form of Fibres. **Procedia Materials Science**, v. 5, p. 2434-2439, 2014.

HAUG, A. Acquiring materials knowledge in design education. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 29, n. 2, 2019, p. 405-420,

HEKKERT, P.; KARANA, E. Designing Material Experience. *In*: KARANA, E., PEDGLEY, O., & ROGNOLI, V. (Ed.). **Materials experience**: Fundamentals of materials and design. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 2014. p. 3-13.

IMPERVEG. Disponível em: <https://imperveg.com.br>. Acesso em: 13 mai. 2021

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL ÁGATA. **Editais de Moda e Design – Lei Aldir Blanc Pará**. Belém, Pará, 28 dez. 2020. Disponível em: <https://institutoagata.com.br/wp-content/uploads/2018/03/Editais-de-Moda-e-Design.pdf>. Acesso em: 28 de out. de 2023.

JUMAIDIN, R.; WHANG, L. Y.; ILYAS, R. A.; HAZRATI, K. Z.; HAFILA, K. Z.; JAMAL, T. Effect of durian peel fiber on thermal, mechanical, and biodegradation characteristics of thermoplastic cassava starch composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. 250, 126295, 2023.

KANDACHAR, P. Materials and Social Sustainability. *In*: KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. (Eds.). **Materials experience**: Fundamentals of materials and design. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 2014. p. 91-104.

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

KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. Materials experience: descriptive categories in materials appraisals. *In*: HORVÁTH, I.; RUSAK, Z. (Eds.). **Proceedings of the 17th**

International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE

2008., Izmir, Turkey. Delft: Delft University of Technology/Middle East Technical University, 2008. p. 1-15.

KARANA, E.; HEKKERT, P. User-material-product interrelationships in attributing meanings. **International journal of design**, v. 4, n. 3, 2010, p. 43-52.

KARANA, E.; HEKKERT, P.; KANDACHAR, P. A tool for meaning driven materials selection. **Materials and Design**, v. 31, n. 6, 2010, p. 2932-2941.

KARANA, E.; BARATI, B., ROGNOLI, V.; VA-DER-LAAN, A. Z. Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences. **International Journal of Design**, v. 9, n. 2, 2015, p. 35-54.

KARTHIK, A.; D, J. D. J.; VIJAYAN, V.; AHMAD, Z.; RAJKUMAR, S.; SHARMA, S.; SHARMA, K. P.; SINGH, R.; LI, C.; ELDIN, S. M. Study on the physicomaterial, fracture-deformation, interface-adhesion, and water-absorption properties of twill fabric cotton-bamboo/epoxy composites. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 24, 2023, p. 8429-8442.

KASWELL, E. R. **Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles**. Cambridge, Estados Unidos: Massachusetts Institute of Technology (MIT) / Wellington Sears Company, 1963. 757 p.

KOZLOWSKI, R.; BARANIECKI, P.; BARRIGA-BEDOYA, J. Bast fibres (flax, hemp, jute, ramie, kenaf, abaca). In: BLACKBRUN, R. S. (Ed.). **Biodegradable and sustainable fibres**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited / The Textile Institute, 2005, cap. 2, p. 36-88.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. Barueri: Atlas., 2021.

MAHMUD, M. A. M.; ISLAM, M. D.; RABBI, S. M. F. Analysis of epoxy composites reinforced with jute, banana, and coconut fibers and enhanced with Rubik's layer: Tensile, bending, and impact performance evaluation. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, n. 147, 106151, 2023.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. 1. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São

Paulo, 2002.

MANZINI, E. **A Matéria da Invenção**. Lisboa: Porto Editora, 1993.

MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade**: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 104 p.

MATERIAL CONNEXION. Disponível em: <https://www.materialconnexion.com>. Acesso em: 10 out. 2023.

MATERIALIZE. Disponível em: <http://www.materialize.fau.usp.br>. Acesso em: 10 out. 2023.

MATERIALS EXPERIENCE LAB. Disponível em: <https://materialsexperiencelab.com>. Acesso em: 19 jan. 2019.

MENDONÇA, P. T. R. **Materiais compósitos e estruturas sanduiche**: projeto e análise. 2. ed. Florianópolis: Orsa Maggiore, 2019.

MIDANI, M. *et al.* Effect of structural parameters on the impact properties of multilayer composites from Tururi palm (*Manicaria saccifera* Gaertn.) fibrous material. **Journal of Natural Fibers**, v. 17, n. 2, 2018.

MONTEIRO, A. S. **Tururi (Manicaria saccifera Gaertn.)**: caracterização têxtil, processos e técnicas artesanais em comunidade local amazônica (PA - Brasil). 2016. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MONTEIRO, A. S.; DANTAS, D.; BARUQUE-RAMOS, J.; YOJO, T. Compósito De Fibra De Tururi: Confecção E Potencialidade Como Material Sustentável. **MIX Sustentável**, [S.l.], v. 7, n. 4, p. 161-172, set. 2021.

MONTEIRO, A.; DANTAS, D.; YOJO, T. Preparation of Amazonian Palm Tree Fiber (*Manicaria saccifera* Gaertn.) for Composite Materials. **U.Porto Journal of Engineering**, v.7, n.2, p. 31-26, 2021.

MONTEIRO, A. S.; BARUQUE-RAMOS, J. Amazonian Tururi Palm Fiber Material (*Manicaria saccifera* Gaertn.). In: FANGUEIRO, R.; RANA, S. (Eds.). **Natural Fibres**: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications. Germany: RILEM Bookseries, 2016. p. 127-138.

MONTEIRO, A. S.; SARMENTO, M.; ROSA, P. **X-MAT**. Versão 2.0.0. São Paulo: 2021.
Disponível em: <https://www.apple.com/br/app-store/>.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. D. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência educ.**, Bauru, v. 12, n. 1, 2006, p. 117-128.

MUNARI, B. **Das Coisas Nascem Coisas**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

MUNIZ, M. D. S. Sistema háptico, autorregulação e movimento. **Repertório**, [S. l.], v. 1, n. 31, 2018.

NIELSEN NORMAN GROUP. The Definition of User Experience (UX). **Nielsen Norman Group**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience>.
Acesso em: 6 out. 2023.

NORMAN, D. A. **Design Emocional**: por que adoramos (ou detestamos) os objetos do nosso dia-a-dia. Rio de Janeiro: Rocco, 2008

NURAZZI, N. M.; KHALINA, A.; CHANDRASEKAR, M.; AISYAH, H. A.; RAFIQAH, S. A.; ILYAS, R. A.; HANAFEE, Z. M. Effect of fiber orientation and fiber loading on the mechanical and thermal properties of sugar palm yarn fiber reinforced unsaturated polyester resin composites. **Polimery**, v. 2, n. 65, 2020.

OLIVEIRA, A. K. F. **Estudo da viabilidade técnica de utilização do compósito poliuretano de resina de mamona e fibra de ubuçu na fabricação de pisos e revestimentos**. 2011. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, A. K. F.; D'ALMEIDA, J. R. M. Description of the mechanical behavior of different thermoset composites reinforced with *Manicaria saccifera* fibers. **Journal of Composite Materials**, v. 48, n. 10, p. 1189-1196, 2013.

PAPANEK, V. J. **Design for the Real World**: Human Ecology and Social Change. London: Thames & Houdson, 1985.

PARÁ. Decreto nº 1.025, de 1º de julho de 2020. Dispõe sobre ações emergenciais destinadas ao setor cultural instituídas pela Lei Federal nº 14.017, de 29 de junho de 2020, a serem aplicadas no âmbito da administração pública estadual. **Diário Oficial do Estado do Pará**, Belém, 1º jul. 2020.

PARISI, S.; ROGNOLI, V.; SONNEVELD, M. Material Tinkering. An inspirational approach for experiential learning and envisioning in product design education. **The Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S1167-S1184, 2017.

PARISI, S.; ROGNOLI, V.; AYALA-GARCIA, C. Designing materials experiences through passing of time - Material driven design method applied to mycelium-based composites. *In: Celebration & Contemplation: Proceedings of the 10th International Conference on Design and Emotion 2016*. The Design and Emotion Society, 2016, p. 239-255.

PARVEZ, M.M.H.; RUPOM, S.M.N.; ADIL, M.M.; TASNIM, T.; RABBI, M.S.; AHMED, I. Investigation of mechanical properties of rattan and bamboo fiber reinforced vinyl ester composite material for automotive application. **Results in Materials**, n. 19, 100437, 2023.

PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V.; KARANA, E. Materials experience as a foundation for materials and design education. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 26, n. 4, 2016, p. 613-630.

PINHEIRO, M. A.; GOMES, L. G.; DA SILVA, A. C. R.; CANDIDO, V. S.; REIS, R. H. M.; MONTEIRO, S. N. Guaruman: a natural Amazonian fiber with potential for polymer composite reinforcement. **Materials Research**, v. 22, 2019, p.1-8.

PINTEREST. Disponível em: <https://br.pinterest.com>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PISELLI, A. *et al.* Development and evaluation of a methodology to integrate technical and sensorial properties in materials selection. **Materials and Design**, v. 153, 2018, p. 259-272.

POLIMI. **Materioteca - Biblioteche ed Archivi**. Disponível em: <https://www.biblio.polimi.it/sedi-e-orari/materioteca>. Acesso em: 6 out. 2023.

PORRAS, A.; MARANON, A. Eco friendly core sandwich panel reinforced with Manicaria fiber and PLA matrix. *In: Proceedings of ECCM15-15th European Conference on Composite Materials*, Venice, Italy. jun. 2012, p. 24-28.

PORTO, J. S.; ANGRIZANI, C. C.; CALEGARI, E. P.; AMICO, S. C.; DUARTE, L. C. Polyester/paper composites: study of manufacturing techniques for product development. **Revista Matéria**, v. 25, n. 3, 2020.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria:

R Foundation for Statistical Computing, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

R STUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development Environment for R. Boston, MA: RStudio, Inc., 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>.

RAMALHETE, P. M. B. S. **Metodologia de seleção de materiais em design**: base de dados nacional. 2012. 315 f. Tese (Doutorado em Design) – Departamento de Comunicação e Arte, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

RANGASAMY, G.; MANI, S.; KOLANDAVELU, S. K. S.; ALSOUFI, M. S.; IBRAHIM, A. M. M.; MUTHUSAMY, S.; PANCHAL, H.; SADASIVUNI, K. K.; ELSHEIKH, A. H. An extensive analysis of mechanical, thermal and physical properties of jute fiber composites with different fiber orientations. **Case Studies in Thermal Engineering**, n. 28, 101612, 2021.

RIBEIRO, M. M.; PINHEIRO, M. A.; RODRIGUES, J. D. S.; RAMOS, R. P. B.; CORRÊA, A. D. C.; MONTEIRO, S. N.; DA SILVA, A. C. R.; CANDIDO, V. S. Comparison of Young's Modulus of Continuous and Aligned Lignocellulosic Jute and Mallow Fibers Reinforced Polyester Composites Determined both Experimentally and from Theoretical Prediction Models. **Polymers**, n. 14, 401, 2022.

RODRIGUES, J. D. S. **Estudo da técnica de infusão de resina aplicada à fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras naturais da Amazônia**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

ROGNOLI, V. A Broad Survey on Expressive-sensorial Characterization of Materials for Design Education. **Metu Journal of the Faculty of Architecture**, v. 27, n. 2, 2010, p. 287-300.

ROGNOLI, V.; BIANCHINI, M.; MAFFEI, S.; KARANA, E. DIY materials. **Materials and Design**, v. 86, 2015, p. 692-702.

ROGNOLI, V.; AYALA GARCÍA, C. Materia emocional. Los materiales en nuestra relación emocional con los objetos. **RChD: creación y pensamiento**, v. 3, n. 4, 2018, p. 1-15.

SARI, N. H.; SUTEJA, S.; FUDHOLI, A.; ZAMZURIADI, A.; SULISTYOWATI, E. D.; PANDIATMI, P.; SINAREP, S.; ZAINURI, A. Morphology and mechanical properties of coconut shell powder-filled untreated cornhusk fibre-unsaturated polyester composites.

Polymer, n. 222, 123657, 2021.

SCHIFFERSTEIN, H. N. J.; WASTIELS, L. Sensing Materials: Exploring the Building Blocks for Experiential Design. In: KARANA, E., PEDGLEY, O., & ROGNOLI, V. (Ed.). **Materials experience: Fundamentals of materials and design**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann. 2014, p. 15-26.

SEYAM, A. F. M., MONTEIRO, A. S., MIDANI, M., BARUQUE-RAMOS, J. Effect of structural parameters on the tensile properties of multilayer 3D composites from Tururi palm tree (*Manicaria saccifera* Gaertn.) fibrous material. **Composites Part B**. v. 111, p. 17-26, 2017.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2003.

SOTOTUKA, I. F. **Design de Materiais - Compósito de fibra têxtil desfibrada advinda de uniformes e resina poliuretana vegetal de mamona para aplicação em Design**. 2018. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

SUPIAN, A. B. M.; JAWAID, M.; RASHID, B.; FOUAD, H.; SABA, N.; DHAKAL, H. N.; KHIARI, R. Mechanical and physical performance of date palm/bamboo fibre reinforced epoxy hybrid composites. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, 2021, p. 1330-1341.

SURESH, A.; JAYAKUMAR, L.; DEVARAJU, A. Investigation of mechanical and wear characteristic of Banana/Jute fiber composite. **Materials Today: Proceedings**, n. 39, 2021, p. 324-330.

SURYHA. Disponível em: <https://refrigeracao.suryha.com.br>. Acesso em: 10 set. 2021.

TEODORO, I. P. P. *et al.* Descrição interpretativa: uma abordagem metodológica viável para a pesquisa em enfermagem. **Escola Anna Nery**, v. 22, n. 3, 19 mar. 2018.

VAN-KESTEREN, I. E. H.; STAPPERS, P. J.; DE BRUIJN, J. C. M. Materials in Products Selection: Tools for including user-interaction in materials selection. **International Journal of Design**, v. 1, n. 3, 2007, p. 41-55.

VINOD, A.; TENGSUTHIWAT, J.; GOWDA, Y.; VIJAY, R.; SANJAY, M. R.; SIENGCHIN, S.; DHAKAL, H. N. Jute/Hemp bio-epoxy hybrid bio-composites: Influence of stacking

sequence on adhesion of fiber-matrix. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, n. 113, 103050, 2022.

WHAG, J.; MADGULE, M.; AWADHANI, L. V. Investigative studies on the mechanical behavior of Jute, Sisal, Hemp, and glass fiber-based composite material. **Materials Today: Proceedings**, n.77, 2023, p.969-976.

WILKES, S. *et al.* Design tools for interdisciplinary translation of material experiences. **Materials and Design**, v. 90, 2015, p. 1228-1237.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015

ZUO, H.; JONES, M.; HOPE, T. A Matrix of Material Representation. *In*: REDMOND, J.; DURLING, D.; DE BONO, A (Eds.). **Futureground - DRS International Conference 2004**, Melbourne, Australia, 2004, p. 247.

Normas Técnicas

Normas da “American Society of Testing Materials” (para teste padrão para densidade e gravidade específica de madeira e materiais à base de madeira). ASTM D2395-17: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. West Conshohocken, 2017. 13 p.

Normas da “American Society of Testing Materials” (para teste padrão para propriedades de tração de materiais compósitos de matriz de polimérica). ASTM D3039/D3039M – 17: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. West Conshohocken, 2017. 13 p.

Normas da “American Society of Testing Materials” (para determinação das propriedades de rigidez e resistência à flexão de compósitos de matriz polimérica). ASTM D7264/D7264M – 15: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. West Conshohocken, 2015. 10 p.

Apêndices

Apêndice 1 – Ma2e4-toolkit original

Apêndice 2 – Ma2e4-toolkit adaptado

Apêndice 3 – Compósitos de tururi

Apêndice 4 – Resultados mapa de experiência

Apêndice 5 – Resultados X-MAT

Apêndice 6 – Desenho técnico

Apêndice 7 – Resultados caracterização física e mecânica

Apêndice 1.

Ma2e4-toolkit original

EXPERIENTIAL CHARACTERIZATION MAP

This map aims to support you in understanding how people experience materials.

1. PERFORMATIVE LEVEL

How do you touch the material?

- caressing
- rubbing
- grazing
- compressing
- poking

How do you move the material?

- flexing
- picking
- lifting
- weighing
- bending

How do you hold the material?

- holding
- seizing
- pinching

2. SENSORIAL LEVEL

How would you describe the material?

-2 -1 0 1 2

hard soft

smooth rough

matte glossy

not reflective reflective

cold warm

not elastic elastic

opaque transparent

tough ductile

strong weak

light heavy

regular texture irregular texture

fibred not fibred

3. AFFECTIVE LEVEL

What emotions does the material elicit?

4. INTERPRETIVE LEVEL

What do you associate with the material?

How would you describe it?

meaning 1

meaning 2

meaning 3

↓ 2 (include the map and open reflections)

intense

unpleasant

5. FINAL REFLECTIONS

Why do you think the material is...?

What is the most pleasant quality of the material?

What is the most disturbing quality of the material?

What is the most unique quality of the material?

INTERPRETIVE VOCABULARY

The Interpretive Vocabulary reflects the meanings associated to materials, literally how we interpret materials.

AFFECTIVE VOCABULARY

The Affective Vocabulary reveals emotions that a material elicits, and how these are portrayed and communicated.

AFFECTIVE LEVEL (list of emotions)

frustration	love
boredom	amusement
disappointment	surprise
reluctance	confidence
confusion	enchantment
rejection	respect
disgust	attraction
melancholy	curiosity
distrust	fascination
doubt	comfort

INTERPRETIVE LEVEL (set of meanings)

OR

aggressive	calm
cozy	aloof
elegant	vulgar
frivolous	sober
futuristic	nostalgic
masculine	feminine
ordinary	strange
sexy	not sexy
toy-like	professional
natural	innatural
hand-crafted	manufactured

Apêndice 2.

Ma2e4-toolkit adaptado

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

começo →

1 NÍVEL INTERATIVO

Como você lida com o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- cutucando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- pincando

2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

2 -1 0 1 2

duro macio

liso rugoso

fosco brilhante

não reflexivo reflexivo

frio quente

não elástico elástico

opaco transparente

rígido maleável

resistente frágil

leve pesado

textura regular textura irregular

fibroso não-fibroso

O que o material faz você fazer?

2 →

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

Como você descreveria isso?

significado 1

significado 2

significado 3

↓ 5 (desdibear o mapa e abrir os itens)

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?

Intenso

desagradável ← 4

agradável

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material 6...?

Qual é a qualidade mais agradável do material?

Qual é a qualidade mais desagradável do material?

Qual é a qualidade singular do material?

5

VOCABULÁRIO AFETIVO

O Vocabulário Afetivo revela emoções que um material provoca, e como elas são retratadas e comunicadas.

NÍVEL AFETIVO

(lista de emoções)

frustração	amor
tédio	diversão
desapontamento	surpresa
desconfiança	confiança
confusão	deslumbramento
rejeição	respeito
aversão	atração
melancolia	curiosidade
hesitação	fascinação
dúvida	conforto

Vocabulário Interpretativo

O Vocabulário Interpretativo reflete os significados associados aos materiais, literalmente como interpretamos os materiais.

NÍVEL INTERPRETATIVO

(conjunto de significados)

OU

agressivo	calmo
acolhedor	indiferente
elegante	vulgar
frívolo	sério
futurista	nostálgico
masculino	feminino
comum	estranho
infantilizado	desgracioso
natural	artificial
artesanal	industrializado

Apêndice 3.1

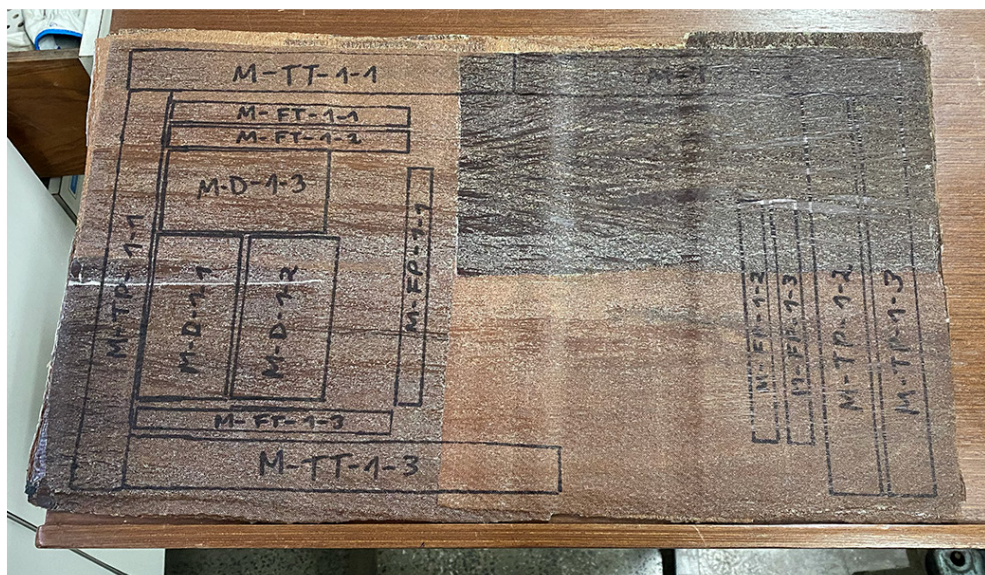
Compósitos de tururi - M1

Dia: 27/10/2021.

Resina de mamona IMPERVEG AGT 1315 e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 56x40 cm. | Filme de vácuo: 70x60 cm. | Filme perfurado: 38x55 cm. | Tela de dispersão: 38x55 cm.

Peso componente A: 333 g | Peso componente B: 666 g | Total peso resina + endurecedor: 1 kg | Peso tururi: 168,52 g



Apêndice 3.2

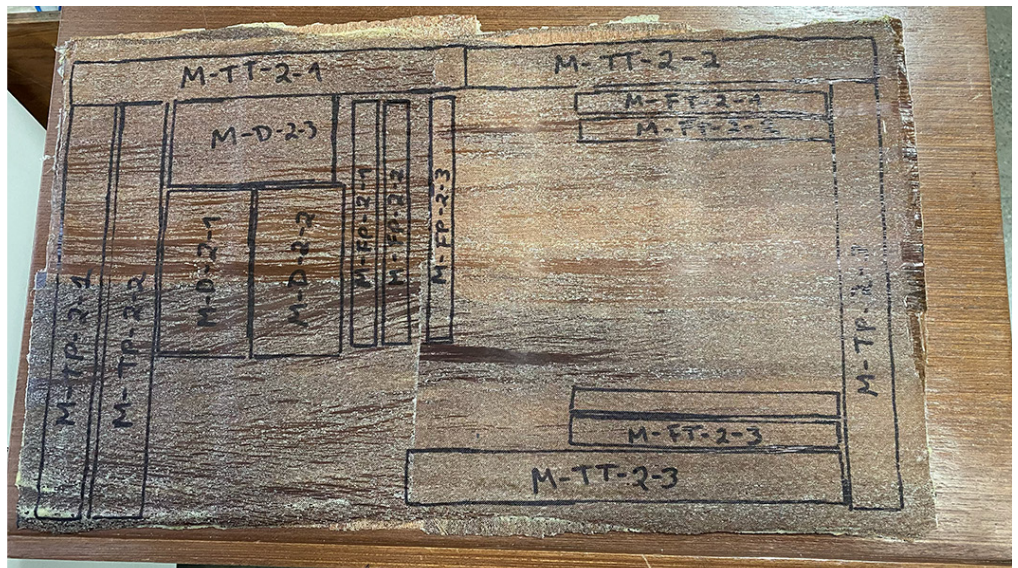
Compósitos de tururi - M2

Dia: 16/11/2021.

Resina de mamona IMPERVEG AGT 1315 e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 55x40 cm. | Filme de vácuo: 70x75 cm. | Filme perfurado: 38x55 cm. | Tela de dispersão: 51x38 cm.

Peso componente A: 333 g | Peso componente B: 666 g | Total peso resina + endurecedor: 1 kg | Peso tururi: 194,09 g



Apêndice 3.3

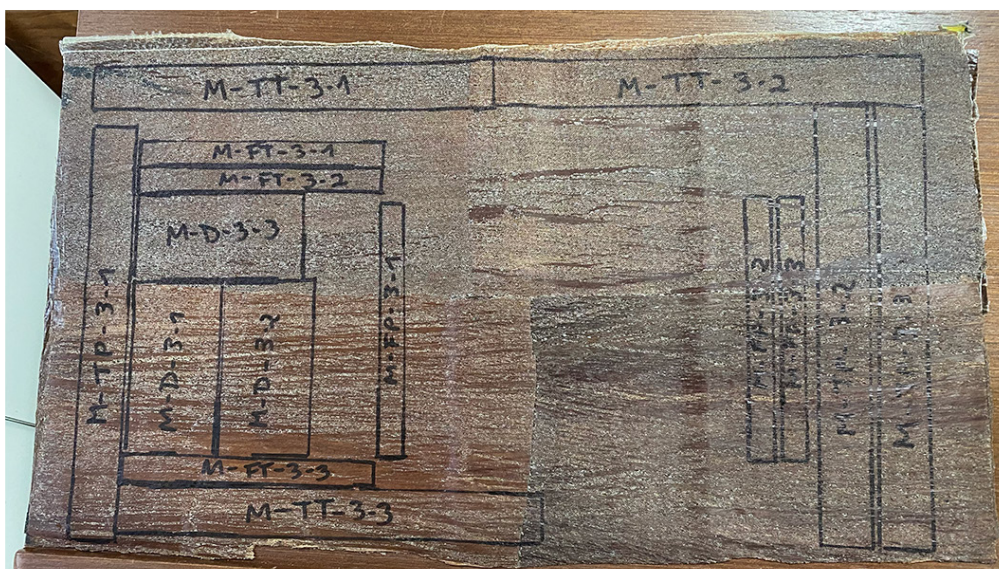
Compósitos de tururi - M3

Dia: 13/08/2022.

Resina de mamona IMPERVEG AGT 1315 e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 55x40 cm. | Filme de vácuo: 70x75 cm. | Filme perfurado: 38x55 cm. | Tela de dispersão: 51x38 cm.

Peso componente A: 347,12 g | Peso componente B: 543,13 g | Total peso resina + endurecedor: 890,25 kg | Peso tururi: 165,91 g



Apêndice 3.4

Compósitos de tururi - E1

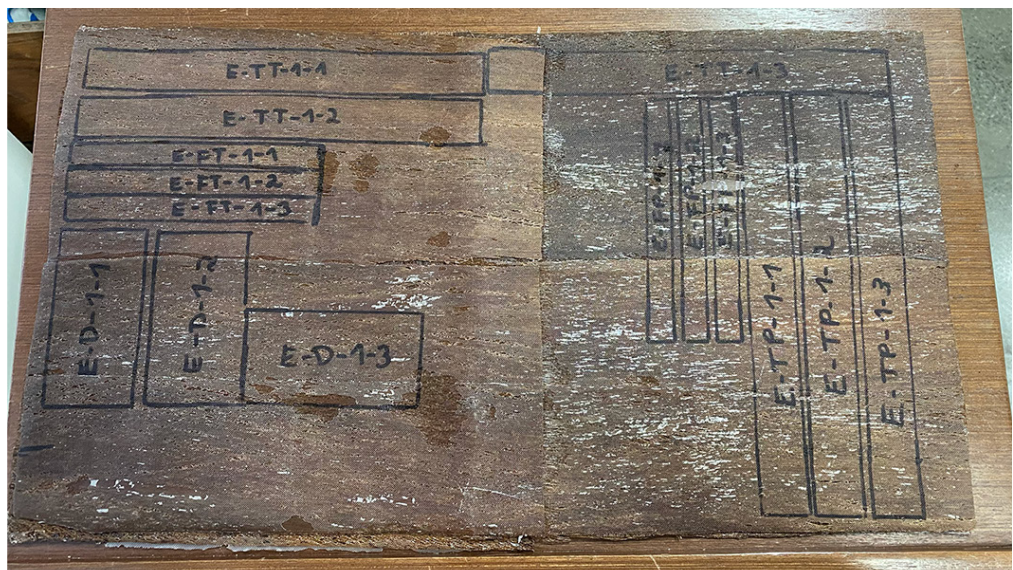
Dia: 04/06/2021.

Resina Epóxi HEX 135 slow e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 56x40 cm | Filme de vácuo: 70x60 cm | Filme perfurado: 38x55 cm | Tela de dispersão: 38x55 cm

Total peso resina + endurecedor: 665 g.

Peso final tururi: 175,97 g.



Apêndice 3.3

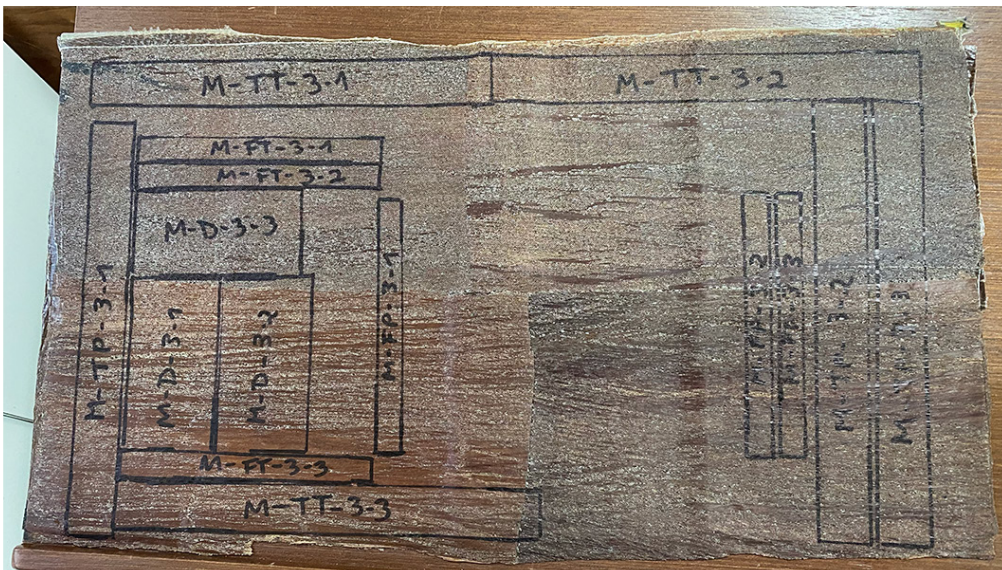
Compósitos de tururi - M3

Dia: 08/13/2022.

Resina de mamona IMPERVEG AGT 1315 e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 55x40 cm. | Filme de vácuo: 70x75 cm. | Filme perfurado: 38x55 cm. | Tela de dispersão: 51x38 cm.

Peso componente A: 347,12 g | Peso componente B: 543,13 g | Total peso resina + endurecedor: 890,25 kg | Peso tururi: 165,91 g



Apêndice 3.4

Compósitos de tururi - E1

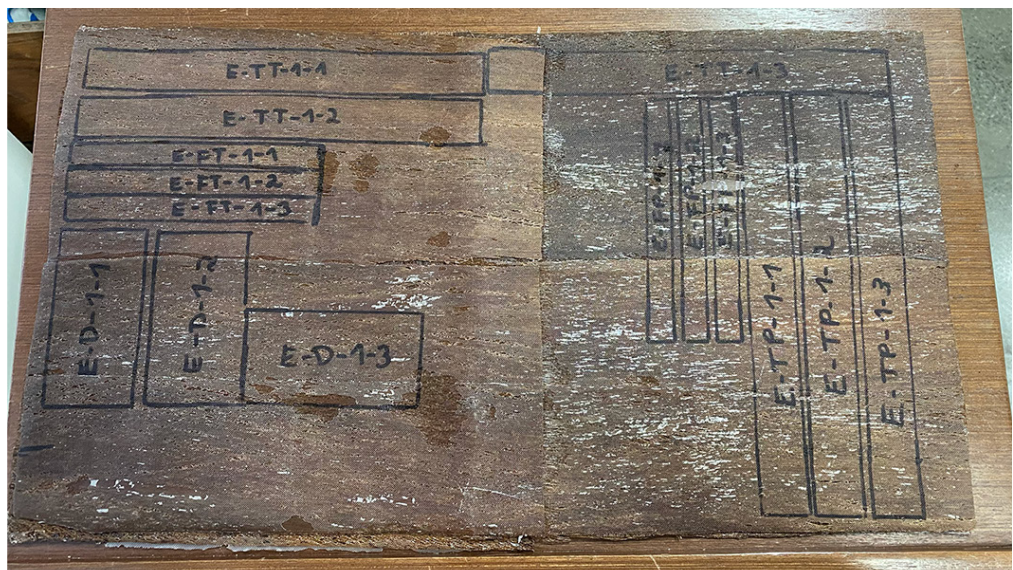
Dia: 04/06/2021.

Resina Epóxi HEX 135 slow e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 56x40 cm | Filme de vácuo: 70x60 cm | Filme perfurado: 38x55 cm | Tela de dispersão: 38x55 cm

Total peso resina + endurecedor: 665 g.

Peso final tururi: 175,97 g.



Apêndice 3.5

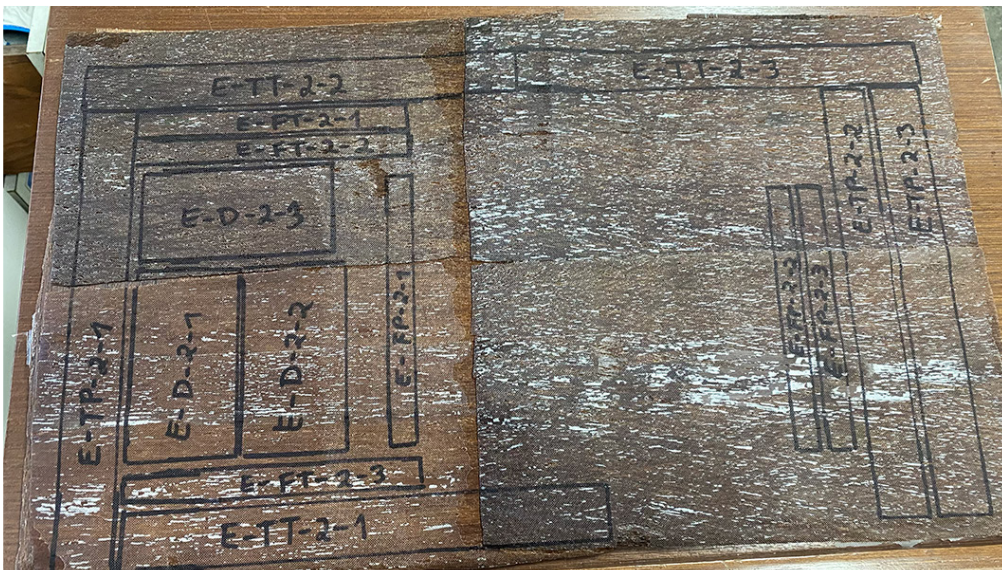
Compósitos de tururi - E2

Dia: 22/07/2021

Resina Epóxi HEX 135 slow e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 56x40 cm | Filme de vácuo: 70x60 cm | Filme perfurado: 38x55 cm | Tela de dispersão: 38x55 cm

Peso resina epóxi: 500 g | Peso endurecedor: 165 g | Total peso resina + endurecedor: 665 g.
Peso final tururi: 175,97 g



Apêndice 3.6

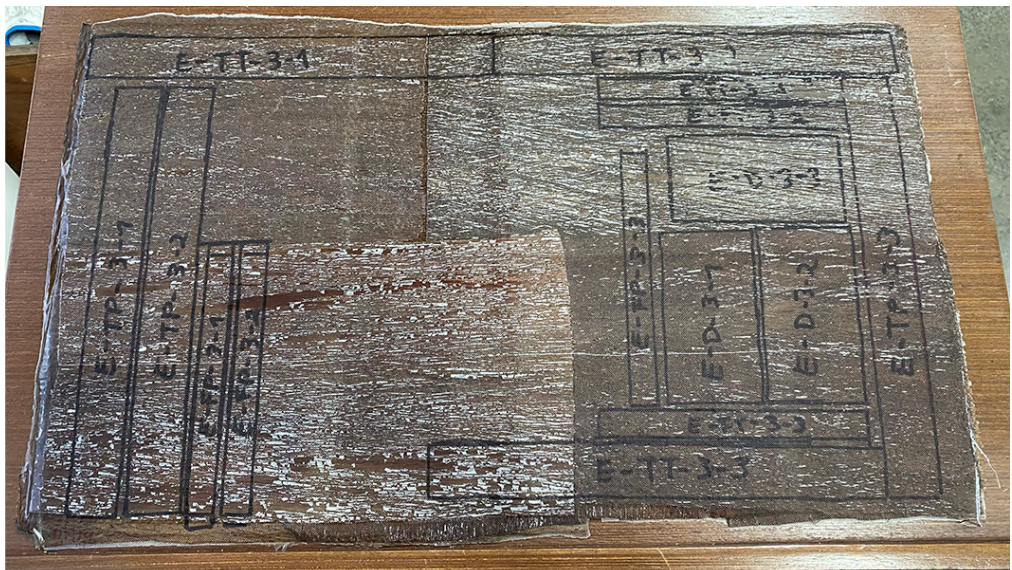
Compósitos de tururi - E3

Dia: 17/05/2022.

Resina Epóxi HEX 135 slow e quatro camadas de tururi em 30x15 cm.

Molde: 53x40 cm. | Filme de vácuo: 70x75 cm. | Filme perfurado: 38x55 cm. | Tela de dispersão: 51x38 cm.

Peso resina: 676,45 g | Peso endurecedor: 223,22 g | Total peso resina + endurecedor: 899,67. Peso tururi: 150,90 g



Apêndice 4

Resultados mapa de experiência

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- coçando
- arranhando
- comprimindo
- cutucando
- delicadamente
- removendo
- batendo
- empurrando
- arrastando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- apinhando
- apertando
- apinhando

2 NÍVEL SENSORIAL Como você descreveria o material?

Como você descreveria o material?

- dura
- macia
- lisa
- rugosa
- focosa
- brilhante
- não reflexiva
- reflexiva
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- moleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibrosa
- não-fibrosa

3 NÍVEL AFETIVO Que emoções o material provoca?

Intenso

desconfiança

curiosidade

dúvida

surpresa

degradável

agradável

4 NÍVEL INTERPRETATIVO O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1: natural

significado 2: rústico

significado 3: industrializado

parece-se que são fibras naturais

aparência de amoldado rústico

parece-se refinado

5 REFLEXÕES FINAIS Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material? Isolamento térmico

Qual é a qualidade mais desagradável do material? Possibilidade de umidade

Qual é a qualidade singular do material? fibrosa + resistência

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- coçando
- arranhando
- comprimindo
- cutucando
- delicadamente
- removendo
- batendo
- empurrando
- arrastando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- apinhando
- apertando
- apinhando

2 NÍVEL SENSORIAL Como você descreveria o material?

Como você descreveria o material?

- dura
- macia
- lisa
- rugosa
- focosa
- brilhante
- não reflexiva
- reflexiva
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- moleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibrosa
- não-fibrosa

3 NÍVEL AFETIVO Que emoções o material provoca?

Intenso

dúvida

curiosidade

desconfiança

surpresa

confusão

Respeito

degradável

agradável

4 NÍVEL INTERPRETATIVO O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1: elegante

significado 2: Natural

significado 3: industrializado

Pode ser um material duro

Seu uma fibra natural

Parece algo ya fabricado industrialmente

5 REFLEXÕES FINAIS Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material? Que os Natural

Qual é a qualidade mais desagradável do material? Que no se como se pode usar

Qual é a qualidade singular do material? ou textura

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO

O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- cortando
- delicadamente
- remexendo
- batendo
- empurrando
- esticando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apalpando
- pinçando
- apertando
- esticando

2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

- dura
- macia
- lisa
- rugosa
- fosca
- brilhante
- não reflexivo
- reflexivo
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- moleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibroso
- não-fibroso

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?

Intenso

desagradável

agradável

• curiosidade

• surpresa

2

responsif

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1

significado 2

significado 3

Estranho

Artificial

não consigo identificar a origem do material. Não me parece comum. O acabamento é natural?

Mistura de fibras e resina?

↓ 1 desdobre o mapa e abra as laterais

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material?

Qual é a qualidade mais desagradável do material?

Qual é a qualidade singular do material?

Desenho das fibras

Reverenciamento da superfície

Laminagem das fibras

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO

O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- cortando
- delicadamente
- remexendo
- batendo
- empurrando
- esticando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apalpando
- pinçando
- apertando
- esticando

2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

- dura
- macia
- lisa
- rugosa
- fosca
- brilhante
- não reflexivo
- reflexivo
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- moleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibroso
- não-fibroso

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?

Intenso

desagradável

agradável

• curiosidade

• surpresa

2

responsif

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1

significado 2

significado 3

natural

artesanal

colhedor

Fibras, lenhosa coloração natural

não possui regularidade em relação a materiais industriais

confortável de tocar, quente

↓ 1 desdobre o mapa e abra as laterais

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material?

Qual é a qualidade mais desagradável do material?

Qual é a qualidade singular do material?

suavidade

não há

Regularidade e irregularidade

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO

O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- cutucando
- delicadamente
- remexendo
- batendo
- empurrando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- apinhando
- pinçando

2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

- duro
- macio
- liso
- rugoso
- fosco
- brilhante
- não reflexivo
- reflexivo
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- maleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibroso
- não-fibroso

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?

MELANCOLIA

curiosidade
atração
fascinação

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

O que você associa ao material?

significado 1: NATURAL

significado 2: ARTESANAL

significado 3: ACOELHEDOR

EE VE QUE ES UNA FIBRA, NO SE VE SINTETICO

ARTESANAL CON MUCHA CUIDAD

RECUERDA LA TIERRA, LA NATURALEZA MI CASA

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material? LO NATURAL

Qual é a qualidade mais desagradável do material? LA MELANCOLIA

Qual é a qualidade singular do material? ARTESANAL CON CUIDAD

MUESTRA 2

TEXTURA IREGULAR Y ASIMETRICO

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO

O que o material faz você fazer?

Como você toca o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- cutucando
- delicadamente
- remexendo
- batendo
- empurrando

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- apinhando
- pinçando

2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

- duro
- macio
- liso
- rugoso
- fosco
- brilhante
- não reflexivo
- reflexivo
- frio
- quente
- não elástico
- elástico
- opaco
- transparente
- rígido
- maleável
- resistente
- frágil
- leve
- pesado
- textura regular
- textura irregular
- fibroso
- não-fibroso

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?

curiosidade

convulso

atrapado

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

O que você associa ao material?

significado 1: elegante

significado 2: natural

significado 3: artesanal

perível material nome

presença visual das fibras

irregularidade na superfície

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material? rusticidade

Qual é a qualidade mais desagradável do material? toque áspero

Qual é a qualidade singular do material? fibras aparentes

amostra 2

MAPA DE CARACTERIZAÇÃO EXPERIENCIAL

Este mapa tem como objetivo ajudá-lo a entender como as pessoas experimentam materiais.

1 NÍVEL INTERATIVO

Como você toca o material?

- pressionando
- friccionando
- arranhando
- comprimindo
- curvando
- delicadamente
- removendo
- batendo
- empurrando
- _____

Como você manipula o material?

- dobrando
- elevando
- carregando
- torcendo
- flexionando
- pegando
- apertando
- curvando

Como você segura o material?

- segurando
- apertando
- gizcando
- apertando
- _____

O que o material faz você fazer?



2 NÍVEL SENSORIAL

Como você descreveria o material?

- macio
- duro
- liso
- fosco
- não reflexivo
- frio
- não elástico
- opaco
- rápido
- resistente
- leve
- textura regular
- fibroso
- quente
- brilhante
- reflexivo
- quente
- elástico
- transparente
- maleável
- frágil
- pesado
- textura irregular
- não-fibroso

4 NÍVEL INTERPRETATIVO

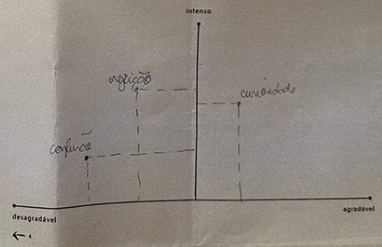
O que você associa ao material?

Como você descreveria isso?

significado 1	significado 2	significado 3
nostalgico	artesanal	indiferente
me lembro da vovó: pl. pratos feitos de fibra	relato pela mãe: bob. diferentes, não duas peças a irregularidade	

3 NÍVEL AFETIVO

Que emoções o material provoca?



Este resumo não se distribui de forma homogênea (colocando objetos num resumo) pois há uma irregularidade

5 REFLEXÕES FINAIS

Por que você acha que o material é...?

Qual é a qualidade mais agradável do material? suave

Qual é a qualidade mais desagradável do material? textura

Qual é a qualidade singular do material? Irregularidade

Apêndice 5

Resultados X-MAT

Roteiro de teste de usabilidade do aplicativo X-MAT

Objetivo do teste: compreender o entendimento dos usuários sobre o aplicativo.

Metodologia: teste de usabilidade moderado

Questionário durante o teste – sobre o aplicativo.

- 1- Compreende a função do aplicativo?
- 2- Compreende que tipo de usuário deve selecionar para realizar as análises?
- 3- Compreende onde deve inserir o código?
- 4- Compreende o que está fazendo em cada análise?
- 5- Consegue responder as perguntas?
- 6- Compreende que o teste foi finalizado?
- 7- O que faz falta nas análises?
- 8- Comentários gerais
-

Apêndice 5.1 - Teste de usabilidade 1:

Usuário: sexo feminino, atua como social media e é graduada em Marketing. Tem 23 anos e natural de Belém - PA.

Análise de sensações: Frio 1, Rígido 1, Frágil 1, Uniforme 2, Leve 3.

Análise visual: Brilhoso 3, Uniforme 2, Não pegajoso 3, Fibroso 3.

Análise afetiva: Confiança 9, Respeito 9, Conforto 10.

Análise interpretativa:

Acolhedor e Nostálgico: “as duas palavras têm a mesma justificativa, me lembrou casa de avó, parece um piso de um lugar de uma residência antiga e um local que as pessoas

vivem boas memórias, não parece algo para um apartamento de agora, um projeto de revitalização”.

Mais agradável: “Essa sensação de conforto que passa, gosto de piso escuro (suponho que é um piso), sensação aconchegante”.

Menos agradável: “As rugas que têm, a porosidade, porque parece difícil de limpar. Não sei se o verniz sai com o tempo, talvez não fique tão brilhoso com o tempo e precise de manutenção”.

Singular: “Não sei se é singular, mas gostei bastante do brilho que depois com o uso pode sair ou não”.

-

Apêndice 5.2 - Teste de usabilidade 2:

Usuário: Sexo feminino, atua como captadora de recursos e é graduada em Museologia. Tem 33 anos e natural do Rio de Janeiro - RJ.

Análise de sensações: Quente 1, Rígido 2, Resistente 2, Rugoso 1, Leve 3.

Análise de visual: Brilhoso 2, Uniforme 0, Não pegajoso 1, Fibroso 1.

Análise afetiva: Atração 6, Curiosidade 7, Conforto 9.

Análise interpretativa:

Elegante: “Gosto do marrom de tom escuro meio mogno, acho que denota elegância em espaços”.

Natural: “Ele é bem característico da madeira, bate o olho você tem a impressão que é madeira, não sente muita dúvida”.

Mais agradável: “Acho que ele é elegante, discreto e pomposo”.

Menos agradável: “Acho que ele pode perder um pouco desse lustroso ao longo do tempo”.

Singular: “Acho que a durabilidade, parece ser bem resistente e durável”.

Apêndice 5.3 - Teste de usabilidade 3:

Usuário: Sexo masculino, atua como administrador. Tem 43 anos e natural de Brasília – DF.

Análise de sensações: Frio 1, Rígido 1, Resistente 2, Uniforme 3, Leve 3.

Análise visual: Brilhoso 2, Não uniforme 1, Não pegajoso 3, Fibroso 2.

Análise afetiva: Confiança 8, Conforto 8, Tédio 5.

Análise interpretativa:

Acolhedor: “No sentido de lembrança afetiva, de lugar, de casa, tem mais algo de casa que comercial”.

Nostálgico: “Pelo uso da madeira, escura, que é mais comum e foi se descontinuando por materiais clean”.

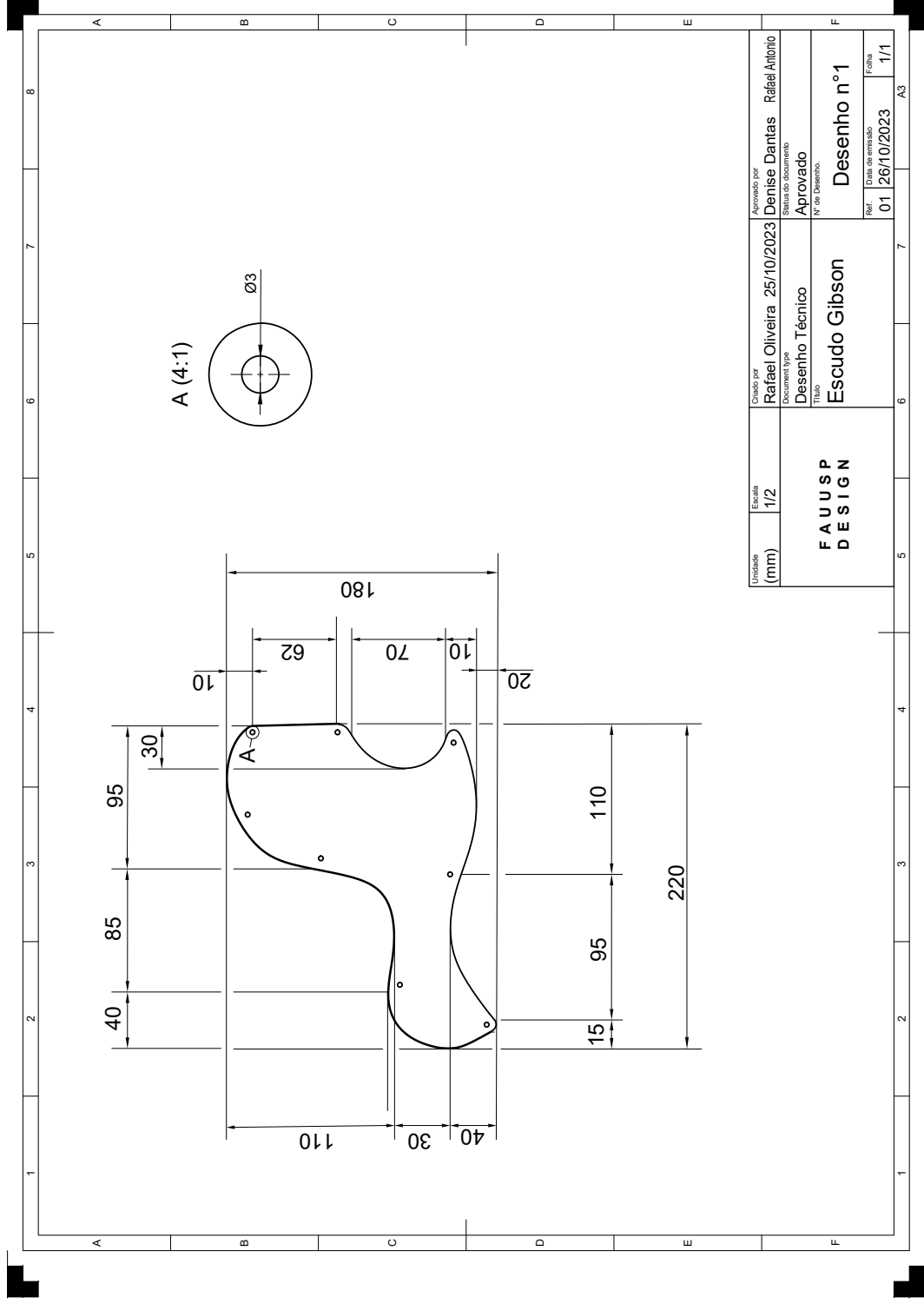
Mais agradável: “Combinação de madeira com superfície lisa e plástica, que seria mais fácil, mais durável”.

Menos agradável: “Talvez a questão de como as fibras se encontram, como poderiam causar farpas, se quebrar...”.

Singular: “Esse misto de dureza e flexibilidade com a impressão de madeira, textura de madeira, com o liso de uma forma aparentemente impermeável, de fácil limpeza”.

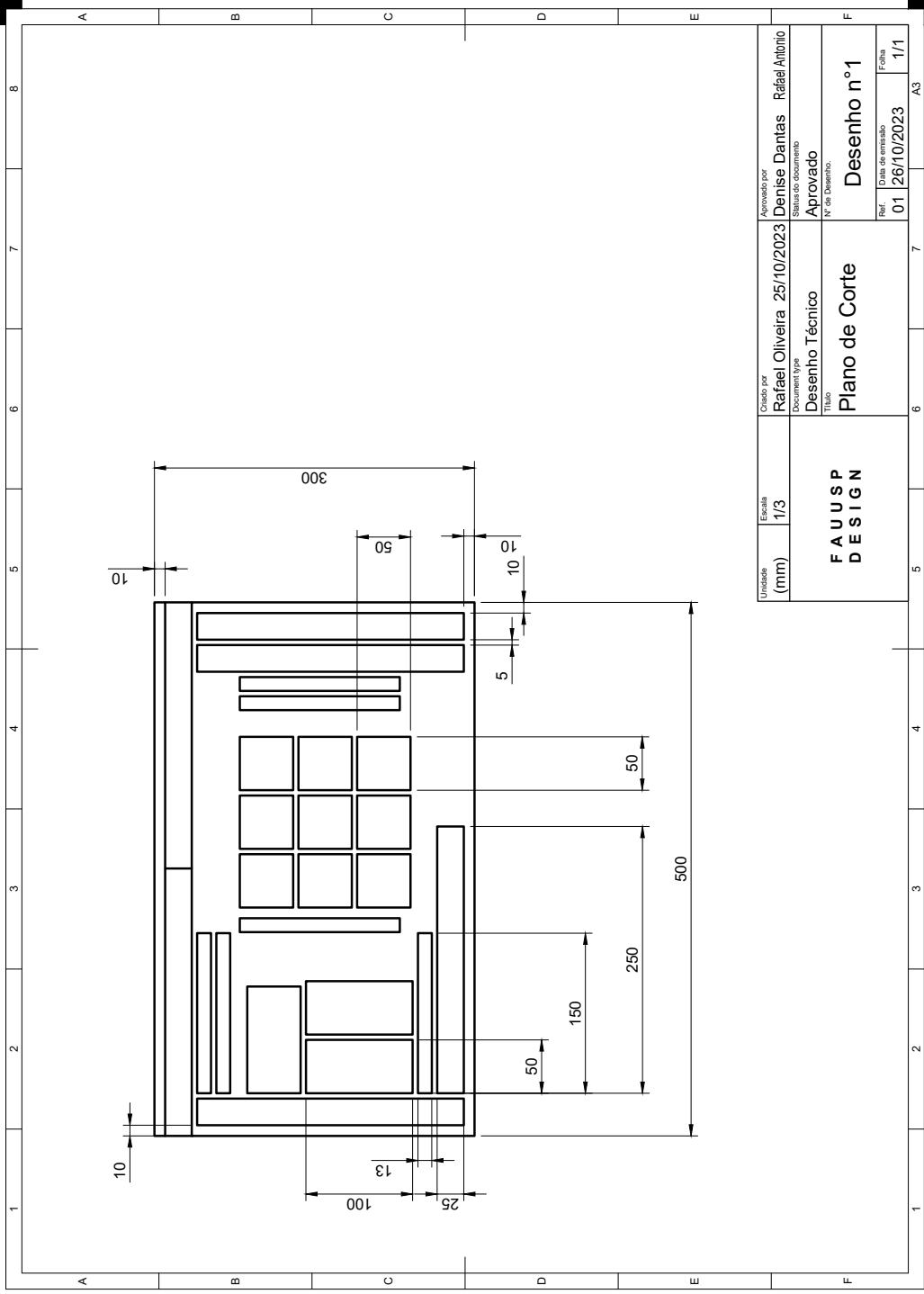
Apêndice 6.

Desenho técnico



Apêndice 6.

Desenho técnico



Apêndice 7

Resultados caracterização física e mecânica

Ensaio de resistência a tração:

Compósito	Tensão (Mpa)	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão
M1T	20,002	19,184	1,419	17,335	4,122	17,335	0,769
	20,004						
	17,545						
M2T	22,225	20,227	2,458	17,335	4,122	17,335	0,769
	17,483						
	20,973						
M3T	11,050	12,595	2,920				
	15,963						
	10,772						
M1P	29,195	21,829	6,380				
	18,231						
	18,061						
M2P	16,569	19,552	2,649				
	21,629						
	20,460						
M3P	13,057	13,054	0,004				
	13,052						

Compósito	Tensão (Mpa)	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão
E1T	11,348	12,178	1,174				
	13,008						
E2T	16,025	14,586	2,035				
	13,147						
	14,731						
E3T	20,975	19,925	4,756				
	24,068						
E1P	18,219	18,288	0,098				
	18,357						
	18,953						
E2P	17,608	18,957	1,351				
	20,311						
	20,830						
E3P	24,983	24,736	3,789				
	28,395						

Ensaio de propriedades flexurais:

Compósito	Flexão (Mpa)	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão
M1T	23,100						
	24,442	24,455	1,362				
	25,823						
M2T	18,353						
	20,881	17,566	2,591	18,050	6,250	18,103	6,101
	15,762						
M3T	15,270						
	7,226						
	9,087	12,289	7,218				
M1P	20,554						
	18,555						
	37,170	25,117	10,452				
M2P	19,624						
	30,8						
	20,9	25,450	4,984	21,395	8,2817	21,395	6,735878
M3P	24,7						
	15,2						
	14,3						
	11,3	13,620	2,033				

Compósito	Flexão (Mpa)	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão	Média da painel	desv padrão
E1T							
E2T							
E3T	41,511	38,114	4,804				
	34,717						
E1P							
E2P	47,806	44,619	4,507				
	41,432						
E3P							

