



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

JOSE IGNACIO SANCHEZ PEREZ

**USABILIDADE E AFETIVIDADE: UM ESTUDO SOBRE A QUALIDADE
VISUAL E HÁPTICA PERCEBIDA DOS PRODUTOS UTILITÁRIOS
FABRICADOS POR IMPRESSÃO 3D FFF POR LABORATÓRIOS
INDEPENDENTES ATRAVÉS DO DESIGN DISTRIBUÍDO**

RECIFE

2021

JOSE IGNACIO SANCHEZ PEREZ

**USABILIDADE E AFETIVIDADE: UM ESTUDO SOBRE A QUALIDADE
VISUAL E HÁPTICA PERCEBIDA DOS PRODUTOS UTILITÁRIOS
FABRICADOS POR IMPRESSÃO 3D FFF POR LABORATÓRIOS
INDEPENDENTES ATRAVÉS DO DESIGN DISTRIBUÍDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Design. Área de concentração: Planejamento e Contextualização de Artefatos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Germannya D´Garcia Araújo Silva

RECIFE

2021

P438u

745.2 CDD (22. ed.)

UFPE (CAC 2022-173)

JOSE IGNACIO SANCHEZ PEREZ

**USABILIDADE E AFETIVIDADE: UM ESTUDO SOBRE A QUALIDADE
VISUAL E HÁPTICA PERCEBIDA DOS PRODUTOS UTILITÁRIOS
FABRICADOS POR IMPRESSÃO 3D FFF POR LABORATÓRIOS
INDEPENDENTES ATRAVÉS DO DESIGN DISTRIBUÍDO**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Design da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre
em Design

Aprovada em: 29/10/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^{fa}. Dr^a. Germannya D' Garcia Araujo Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Bernardo Providência (Examinador Externo)
Universidade do Minho

*Esta pesquisa é dedicada a todos os makers que enfrentaram a crise sanitária da
pandemia, em especial a meus avôs, Júlio e Boche.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria agradecer a toda minha família, principalmente a minha Mãe e meu Pai, que mesmo estando longe fisicamente, deram todo o apoio emocional e intelectual para o desenvolvimento do meu mestrado.

A minha tia Niedja, que demonstrou o seu apoio afetivo para estar em Recife, a minha companheira de vida Bárbara César Barros, e, por que não dizer, ao meu cachorro Marley, que são a minha base familiar, amorosa e intelectual, e que deram todo o apoio para que eu pudesse me dedicar a esse trabalho.

Na mesma medida, agradecer a minha orientadora, a Profa. Dra. Germannya D’Garcia Araújo, que através de longas falas e provocações, com grande profissionalismo e humanidade, acolheu e guiou-me por um caminho de profundos valores, como o respeito a honestidade e a resiliência para poder enfrentar com irreverência e seguridade os distintos campos da pesquisa acadêmica.

Adicionalmente agradecer a Profa. Maria Cristina Ibarra, por ter confiado em mim para a realização do estágio docente e ter passado os seus conhecimentos senti pensantes.

Adicionalmente, queria agradecer ao apoio dos laboratórios coletivo3D; Grea; Instituto Impressão 3D Pernambuco pela parceria nesta pesquisa e em especial ao FabLab Recife e todos os sócios, comunidade makers e funcionários por me apoiaram desde o primeiro momento na minha chegada ao Recife, e durante todo o período da dissertação, me ajudando a compreender o grande desafio que significa mudar o mundo através do movimento maker.

Por fim, ao CNPq pela bolsa de pesquisa concedida para o desenvolvimento desta Dissertação.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

A customização de objetos fabricados por manufatura aditiva proporciona prazer ao utilizador, especialmente os desenvolvidos por processo de design em co-criação, ou seja, a participação ativa do usuário durante o processo de design. Entretanto, em alguns casos o produto final resultado desse novo e instigante processo pode despertar emoções negativas a partir da expectativa gerada pelo usuário desse novo método de fabricação. O processo de design em cocriação de produtos é muito comum no Design Distribuído (DD), que é o resultado da interseção de duas tendências globais: o Movimento Maker e a digitalização da disciplina de design. Esta digitalização do design junto com as ferramentas de fabricação digital permitiu a abertura de plataformas virtuais com base na cocriação de produtos e compartilhamento de dados. A novidade do processo de criação livre somada a complexidade dos processos de entendimento entre prosumers, em um contexto em que os laboratórios não possuem as mesmas especificações de máquinas, estão distribuídos em distintos espaços geográficos e os parâmetros técnicos do equipamento podem variar, traz como consequência um panorama suscetível ao acontecimento de falhas, comprometendo a qualidade percebida pelos usuários. A presente pesquisa possui como objetivo geral propor diretrizes para aumentar a qualidade visual e háptica percebida de produtos utilitários fabricados por filamento fundido (FFF) - impressão 3D - em laboratórios de fabricação digital independentes. O método de investigação composto por três macro Fases: [1] Seleção de Arquivos e Laboratórios; [2] Serviço do Laboratório e; [3] Avaliação da qualidade replicou parcialmente o DD através da plataforma *makerfind.org*. Cada fase foi dividida em etapas, todavia, as etapas da fase 2 não foram avaliadas, por se tratar do serviço do maker em si. Os produtos resultantes deste serviço foram avaliados por especialistas em manufatura aditiva na fase 3. A fase 1 foi dividida nas etapas: Seleção de arquivos; Seleção dos Laboratórios e Avaliação DFAM (método de design para manufatura aditiva). Já a fase 3 foi composta pelas Avaliações Técnica; Virtual e Física. Como resultado da avaliação técnica, apenas dois dos produtos atenderam aos critérios de qualidade propostos no briefing de customização, ambos fabricados por *makers* que tiveram uma avaliação mediana no teste DFAM. Na avaliação afetiva observou-se uma notável diferença na intensidade dos sentimentos entre os testes virtuais e físicos, pois em alguns casos houve aumento na

intensidade durante a manipulação física dos produtos. Por outro lado, quando os produtos cumpriam minimamente as expectativas dos especialistas, a intensidade dos sentimentos não alcançava os níveis máximos da ferramenta Roda das Emoções. Acredita-se que a experiência do usuário especialista contribuiu para a compreensão do funcionamento e das propriedades técnicas do produto influenciando nas respostas afetivas. Por fim, o mapeamento da jornada dos atores durante esse processo de co-criação no DD permitiu elaborar as conclusões e as diretrizes gerais deste estudo que visa aumentar a qualidade percebida dos produtos impressos em FFF por laboratórios independentes, quando o serviço é pensado de forma online com entrega de produto físico.

Palavras-chave: Design Emocional; Design distribuído; Usabilidade; Afetividade, Experiência do usuário; Manufatura Aditiva.

ABSTRACT

The customization of objects manufactured by additive manufacturing provides pleasure to the user, especially those developed by co-creation design process, that is, the active participation of the user during the design process. However, in some cases the final product resulting from this new and exciting process may arouse negative emotions from the expectation generated by the user of this new manufacturing method. The design process in product co-creation is very common in Distributed Design (DD), which is the result of the intersection of two global trends: the Maker Movement and the digitalization of the design discipline. This digitization of design along with digital fabrication tools has allowed the opening of virtual platforms based on product co-creation and data sharing. The novelty of the free creation process added to the complexity of the processes of understanding between prosumers, in a context where the laboratories do not have the same machine specifications, are distributed in different geographical spaces and the technical parameters of the equipment may vary, brings as a consequence a panorama susceptible to failures, compromising the quality perceived by users. The present research has as a general objective to propose guidelines to increase the perceived visual and haptic quality of utility products manufactured by filament casting (FFF) - 3D printing - in independent digital fabrication laboratories. The research method composed of 3 macro Phases: [i] Selection of Files and Labs; [ii] Lab Service and; [iii] Quality Assessment partially replicated the DD through the makerfind.org platform. Each phase was divided into stages however, the stages of phase 2 were not assessed as it is the maker service itself. The products resulting from this service were evaluated by additive manufacturing experts in phase 3. Phase 1 was divided into the following steps: file selection, laboratory selection, and DFAM (design method for additive manufacturing) evaluation. Phase 3 was composed of the Technical, Virtual, and Physical Evaluations. As a result of the technical evaluation, only two of the products met the quality criteria proposed in the customization briefing, both manufactured by makers who had a median evaluation in the DFAM test. In the affective evaluation we observed a notable difference in the intensity of feelings between the virtual and physical tests, because in some cases there was an increase in intensity during the physical manipulation of the products. On the other hand, when the products minimally met the experts' expectations, the intensity of

feelings did not reach the maximum levels of the Wheel of Emotions tool. It is believed that the expert user experience contributed to the understanding of the functioning and technical properties of the product influencing the affective responses. Finally, the mapping of the actors' journey during this co-creation process in the DD allowed to elaborate the conclusions and the general guidelines of this study that aims to increase the perceived quality of products printed in FFF by independent laboratories, when the service is thought in the online form with physical product delivery.

Keywords: Emotional Design; Distributed Design; Usability; Affectivity, User Experience; Additive Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produto SurgicalMaskTrap	17
Figura 2 – Mapa mental do referencial teórico da dissertação	23
Figura 3 – Sistema de reutilização de garrafas PET	28
Figura 4 – Móveis Urbanos Impressos em 3D	29
Figura 5 – <i>Lamp One, Lamp Two</i>	30
Figura 6 – Produto fabricado usando técnicas de manufatura aditiva e manufatura subtrativa	32
Figura 7 – Materiais e formatos para manufatura subtrativa	35
Figura 8 – Filamentos dos materiais de impressão 3D	36
Figura 9 – Pirâmide de tipos de plásticos utilizados para a impressão 3D comparado com a sua área	38
Figura 10 – As distintas áreas de atuação que oferece os Fablabs	44
Figura 11 – Ferramenta com a função de desmaterializar garrafas PET	47
Figura 12 – Funcionamento e componentes de uma impressora 3D	49
Figura 13 – “Workflow” do processo da impressão 3D	50
Figura 14 – Qualidade e funcionalidade de órteses através da sua fabricação na tecnologia FFF	52
Figura 15 – Torneira Docol Automática	56
Figura 16 – 3 níveis do design emocional.	60
Figura 17 – Órteses customizadas para cada tipo de usuário	62
Figura 18 – Fluxograma de criação de um produto através da Manufatura Aditiva. .	67
Figura 19 – Fluxograma de criação de um produto através da Manufatura Aditiva. .	70
Figura 20 – Desenho do método da pesquisa	71
Figura 21 – Gráfico de avaliação de arquivos selecionados.	77
Figura 22 – Produto “Klots” usado em tênis.	78
Figura 23 – Indicação de customização para encaixe do produto	78
Figura 24 – Apresentação de interface da plataforma makerfind.org.	79
Figura 25 – Espaços de realização dos testes físicos e virtuais.	82
Figura 26 – Experimento da roda das emoções	85
Figura 27 – Montagem para elaboração de experimentos	90
Figura 28 – Avaliação das características de usabilidade nos formatos virtual e físico	92

Figura 29 – Avaliação das características de afetividade nos formatos virtual e físico.....	94
Figura 30 – Usabilidade do produto x Afetividade	95
Figura 31 – Resultado, rodas das emoções produto BAA	100
Figura 32 – Resultado, rodas das emoções produto RJA	101
Figura 33 – Resultado, rodas das emoções produto RJT.....	102
Figura 34 – Resultado, rodas das emoções produto SPA.....	103
Figura 35 – Resultado, rodas das emoções produto SPJ.....	104
Figura 36 – Resultado, rodas das emoções produto SPG.....	105
Figura 37 – Segmentação do quadro 5.	111
Figura 38 – Experimento da roda das emoções	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificando as ações e ferramentas utilizadas em cada uma das etapas para alcançar os objetivos da pesquisa	22
Quadro 2 – Revisão bibliográfica da literatura elaborada dentro do programa.	24
Quadro 3 – Exemplo de “remix” do produto	68
Quadro 4 – Perfil do especialista / avaliador	76
Quadro 5 – Jornada do usuário referente na atuação do maker e o cocriador no design distribuído.	110
Quadro 6 – Segmento A do quadro 5.....	112
Quadro 7 – Segmento B do quadro 5.....	113
Quadro 8 – Segmento C do quadro 5	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações de materiais para imprimir em 3D.	37
Tabela 2 – Produtos fabricados por laboratórios independentes com seus respectivos códigos.....	81
Tabela 3 – As emoções positivas e negativas presente na roda das emoções.	86
Tabela 4 – Avaliação técnica da qualidade dos produtos impressos através do DD versus o perfil do laboratório independente.....	87
Tabela 5 – Interação dos laboratórios com o autor da pesquisa.	89
Tabela 6 – Escala de Afeto dos produtos.....	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA / OBJETO DE ESTUDO	19
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	FABRICAÇÃO DIGITAL (FD).....	26
2.1.1	Manufatura subtrativa x Manufatura Aditiva	30
2.1.2	Materiais para Fabricação Digital.....	33
2.1.3	Design para Manufatura Aditiva (DFAM).....	38
2.2	DESIGN DISTRIBUÍDO	41
2.2.1	Movimento Maker: Fablabs & Laboratórios Independentes.....	42
2.2.2	Fabricação por Filamento Fundido (FFF)	48
2.3	QUALIDADE PERCEBIDA DOS PRODUTOS FABRICADOS POR ADIÇÃO	53
2.3.1	Avaliação da usabilidade dos produtos e a relação com a manufatura aditiva.....	55
2.3.2	Usabilidade dos Produtos Fabricados por Adição na Medida da Emoção	58
2.3.2.1	<i>Dimensão visceral do design</i>	<i>60</i>
2.3.2.2	<i>Dimensão Comportamental do design</i>	<i>61</i>
2.3.2.3	<i>Dimensão reflexiva do design</i>	<i>61</i>
3	DESENHO DA PESQUISA	65
3.1	MÉTODO	65
3.1.1	Fluxo Design Distribuído	66
3.2	PROTOCOLO DE PESQUISA	71
3.2.1	FASE 1 - Seleção de arquivos e laboratórios	72
3.2.2	FASE 2 - Serviço do laboratório	73
3.2.3	FASE 3 - Avaliação da qualidade.....	73
3.3	PROCEDIMENTO DE PESQUISA ADOTADO	74
3.3.1	FASE 1 - Seleção de Arquivos e Laboratórios.....	74
3.3.2	FASE 2 - SERVIÇO DO LABORATÓRIO	81
3.3.3	FASE 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE	81

4	RESULTADOS	87
4.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POR PARÂMETROS TÉCNICOS	87
4.2	PERCEPÇÃO DA USABILIDADE APARENTE VERSUS A USABILIDADE PERCEBIDA	89
4.2.1	Avaliação da Qualidade por Parâmetros Afetivos.....	96
4.2.2	Modelo de avaliação para obter uma escala de afeto	99
5	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS E RECOMENDAÇÕES GERAIS	107
5.1	JORNADA DOS ATORES NO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D	109
6	CONCLUSÕES	117
6.1	RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	118
	REFERÊNCIAS.....	119
	APÊNDICE A – PONTOS DE CONTATO COM LABORATÓRIOS INDEPENDENTES	124
	APÊNDICE B – TLC DE ESPECIALISTAS INVOLUCRADOS NA PESQUISA.....	126
	ANEXO A – FICHA DE TRABALHO PARA O USO PESSOAL DO DFAM	128
	ANEXO B – ADAPTAÇÃO DA ESCALA DE LIKERT COM BASE EM (MISHRA, DASH, MALHOTRA, & CYR, 2015).....	129
	ANEXO C – RODA DAS EMOÇÕES	132
	ANEXO D – PLANILHA DE CADASTRO NA PLATAFORMA MAKERFIND.ORG.....	133
	ANEXO E – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE O MÉTODO DFAM	134

1 INTRODUÇÃO

O século XX foi caracterizado pela democratização da informação por meio do computador pessoal e da internet, enquanto o século XXI é caracterizado pela democratização da produção e pela fabricação individualizada (BULL et al., 2010). Como reflexão, se no passado o conceito inovador era o compartilhamento de dados pela internet, hoje, a inovação está no compartilhamento de produtos através de dados que podem ser materializados em laboratórios abertos de fabricação digital.

Este modo de produção sobre demanda ou *on demand* permite distribuir e customizar o produto antes que ele possa ser produzido, pois, o projeto é enviado ao lugar de destino em forma de arquivo e é fabricado com a matéria que circula e se recicla na mesma região de consumo do produto. Esse processo de compartilhar arquivos, customizar e produzir produtos é chamado Design Distribuído (DD).

De acordo com o *Distributed Design Market Platform* (2018), o Design Distribuído é o resultado da interseção de duas tendências globais: o Movimento Maker e a digitalização da disciplina de design. Essa convergência levou ao surgimento de um novo mercado, no qual indivíduos criativos têm acesso às ferramentas digitais que lhes permitem projetar, produzir e fabricar produtos ou se conectar facilmente a uma rede global de colaboradores para realizar entre si aspectos deste processo.

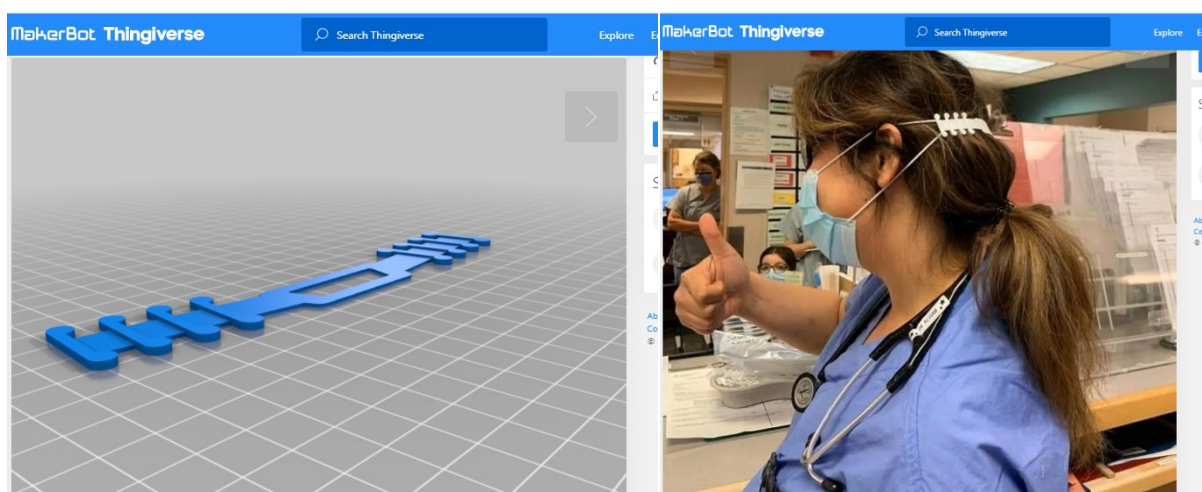
Dentro do design distribuído são estabelecidos distintos métodos de produção locais existentes nos Fablabs, que são laboratórios públicos ou privados, que fazem parte de uma rede mundial. Para entrar nessa rede, os laboratórios devem abrir suas portas para uma comunidade e possuir máquinas de produção já consolidadas como: cortadoras laser; Router CNC; cortadoras de vinil; incluindo a mais nova tecnologia considerada como um método de produção local, a impressora 3D.

Desde a década de 80, a impressão 3D é usada por projetistas em empresas de diferentes portes para acelerar o processo de desenvolvimento de produtos, reduzir os custos envolvidos no processo de design e antecipar problemas relativos à fabricação. Nos últimos anos, a tecnologia da manufatura aditiva deixou de ser percebida por empresas apenas como um método de prototipagem rápida e passou a ser assumida também como um método de produção para diversas áreas do conhecimento.

As principais categorias que apresentam um bom desempenho da manufatura aditiva são: automotiva, aeroespacial, médica, educacional e a prototipação (BAXTER, 2000; EVANS, 2009; ROMEIRO, 2010; CHUA et al; 2017).

Um exemplo recente de DD pode ser observado no mês de março de 2020, no contexto do início do Covid-19, onde a impressão 3D e o movimento maker responderam ante as crises da escassez de insumos e materiais para o setor de saúde. Trata-se do produto “*SurgicalMaskTrap*” (Figura 1), que possui como função sujeitar as asas das máscaras, aliviando assim uma carga contínua sobre as orelhas dos usuários.

Figura 1 – Produto SurgicalMaskTrap.



Fonte: Thingiverse.com (2020)

Este produto, no mês de abril possuiu mais de cem mil (100.000) downloads da plataforma *thingiverse.com* e na mesma plataforma foi modificado mais de 255 vezes, o que é conhecido como “remixes”. Dados de casos como esses e outros indicam a importância do alcance do design distribuído quando é utilizada a manufatura aditiva.

A impressão 3D, assim como qualquer outro sistema de trabalho, requer a atuação harmônica entre materiais, softwares e hardwares para a confecção satisfatória de uma peça desejada. Portanto, deve-se sempre considerar a ação humana na interface da manufatura aditiva (MA).

A ideia de reduzir ou remover as restrições industriais permite ao projetista: imaginar possibilidades e alternativas; desafiar sistemas e papéis já estabelecidos; produzir em escala local e reduzir o impacto ambiental, através da diminuição da

necessidade de transporte. Essas mudanças no sistema de financiamento, de produção e de distribuição incentivam a autoprodução, onde o autor do projeto se torna responsável pela produção, comunicação e venda de seus produtos. Isso significa que, possivelmente, estas pessoas, independente da área de atuação profissional, poderão ter a oportunidade e facilidade de operar e produzir os objetos dentro dos FabLabs (DIAS, 2014).

No entanto, a motivação para essa pesquisa vem em razão da experiência prática do autor como designer de produtos em FabLabs na Venezuela e no Brasil. Uma vez que durante sua atuação nas cidades de Caracas, Recife e do Rio de Janeiro era notável a insatisfação dos usuários finais diante dos produtos utilitários fabricados pela tecnologia de impressão 3D FFF.

Para investigar a real necessidade dessa pesquisa foram realizados três processos de revisão da literatura onde se pode verificar que existe uma lacuna nas pesquisas realizadas dentro da Manufatura Aditiva (MA) com usuários e, que é preciso aumentar o número de trabalhos na área para estabelecer diretrizes básicas em relação aos fluxos de trabalho e metodologias.

Ademais, nota-se que existem amplas pesquisas em relação às peculiaridades, restrições, desempenhos técnicos e mecânicos dos diversos processos para a manufatura aditiva, no entanto, faltam procedimentos para pontuar alternativas de melhoria do processo de design, com base na satisfação do usuário final. Há também uma carência de pesquisas sobre os aspectos emocionais e percebidos voltados para manufatura aditiva (WILSON et al; 2018; BACCIAGLIA et al; 2019; BORGIANNI et al; 2019).

Diante desse cenário, essa pesquisa se justifica pela importância de entender como os usuários percebem o produto fim de um modelo vanguardista de produção e distribuição como o design distribuído, com a perspectiva de poder contribuir para que a produção de objetos customizados, produzidos através de uma tecnologia a impressão 3D, por especialistas ou não especialistas, sejam mais bem aceitos pelos usuários finais.

Isto posto, os autores dessa pesquisa questionam: como aumentar a qualidade percebida dos produtos impressos em FFF através do processo de design distribuído?

Para responder a essa pergunta, a presente pesquisa utilizou um método de abordagem hipotético-dedutivo que através da seleção de laboratórios

independentes cadastrados em uma plataforma de DD desenvolveu um teste de avaliação da qualidade percebida dos produtos impressos em 3D pela tecnologia FFF. O pressuposto prático era que os makers com alto índice de conhecimento em métodos de design para manufatura aditiva (DFAM) teriam seus produtos melhor aceitos pelos usuários.

Por fim, a partir dos resultados encontrados foi possível prover diretrizes para aumentar a qualidade visual e háptica percebida de produtos utilitários fabricados por impressão 3D FFF em laboratórios independentes de fabricação digital.

1.1 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA / OBJETO DE ESTUDO

As tecnologias que proporcionam uma agilidade na criação de um artefato físico com distintos materiais e acabamentos criam a expectativa de um novo paradigma de produção e distribuição através de movimentos como o DD. Stephan Scars (2018), Diretor do Departamento de Meio Ambiente da UNIDO, no livro *Fabcity*, descreve que o foco principal do design distribuído é o princípio da economia circular (eliminar resíduos e poluição desde o princípio) e, esta é catalisada pelo uso de tecnologias digitais e lógicas de produção que fazem parte do paradigma da indústria 4.0. O uso de robotização, inteligência artificial, impressoras 3D e outras tecnologias inovadoras para a produção, a criação de formatos *open source*, bem como a gestão do conhecimento distribuído possuem um grande impacto no desenvolvimento da economia circular.

O fato de o DD estar apoiado e sustentado através do *open source* significa que existe uma rede mundial de compartilhamento e conhecimentos através de experiências makers criando protótipos e soluções locais que provavelmente poderiam servir de ajuda para distintas regiões. Todavia, é importante entender que qualquer usuário, especialista ou não especialista, pode customizar e produzir produtos através de arquivos.

Ao mesmo tempo, ainda existem Fablabs onde os prosumers podem operar as máquinas disponíveis de fabricação digital. Tal liberdade de fabricação, fascinante para muitos, pode, no entanto, caracterizar-se como um processo não sustentável, uma vez que quanto mais complexas se tornam as ferramentas, mais abstratas são suas funções (Flusser, 2017, Pág. 39).

A novidade do processo de criação livre somada a complexidade de entendimento entre prosumers, em um contexto onde os laboratórios não possuem as mesmas especificações de máquinas, distribuídos em distintos espaços geográficos com diferentes equipamentos e parâmetros técnicos traz como consequência um panorama suscetível ao acontecimento de falhas. Essa variedade de características compromete direta ou indiretamente a qualidade percebida pelos usuários, quando principalmente se trata de artefatos para uso final.

Essa reflexão é suportada com o estudo de Song (2016), que incita que as falhas no processo de impressão 3D em laboratórios abertos estão relacionadas a três aspectos: a máquina, o design do produto e o operador da máquina. O autor conclui que quase 34% do plástico usado num laboratório aberto é desperdiçado e que o problema da calibração da máquina é o que gera a maior parte do desperdício de material. Em condições ideais, o único resíduo gerado deveria ser o material da estrutura de apoio. Porém, muitos usuários dos laboratórios de fabricação digital aberto são inexperientes na operação das impressoras 3D, cuja falta de competência técnica para operação de tais equipamentos pode gerar desperdício de material (SONG, 2016).

Aspectos socioeconômicos, culturais e emocionais não deveriam deixar de ser considerados no momento de avaliar o processo de impressão 3D FFF como ferramenta de produção de produtos customizados. Estudos, como o de Kudus et al. (2016), revelam que, embora os usuários sejam capazes de considerar um valor adicional para a produção de um produto sob medida e que foi adaptado às suas preferências individuais, os usuários ainda não estão dispostos a pagar o preço da customização que demanda uma impressão 3D, por motivos econômicos e de qualidade.

De esta forma, buscando como melhorar a qualidade percebida do produto pelo usuário final, foi definido como **objetivo geral**: Propor recomendações para aumentar a qualidade visual e háptica percebida de produtos utilitários fabricados por impressão 3D FFF em laboratórios independentes de fabricação digital. De modo a cumpri-lo, definiram-se os seguintes **objetivos específicos**:

- 1- Identificar os modelos de fabricação de laboratórios abertos e fechados da cidade de São Paulo, Recife e Rio de Janeiro.

- 2- Replicar parcialmente o modelo de DD com a impressão 3D para artefatos utilitários junto aos laboratórios independentes.
- 3- Avaliar a usabilidade aparente e percebida dos produtos impressos em manufatura aditiva (FFF) pelos usuários finais/especialistas.

Para cumprir com os objetivos recentemente mencionados foram mapeadas e aplicadas as estratégias metodológicas assim como os métodos e ferramentas apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Especificando as ações e ferramentas utilizadas em cada uma das etapas para alcançar os objetivos da pesquisa

Objetivo Geral	Objetivos específicos	Etapas ou metodológicas (especificar passo-passo)	Ferramentas e técnicas
Propor recomendações para aumentar a qualidade visual e háptica percebida de produtos utilitários fabricados por impressão 3D FFF em laboratórios independentes de fabricação digital.	1) Identificar os modelos de fabricação dos laboratórios abertos e fechados da cidade de São Paulo, Recife e Rio de Janeiro.	-Revisão da literatura; - Identificação dos laboratórios de cada estado; - Visitas técnicas	-Revisão da literatura -Pesquisa bibliográfica
	2) Replicar parcialmente o modelo de design distribuído com a impressão 3D para produtos utilitários junto com laboratórios independentes.	-Selecionar metodologias utilizadas pelos laboratórios fechados; - Definir produto para ser impresso e modificado, com apoio de especialistas;	-Makerfind.org -Criação de Briefing -Formulário Online DFAM
	3) Avaliar a usabilidade aparente e percebida dos produtos impressos em manufatura aditiva (FFF) pelos usuários finais.	- Selecionar os especialistas/avaliadores - Avaliar a qualidade visual e háptica percebida dos produtos fabricados através do design distribuído.	- Roda das Emoções (DESMET, 2004) - Questionários online - Escala de likert (Mishra, 2015)

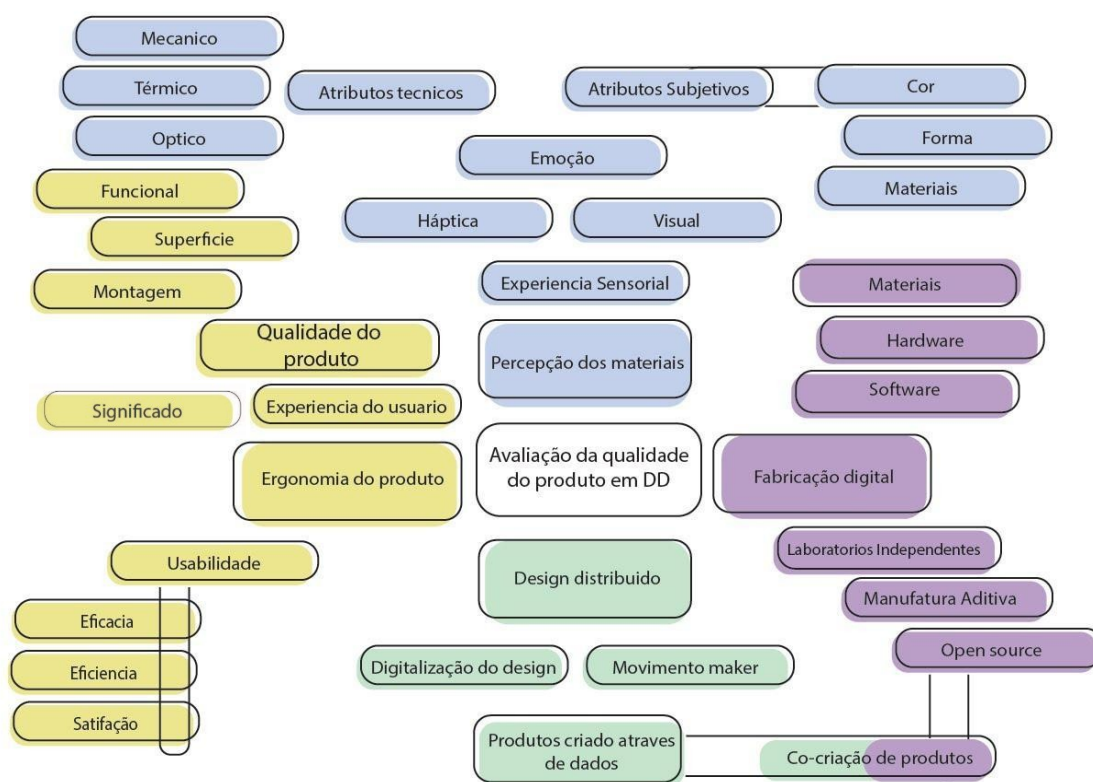
Fonte: O autor

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 apresenta os principais elementos estruturadores da pesquisa: delimitação do tema, a problematização, a pergunta de pesquisa, a justificativa que explica a relevância e a atualidade do tema dentro e fora da Academia, os objetivos do estudo, além da base teórica em três áreas principais (engenharia, design e psicologia).

O Capítulo 2 apresenta os conceitos fundamentais que sustentam a pesquisa: Ergonomia do Produto, Percepção dos Materiais; Fabricação Digital e Design Distribuído. Como estratégia de ação para um melhor um aprofundamento no objeto de estudo e facilitar a visualização do conjunto de conceitos abordados e os pontos de convergência entre eles foi elaborado um mapa mental, Figura 2.

Figura 2 – Mapa mental do referencial teórico da dissertação



Fonte: O autor

Diante dos desafios da pesquisa em relacionar os temas acima citados foram desenvolvidos três processos distintos de revisão da Literatura para compor o Estado da Arte da relação entre a impressão 3D com a percepção da qualidade do

produto. O Quadro 1 apresenta de forma comparativa as três revisões bibliográficas realizadas ao longo do primeiro ano da pesquisa.

Quadro 2 – Revisão bibliográfica da literatura elaborada dentro do programa.

	Título	Objetivo	Palavras-chave
1	A Manufatura aditiva nos FabLabs: uma reflexão sobre a relação da qualidade do produto e geração de resíduos. No processo FFF (FusedDepositionModelling)	Analisar sistematicamente as distintas posturas dos autores que propõem distintos métodos para aumentar a qualidade do produto impresso em 3D.	-FFF -3D printing -Quality
2	Uma Revisão da Literatura sobre os Processos de Design direcionados a Manufatura Aditiva em FabLabs para melhoria da qualidade do produto e redução de resíduos.	Entender o estado da arte sobre os as pesquisas que relacionam a qualidade do produto em processos de impressão FFF (FusedDepositionModelling) em ambientes abertos de manufatura aditiva	-Product design -Process design -Quality -Circular Economy -Recycling
3	A qualidade percebida dos produtos fabricados por impressão 3d FFF (<i>Fabricação por Filamento Fundido</i>): uma revisão da literatura com ênfase na satisfação do usuário final.	-Ampliar o conhecimento em métodos para avaliar a qualidade percebida dos produtos impressos em 3D FFF - Detectar as áreas de conhecimento onde a qualidade percebida dos produtos impressos em 3D FFF é avaliada satisfatoriamente	-Usability -User satisfaction -End User -Emotional design - Perception

Fonte: O autor

Cumpre salientar as duas últimas revisões bibliográficas produzidas durante as disciplinas foram publicadas. A RSL n.2 foi publicada como artigo completo em Anais de Eventos, no congresso nacional “ENSUS” realizado de 12 a 14 de maio de 2020, na Universidade do Sul de Santa Catarina (UFSC). O referido congresso seleciona artigos que abordem temas de sustentabilidade integrada aos projetos e ao desenvolvimento de novos produtos, nas áreas de Arquitetura, Engenharia e Design. Disponível em <https://ensus2020.paginas.ufsc.br/anais-ensus-2020/> (Pag. 174-184).

Já RSL n.3 foi publicada como o capítulo de livro na série intitulada: “Fronteiras do Design, Ergonomia e Tecnologia em Foco” do PPGDesign/ UFPE pela linha de pesquisa de Design, Ergonomia e Tecnologia disponível em <https://openaccess.blucher.com.br/article-list/9786555500455-486/list#undefined>.

O capítulo 3 chamado de Desenho da pesquisa apresenta a trajetória metodológica desenvolvida e aplicada para a presente pesquisa. Inicia-se apresentando os métodos de abordagem e de procedimentos, bem como o recorte do objeto de estudo. Na sequência é descrito, em detalhe, o protocolo de atividades onde constam as técnicas e ferramentas aplicadas além dos instrumentos para a coleta e análise de dados.

O capítulo 4 denominado de Resultados apresenta os achados da pesquisa obtidos através dos testes realizados para avaliar a qualidade percebida dos produtos fabricados pelos laboratórios independentes. De início, apresentam-se os resultados objetivos a partir da avaliação dos parâmetros técnicos dos produtos e o comportamento do maker em alguns dos episódios da sua jornada. Na sequência, apresentam-se os parâmetros afetivos através das avaliações subjetivas por parte de especialistas da área de impressão 3D: entrevistas, questionários e a Roda das Emoções.

O capítulo 5 intitulado de Considerações Parciais e Diretrizes Gerais apresenta uma reflexão sobre os resultados alcançados e sugere uma proposta preliminar do mapeamento da jornada dos autores do processo DD (co-criador/cliente e maker) contemplando as principais dores identificadas em cada episódio ao longo da pesquisa. Com essa estratégia de apresentação dos resultados foi possível refletir e apresentar as diretrizes gerais para a produção e distribuição de produtos através do design distribuído a partir de dois pontos de vista: 1) Diretrizes para as plataformas online 2) Diretrizes de boas práticas para laboratórios independentes.

O capítulo 6 chamado de Conclusão apresenta as considerações finais do estudo; respostas às perguntas levantadas no início da investigação, dando ênfase à síntese dos resultados obtidos com o estudo. São apresentadas as limitações do estudo e a proposição de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa seção traz à tona os pressupostos teóricos que contextualizaram e sustentaram a pesquisa de mestrado, para além dos muros da academia. A fundamentação teórica da pesquisa foi desenvolvida a partir da tríade: Design - Engenharia - Psicologia, com a ramificação dos tópicos e subtópicos sobre os temas apresentados na figura 2 e dos resultados das revisões sistemáticas da literatura realizadas citadas no quadro 1.

2.1 FABRICAÇÃO DIGITAL (FD)

De acordo com Barros (2011), a fabricação corresponde ao processo de projeto e produção para a transformação da matéria prima em artefatos físicos, manualmente e/ou com o uso de maquinário apropriado. A denominação fabricação digital para Selly (2004) dar-se a partir da digitalização da prática do design e da engenharia, ou seja, vem sendo empregada para descrever processos de projeto e produção que utilizam desenhos assistidos por computador (CAD), associados com manufatura auxiliada por computador (CAM), além de outras tecnologias de modelo de informação da construção (BIM) e engenharia assistida por computador (CAE).

Entretanto, Armstrong (2019) percebe a fabricação digital como o processo todo, até a chegada ao produto final. A autora define a FD como um processo onde as máquinas estão controladas por um computador que comumente são: as Impressoras 3D, Cortadoras laser e Routers CNC (Controle Numérico por Computador) e as tecnologias de projeto correspondem a programas computacionais que possibilitam desde o simples controle vetorial até a manipulação paramétrica de modelos virtuais.

Nesta pesquisa foi entendido que a fabricação digital corresponde ao processo de software e de construção de um artefato, permitindo ao designer criar novos produtos físicos e testar rapidamente em comparação aos processos de manufatura tradicionais. As tecnologias que atendem a esse processo de fabricação podem construir fisicamente os artefatos através de camadas ou planos geométricos usando materiais específicos (ALVARADO e BRUSCATO, 2009).

O lado positivo desse processo é poder entender através de testes concretos e rápidos as falhas e possíveis melhorias que podem ser consideradas no processo de

design. Por outro lado, aumenta a expectativa dos clientes e usuários para a configuração do produto final que, algumas vezes, não é atendida.

A partir desse novo método de fabricação, Peek (2019) reflete que a fabricação digital representa a promessa de um ecossistema de produção radicalmente diferente. As pessoas podem produzir localmente, sob demanda e a tempo com apenas mudanças no código do arquivo. Todavia, negar quase dois séculos de modelos de consumo humano não pode acontecer da noite para o dia.

...Passar das compras para a produção, do descarte para a reutilização, e do sistema "products - in - trash - out" (PITO) para o sistema Data-in-data out (DIDO) levará não apenas uma remodelação do comportamento humano, mas também da infraestrutura que este novo sistema precisa... (PEEK, 2019).

Os autores ainda defendem que a fabricação digital pode vir a competir com a manufatura tradicional, mas para isso, o custo da produção precisa ser reduzido ao ponto de ser melhor do que as alternativas atuais.

Isto posto, cumpre salientar que o presente trabalho foi produzido no momento histórico da pandemia do novo coronavírus (SARS-Cov-2) que causa a doença denominada Covid-19, e a percepção atual é que o mundo deixou de ser fisicamente global para ser extremamente digital, interconectado através de redes virtuais.

Para exemplificar este novo momento de consumo e produção local, foram selecionados projetos feitos através de distintas técnicas de fabricação digital (**Bottle Farm**; **Print your city & Zero WasteLab** e **LampOne, LampTwo**) que podem ser replicados através do envio de dados sem a necessidade de enviar a matéria ao local de produção.

Nestes exemplos, em função dos autores serem de áreas distintas (engenharia, eletrônica e o design), trabalharem de forma colaborativa e suas peças serem construídos em sistema de design distribuído, os autores desta pesquisa entendem que se trata de produtos de design que possuem comprometimento dos aspectos estéticos em detrimento aos aspectos práticos e de significado.

BottleFarm: O BottleFarm é um sistema de reutilização de garrafas PET com componentes fabricados através de impressoras 3D. A ideia é que uma garrafa PET

se transforme em um produto utilitário (horta caseira), Figura 3. O artefato pode ainda ser adaptado às necessidades do consumidor, uma vez que tem um design flexível em sua função, o que o torna escalável e sustentável em qualquer parte do mundo.

O produto incentiva a agricultura local, o que faz com que a pegada de carbono em relação ao consumo de alimentos diminua consequentemente. De acordo com os projetistas do projeto, a ideia evita o transporte e a embalagem durante todo o processo de consumo de alimentos.

Figura 3 – Sistema de reutilização de garrafas PET



Fonte: Kickstarter.com (2020)

Print your city & Zero Waste Lab: Esta proposta foi criada pelo The New Raw Studio com seu projeto "Print your city & Zero WasteLab", Figura 4. O objetivo foi criar móveis urbanos impressos em 3D a partir dos resíduos plásticos da própria cidade, adaptando-se às novas técnicas de produção e, ao mesmo tempo, transformando um resíduo de consumo rápido em um projeto de anos de durabilidade.

Figura 4 – Móveis Urbanos Impressos em 3D



Fonte: <https://distributeddesign.eu/> (2020)

LampOne, LampTwo: Esta lâmpada foi projetada por Ewan Alston de Londres a partir de materiais simples e locais, como um elástico e um cabo de vassoura. Com a ajuda da impressão 3D foi possível criar componentes e mecanismos que interpretam a modularidade do sistema de adaptação a diferentes necessidades, Figura 5.

Figura 5 – *Lamp One, Lamp Two*

Fonte: <https://distributeddesign.eu/> (2020)

A seguir, uma reflexão entre os processos de fabricação tradicionais (subtrativos) e contemporâneos (aditivos) mais usuais em laboratórios independentes e que podem juntos apoiar a fabricação digital.

2.1.1 Manufatura subtrativa x Manufatura Aditiva

Os sistemas subtrativos consistem em extrair matéria prima através de fresas, facas, laser ou plasma, em mesas de trabalho com equipamentos deslizantes ou braços robóticos, executando as operações de corte e/ou rebaixo. Estes processos variam em função do tipo de material e da escala de trabalho adotada (LEFTERI, 2012).

Dentro dos laboratórios de fabricação digital podemos encontrar máquinas com estas características e que possuem a tecnologia CNC (controle numérico por computador) para criar cortes mais precisos e replicáveis, ex: cortadora laser e Router CNC.

A Router CNC é usada para criar formas bidimensionais em materiais no formato de chapa, placas, painéis e lâminas, é capaz de gerar uma variedade de formatos, com relativa facilidade na operação e baixo custo de aquisição. Os materiais utilizados neste processo são madeiras, polímeros e alumínio, entre outros (SEELY, 2004).

A Cortadora Laser (Laser Cutter) trabalha com chapas e materiais como madeira, papel, polímeros, metais e cerâmicos e, assim como a Router CNC, pode gerar diversos formatos, mas, normalmente, é limitada pela operação de corte e gravação em duas dimensões (2D), embora equipamentos especiais possuam a função de usinar (2.5D). Uma típica vantagem do processo a laser é diminuir o desgaste do equipamento pois, não há contato com o material, contudo, o calor gerado por este processo pode alterar a superfície de determinados materiais (BARROS, 2011).

Já a Manufatura Aditiva (MA) ou também conhecida impressão 3D funciona agregando material camada por camada até obter o produto projetado previamente modelado em 3D em um computador. Esta tecnologia é facilmente encontrada tanto nos laboratórios de fabricação digital como nas grandes indústrias e possibilita a criação de produtos mais complexos (EVANS, 2012).

A indústria 4.0 está interconectada com a MA e pode contar com os benefícios impressão 3D para a formatação e produção de novos produtos, aumentando o escopo de possibilidades para os designers e projetistas criarem formas que dificilmente poderiam ser produzidas com os métodos de manufatura subtrativa ou tradicionais.

Um exemplo de produto formatado para um conjunto de métodos de fabricação (subtrativa e aditiva) formando uma cadeia de processos é o apresentado na Figura 6. Este artefato pode reduzir significativamente os tempos e custos para o desenvolvimento, pois possui os elementos de união fabricados por impressão 3D FFF, eliminando o uso de solda, ao mesmo tempo que seus componentes estruturais são fabricados por Router CNC e corte de perfil metálico.

Figura 6 – Produto fabricado usando técnicas de manufatura aditiva e manufatura subtrativa



Fonte: 3D criar encontrado em <https://3dcriar.com.br/> (2020)

Segundo Peek (2019), graças ao movimento maker, as impressoras são mais acessíveis, mais fáceis de usar e amplamente disponíveis do que nunca. Entretanto, um só tipo de máquina não pode atender às necessidades de todos os tipos de produção. Os Bens complexos, tais como dispositivos computacionais, analíticos ou pessoais, requerem múltiplos processos interligados em fluxos de trabalho.

Diante dessa reflexão podemos traçar um paralelo com os achados de Gershenfeld (2012) quando ponderou sobre a invenção do micro-ondas na década de 1950: naquele ano, vários autores publicaram artigos que proclamavam o micro-ondas como o futuro para a cozinha e que era um objeto revolucionário, mas que não iria alterar os demais processos na cozinha. Da mesma forma, a manufatura aditiva dificilmente conseguirá substituir todos os métodos de fabricação já existentes.

A fabricação aditiva pode tanto criar novas oportunidades em design, quanto gerar novas rotas de fabricação para vários produtos. Ela também pode atuar como uma ferramenta de suporte de design para apenas fornecer "recursos de personalização" com valor agregado, a fim de satisfazer as necessidades individuais dos usuários finais (CHUA, 2017; ABDUL, 2016).

Uma das ferramentas mais versáteis na área de prototipagem e que vem acompanhando o processo de digitalização da disciplina do design é a tecnologia FFF (*Fabricação por Filamento Fundido*). No entanto, ainda cabem algumas perguntas se esta tecnologia está apta a satisfazer a qualidade de produtos em nível de produto-piloto ou de produtos finais para o consumidor.

A tecnologia FFF é a mais utilizada no formato de uso pessoal, seguida das impressoras SLA (estereolitografia). Ambas trabalham por adição de camadas, sendo que a primeira funciona através da fusão de polímeros termoplásticos, enquanto a segunda, com resinas líquidas fotossensíveis que solidificam quando expostas ao laser ultravioleta, os polímeros termofixos. O consumo para uso pessoal dessas impressoras vem crescendo rapidamente pela acessibilidade econômica no mercado e são as mais usuais em FabLabs, especialmente no Brasil, que possui o maior número de laboratórios em latinoamérica.

Além das impressoras FFF e SLA, existem outras, de porte industrial, como a SLS (Selective laser sintering) e a Polyjet. A SLS é compatível com uma ampla gama de materiais, como metais e termoplásticos de engenharia, incluindo Nylon. Já a Polyjet é capaz de imprimir em distintas cores através de fotopolímeros curáveis em uma bandeja de montagem, criando detalhes excepcionais, precisão e suavidade da superfície. Esse tipo de impressora é mais difícil de ser encontrada em espaços abertos de fabricação, devido ao elevado custo, embora existam alguns FabLabs que possuem as impressoras SLS e Polyjet com acesso à comunidade.

2.1.2 Materiais para Fabricação Digital

Assim como os métodos de fabricação digital são definidos em dois grandes grupos, (subtrativo e aditivo) definiremos os materiais da mesma forma, sendo assim, um grupo de **materiais para a tecnologia subtrativa**, especificamente para as máquinas, Router CNC e cortadoras laser, e os **materiais para a tecnologia aditiva** especificamente para as impressoras 3D FFF.

As propriedades dos materiais são estruturadas em atributos organizados de acordo com as suas características físicas, mecânicas, térmicas, elétricas, ópticas, ecológicas, de processamento, acústicas e táteis, entre outras. Os materiais para fabricação digital estão condicionados aos atributos de processamento da matéria prima. Os sistemas aditivos realizam a transformação do estado físico do material, geralmente sólidos, gases e líquidos são submetidos a processos térmicos e, desta forma, são manipulados para gerar os componentes desejados (ALVARADO e BRUSCATO, 2009).

Já os sistemas subtrativos, por sua vez, utilizam materiais em estado sólido e com formatos pré-estabelecidos. Estes sistemas abrangem um grande número de materiais, como madeiras, polímeros e metais utilizando diversos processos para subtrair o material e realizar as operações de corte e usinagem (LEFTERI, 2012).

As máquinas de fabricação subtrativa podem ser usadas para materiais macios, como o painel de fibras de média densidade (MDF) e compensado. Estes são os mais usados dentro dos laboratórios de fabricação digital devido aos baixos custos, diferentes aplicações e espessura como mostra a Figura 7. Outros materiais frequentes dentro dos laboratórios são os polímeros como o acrílico, e as madeiras processadas: compensados, MDF laminado, aglomerado e cartonado, além dos couros e tecidos sintéticos.

Figura 7 – Materiais e formatos para manufatura subtrativa.



Fonte: O autor

Algumas peças produzidas através da AM, em contraste, podem ter vazios devido a parâmetros de processo ou como o projeto foi introduzido na máquina, enquanto as peças CNC normalmente são mais homogêneas e capazes de prever a qualidade. (GIBSON, 2010). As impressoras 3D FFF funcionam com material termoplástico, aqueles que conseguem adotar uma nova forma depois de ter passado por um processo de calor o suficientemente alto para deformar o material. O formato dos termoplásticos para impressão 3D está disponível comercialmente em forma de filamentos como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Filamentos dos materiais de impressão 3D



Fonte: <https://all3dp.com/> (2019)

A fabricante especifica o tipo de polímero, a temperatura de extrusão, a temperatura da base e o diâmetro do filamento. Os filamentos com diâmetro de 1,75 mm são amplamente utilizados devido à sua facilidade de arrasto em comparação com os de 3 mm. Um menor diâmetro também permite uma maior resolução na impressão do modelo pretendido. A temperatura da base deve ser regulada para facilitar a adesão das primeiras camadas e assim evitar desvios e deformações. (REGADAS, 2017).

O avanço da impressão 3D FFF catalisou uma ampla quantidade de pesquisas e desenvolvimentos de novos materiais para a manufatura aditiva disponíveis no mercado. No Brasil, o material mais usado continua sendo o PLA (Poli Ácido Láctico) por operar com temperaturas mais baixas tanto para fusão do material (190-220° C) quanto para temperatura da base (20-60° C), sendo suficiente a temperatura ambiente para executar a impressão. O PLA vem sendo considerado o termoplástico biodegradável mais amigo do meio ambiente uma vez que é feito a partir de recursos renováveis, tais como o amido de milho e a cana-de-açúcar.

Diante do exposto, a Tabela 1 foi criada com base nas referências de Rohringer, (2020) e apresenta uma relação entre a temperatura de fusão dos materiais disponíveis no mercado brasileiro, o custo por kg do filamento e as características mecânicas e de tratabilidade do material.

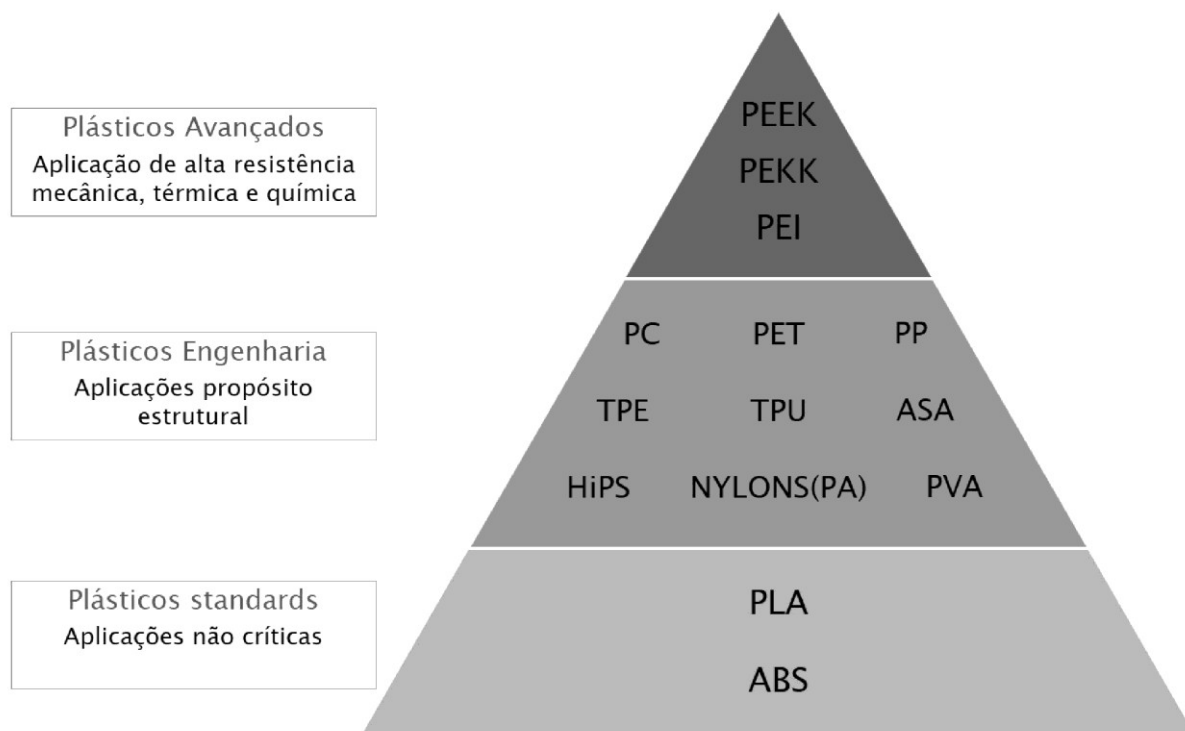
Tabela 1 – Especificações de materiais para imprimir em 3D.

Material	Temp. de fusão (°C)	Temp. da base (°C)	Resistência mecânica	Durabilidade	Contração	Dificuldade de uso	Preço R\$/ 1kg
PLA	190 – 220	20 – 60	Média	Baixa	Baixa	Baixa	80
ABS	185 – 235	90 – 110	Alta	Média	Média	Média	80
PVA	180 – 220	50	Baixa	Baixa	Média	Média	160
HIPS	220 – 235	115	Alta	Alta	Média	Média	100
PET	210 – 220	20-65	Alta	Média	Média	Baixa	120
PC	280 – 305	85 – 95	Alta	Alta	Alta	Média	240
NYLON	225 – 240	20 – 40	Alta	Alta	Alta	Média	250
TPU	220 – 240	50 – 80	Média	Alta	Média	Média	150
Legenda							
Positivo		Moderado		Negativo			

Fonte: Elaboração do autor com referência de (ROHRINGER, 2020; REGADAS, 2017)

A escolha pelos materiais ABS e PLA em laboratórios independentes ocorre pela facilidade de impressão bem como pela relação custo x benefício (REGADAS, 2017). Estes materiais apresentam propriedades mecânicas e de resistência à abrasão similares, todavia, a grande vantagem do ABS sobre o PLA se apresenta sobre o objeto impresso, pois possui melhor desempenho de resistência térmica. Com relação às questões estéticas, tanto o ABS quanto o PLA estão comercialmente disponíveis em uma grande quantidade de cores.

Figura 9 – Pirâmide de tipos de plásticos utilizados para a impressão 3D comparado com a sua área



Fonte: filament2print.com (2018)

De acordo com a figura 9, os materiais ABS e PLA são classificados como plásticos *standards*. Isso significa que quando comparados com os plásticos de engenharia e avançados são selecionados para aplicações em produtos que demandem serviços não críticos, ou seja, produtos que não necessitem de uma alta resistência mecânica.

Os plásticos classificados como de engenharia e avançados também são usados na MA, porém normalmente, são demandas de laboratórios fechados ou de indústrias direcionados para a fabricação de produtos finais ou propósitos estruturados de alta performance mecânica, química e térmica.

2.1.3 Design para Manufatura Aditiva (DFAM)

O Design para Manufatura e Montagem (DFM) pode ser interpretado como sendo um método de design, no qual os projetistas devem adaptar seus projetos para eliminar as dificuldades de fabricação e minimizar os custos de fabricação, montagem e logística. Entretanto, as tecnologias de fabricação aditivas oferecem a oportunidade de repensar o DFM para explorar as especificidades de cada

tecnologia (GIBSON, 2010). Assim, as práticas de DFM vêm sendo adaptadas por alguns autores para a manufatura aditiva.

Para Gibson (Op. Cit) o objetivo do DFAM é maximizar o desempenho do produto através da síntese de formas; tamanhos; estruturas hierárquicas e composições de materiais, em acordo com a capacidade de cada tecnologia. O autor defende que projetos de produtos em MA:

- Permitem o uso de geometria complexa para atingir os objetivos do projeto sem incorrer em penalidades de tempo ou custo em comparação com a geometria simples;
- Permitem o uso de geometria personalizada e peças por produção direta a partir de dados 3D;
- Consolidam e integram peças mais complexas, evitando problemas de montagem;
- Ignoram todas as restrições impostas pelos processos de fabricação convencionais, embora existam restrições específicas de MA.

A MA apresenta limitações diferentes daquelas impostas pelos métodos subtrativos, assim, o DFM não se aplica no âmbito dos processos de MA. À medida em que a impressão 3D expande da prototipagem rápida para os produtos finais estas diferenças ficam mais evidentes. Segundo Durakovic (2018) para que os projetistas se beneficiem com a MA, na prática, é preciso aprender a pensar "fora da caixa", uma vez que o conhecimento, o método, as ferramentas e as regras de design são diferentes para o DFAM, especialmente nos casos de projetos de soluções industriais robustas.

O DFAM consiste em uma metodologia para criar os arquivos a serem impressos em 3D com o objetivo de alcançar sua máxima eficiência. Assim, é fundamental que o desenvolvedor do produto verifique sistematicamente as etapas do processo de fabricação aditiva para prever possíveis falhas.

Para atuar com o DFAM é essencial a escolha adequada dos processos de produção, pois a abordagem de projeto na manufatura aditiva é orientada ao design de conjuntos, ou seja, à fabricação parcial ou total do artefato de maneira aditiva. É importante definir quais serão os componentes produzidos através de manufatura aditiva ou através de outros métodos de fabricação (SOSSOU, 2018).

Segundo Kadkhoda-Ahmadi (2019) o DFAM auxilia o projetista a avaliar o produto fabricado em MA, desde o momento de selecionar o material até o de elencar os processos de fabricação mais adequados, através de critérios como: tempo de fabricação; custo e precisão. Todavia, a complexidade do DFAM reside na interdependência das regras de software, hardware e materiais, sendo essencial integrar todo esse conhecimento para dar suporte às escolhas (MATHIEU, 2018).

No DFAM a solução de projeto deve considerar a avaliação de fabricação em três níveis: a verificação, a quantificação e a otimização. A verificação da capacidade de fabricação é apresentada pelas regras de projeto da MA, mas o estudo sobre a quantificação e otimização da capacidade de fabricação é uma área em potencial que deve ser aperfeiçoada (ASADOLLAHI-YAZDI et al, 2018).

Muitos investigadores e profissionais da indústria propuseram várias diretrizes para a MA, no entanto, as diretrizes produzidas até a data têm uma utilidade limitada para o público iniciante e *hobbistas* da impressão 3D. A maioria das diretrizes discutem assuntos já habitualmente compreendidos pelos usuários (por exemplo, que a MA permite geometrias complexas) ou para além do público, (por exemplo, como produzir específicas características de uma peça dentro de um produto) (BOOTH et al, 2017).

Para os mesmos autores as propostas de diretrizes para imprimir em 3D tendem a ser específicas para uma ou duas tecnologias de manufatura aditiva, mas não existe uma generalizável para todas. Como proposta para o uso pessoal do DFAM, Booth et al (Op. Cit) criaram uma ficha de trabalho que pode ser utilizada na fase conceitual do projeto, e deve ser usada antes da fabricação de uma peça (Anexo 1).

Esta ficha de trabalho contém oito categorias com o fim de avaliar uma peça para imprimir em 3D, elas estão divididas em: a) Complexidade; b) Funcionalidade; c) Material de suporte; d) Lugares sem suporte; e) Espessura da peça; f) Concentração de estresse; g) Tolerância de encaixes e; h) Exatidão na geometria. As categorias são divididas em colunas, numa escala de nível de dificuldade apresentada abaixo das respectivas categorias. Quanto maior é o grau de dificuldade, mais elevado será o resultado de cada uma das categorias.

O usuário deve preencher a ficha marcando a escala de cada categoria com relação ao produto que pretende imprimir. Depois de preenchida a ficha, se realiza o somatório das pontuações de todas as categorias numa mesma linha para obter um

resultado final, e, posteriormente, realiza-se o somatório dos totais de todas as linhas para alcançar o resultado final, sendo este, a partir da pontuação mínima de 8, e a pontuação máxima de 40.

Com base neste resultado, a ficha indica as ações que o usuário deve realizar a partir de quatro grupos. Se o resultado tiver uma pontuação entre 33 e 40 pontos, significa que o produto precisa de um re-design ou pensar em outro método de fabricação. Se o resultado for entre 24 e 32 pontos, significa que o usuário deve considerar um re-design. Se o resultado for entre 16 e 23 pontos, significa que o produto possui uma possibilidade de êxito moderado, e por último se o resultado for entre 8 e 15, significa que o produto possui uma alta probabilidade de sucesso.

Os autores desta pesquisa acreditam que o acesso ao método DFAM pode melhorar a performance dos produtos fabricados em laboratórios independentes e, por isso, este trabalho adotará como referência os itens desta ficha para elaborar os questionários de investigação do grau de domínio dos *makers* sobre as regras de software, hardware e materiais para impressão 3D.

2.2 DESIGN DISTRIBUÍDO

O Design Distribuído é o resultado da interseção de duas tendências globais: o Movimento *Maker* e a digitalização da disciplina de Design. Essa convergência levou ao surgimento de um novo mercado, no qual indivíduos criativos possuem acesso às ferramentas digitais que lhes permitem projetar, produzir e fabricar produtos ou se conectar facilmente a uma rede global de colaboradores para realizar entre si aspectos desse processo (*Distributed Design Market Platform*, 2018).

Essa colaboração digital pode ser expressa no movimento *open source* que incentiva a centenas de milhares de pessoas que atuam como nodos em grandes redes de criação de valor digital produzindo bens tais como conhecimento, ciência, software, serviços, conteúdos virtuais e produtos físicos. Acima de tudo, estes bens estão disponíveis para qualquer pessoa que se sinta livre de poder adquirir esse conhecimento e transformá-lo em produto (DIEZ 2019).

A fabricação de produtos e o design distribuído, desvinculados da indústria tradicional, têm a oportunidade de considerar as tecnologias e os atores totalmente livres da estrutura industrial tradicional vigente, criando um ambiente fértil à experimentação. Todavia, alguns problemas técnicos comuns já podem ser sentidos

diante desta novidade em ambientes abertos: a insuficiência no tempo de pré-aquecimento da máquina; as falhas mecânicas na impressora e a geometria inadequada das peças. Para esta última, acredita-se que a competência do desenvolvedor do produto também deve ser investigada.

A novidade desse processo de criação livre permite refletir sobre a complexidade dos processos de produção e de consumo, propondo encontrar novas realidades sociais, novos processos criativos, novos modelos econômicos e novas formas de atribuir valor aos produtos. Entretanto, neste contexto de falhas, onde os laboratórios não possuem as mesmas especificações de máquinas e os parâmetros técnicos do equipamento podem variar, há um aumento no consumo de materiais e de energia, o que compromete os benefícios ambientais da tecnologia FFF (GRIESER, 2019).

Alguns autores da área apontam que para a criação de um artefato em fabricação digital é necessário o domínio de três dimensões do processo: o Software, o Hardware e os Materiais. Sendo o domínio do Software, a fase da projeção da ideia e formatação dos arquivos; o domínio do Hardware, a fase de decisão dos parâmetros de injeção da impressora 3D e por fim, o domínio dos Materiais, a fase de seleção dos polímeros (caso da FFF). A escolha incorreta de uma máquina ou de um material para a produção de um certo produto é uma das principais causas de falhas e custos desnecessários nos FabLabs. (ROMEIRO et al; 2010; COSTA, 2018).

Os autores desta pesquisa acreditam que o desafio do design distribuído é atender as demandas de produção local da forma mais ágil possível, unificando ou criando uma linguagem comum entre os *makers* a fim de disponibilizar os arquivos para os distintos processos de produção dentro dos laboratórios independentes.

2.2.1 Movimento Maker: Fablabs & Laboratórios Independentes

O Movimento *Maker* é uma descrição ampla que engloba uma grande variedade de atividades, desde o artesanato tradicional até a eletrônica de alta tecnologia, muitas das quais já existem há muito tempo dentro da cultura DIY (*Do it yourself*).

Em 2013, Anderson descreve os *makers* através de duas características: primeiro, estão criando produtos novos usando ferramentas digitais como softwares de modelagem 3D que lhes permitem cada vez mais produzir através de máquinas

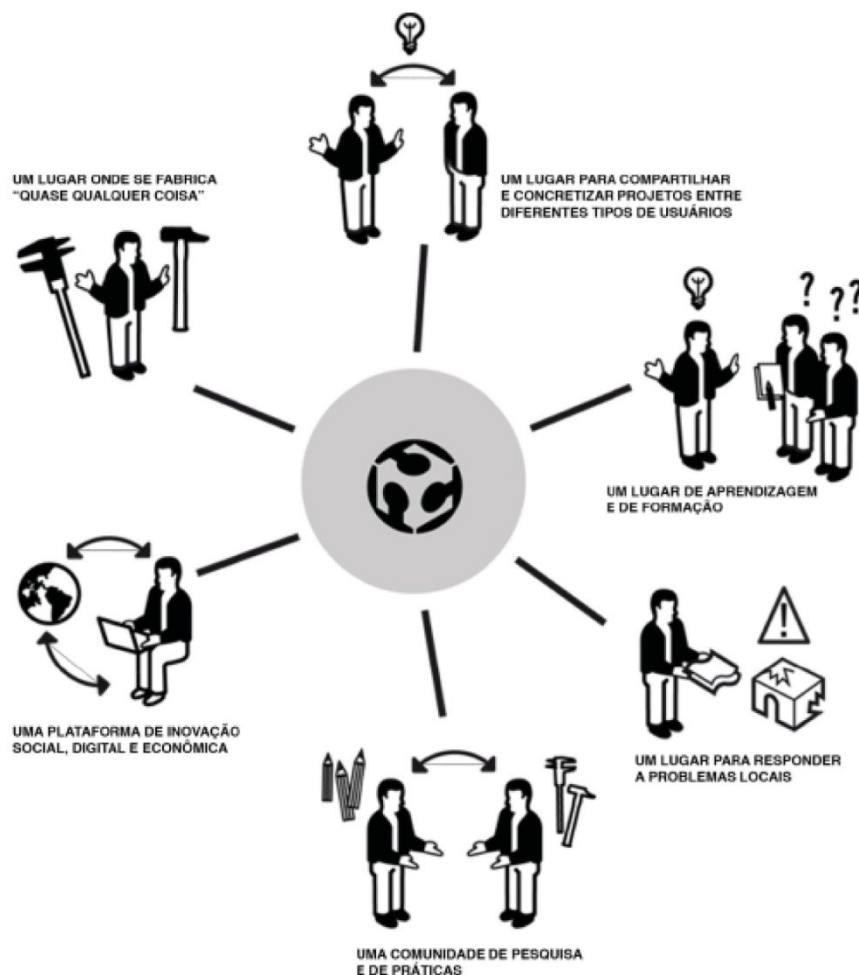
de fabricação digital e; segundo, os *makers* são a geração conectada com comunidades de todas partes do mundo, assim intuitivamente, compartilham suas criações de forma online.

Desta forma a combinação de trazer a cultura de um mundo interconectado com a colaboração para o processo de fabricação de produtos está criando uma rede de conhecimento e fabricação em uma escala nunca antes vista no DIY (ANDERSON, 2012).

O compartilhamento de ideias, projetos e conhecimentos através de espaços digitais e físicos como os *fablabs* nos leva a uma colaboração em massa na criação de um movimento conhecido como "Movimento *Maker*". Este movimento foi criado em 2001, com a fundação FabLab do programa *Center for Bits and Atoms do MIT (Massachusetts Institute of Technology)* pelo professor *Neil Gershenfeld* com o objetivo de disponibilizar uma estrutura de suporte operacional, educacional, técnico, financeiro e logístico a cada laboratório, para que os *makers* tivessem a oportunidade de encontrar um espaço de trabalho na maioria das principais cidades do mundo (Figura 10).

O objetivo era que esses laboratórios fossem equipados de tal forma que fosse possível fazer quase tudo nesses espaços visando o desenvolvimento tecnológico e social" (FERNANDEZ, 2014)

Figura 10 – As distintas áreas de atuação que oferece os Fablabs



Fonte: <https://fabfoundation.org/> (2019)

Atualmente, o FabLab é uma rede internacional de laboratórios integrados espalhados pelo mundo todo, onde existe uma importante interconexão entre os laboratórios através de workshops, eventos físicos e online para assim trocar experiências, processos e utilizar os serviços de maquinários de outros FabLabs. Segundo a informação dos sites da rede mundial de FabLab¹, existem mais de 2.000 laboratórios associados em mais de 100 países ao redor do mundo. No Brasil, estão cadastrados na rede FabLab mais de 95 laboratórios.

De acordo com a rede FabLab, os laboratórios de fabricação digital precisam adotar as seguintes características para poder fazer parte da plataforma:

¹ As informações para as características e o levantamento de número de laboratórios foram extraídas do site www.fablabs.org e fabfoundation.org.

- (a) Abrir suas instalações para o público, em geral ao menos uma vez por semana, de forma gratuita;
- (b) Compartilhar suas ferramentas, processos e projetos com outros laboratórios (comunidade global);
- (c) Participar da comunidade global de Fablabs de forma ativa, cooperando em iniciativas e projetos;
- (d) Possuir, como requisitos mínimos de maquinário, uma impressora 3D, uma cortadora a laser, uma cortadora de vinil, uma fresadora de pequeno formato e outra de grande formato.

Os FabLabs estão conceitualmente estruturados sobre três modelos que são basicamente:

- (a) *Negócios e Empreendimentos* - com uma plataforma aberta e podem funcionar como incubadoras além do incentivo da produção local e produtos sobre demanda fabricado pelos makers que frequentam o espaço;
- (b) *Comunidades e Sustentabilidade* - para o desenvolvimento de comunidades menos favorecidas e desenvolvimentos de projeto que tenham impacto social e ambiental e;
- (c) *Educação e Pesquisa* - Para laboratórios que estão dentro das universidades ou aqueles que já nascem com um caráter educacional.

Neste último, a principal plataforma é o FabAcademy que promove a aprendizagem tecnológica, de negócios e de infraestrutura, como também, realiza projetos com jovens e crianças com o FabLab Kids.

Um exemplo de sucesso de FabLab no modelo de Educação e Pesquisa pode ser encontrado na cidade de Recife PE. O FabLab Recife² possui um programa chamado “Jornada Maker”³ que pretende trazer para a escola pública um novo olhar sobre a aprendizagem. Educadores e estudantes juntos, construindo um novo modelo de articulação das vivências pedagógicas, a partir de desafios, práticas e do desenvolvimento de projetos. A Metodologia foi desenvolvida em parceria com a

² Para conhecer mais, acesse: Fablabrecife.com

³ Texto disponível em: <https://www.fablabrecife.com/o-que-fazemos/educacao-maker/jornada-maker/>

UFPE e tem sido implementada nas escolas da Rede Municipal de Ensino do Recife, como quadrante integrante dos laboratórios de ciência e tecnologia.

Para que esse sistema funcione, a rede deve ser regida por uma Charter ⁴ (carta de princípios) que foi escrita em 2007, nela constam os princípios que devem ser seguidos, fortalecendo os princípios da rede.

Sobre os equipamentos e máquinas que atuam nos FabLabs, a impressora 3D FFF é a tecnologia mais popular, esta consiste em um método de produção que atua agregando seletivamente um material, camada por camada, sendo controlado numericamente por computador (CNC) com a vantagem de criar formas mais complexas do que os métodos de manufatura tradicionais.

Dentre seus benefícios, está o de conseguir criar protótipos e produtos com menor número de componentes, tornando os processos de montagem mais ágeis e eficientes. A tecnologia FFF é o tipo de impressora 3D mais usada pelos FabLabs devido ao seu baixo custo e por possuir as características de uma máquina open source, caracterizada pela capacidade de ser replicada facilmente os arquivos.

A liberação de patente da FFF criou a possibilidade dos usuários possuírem impressoras de escritórios junto com as impressoras, DIY, conceito “Deskprint”, e hoje, são as mais populares. Esse fenômeno incitou os makers e outros atores a adquirir os equipamentos e criar o que denominamos de laboratórios independentes.

Nesta pesquisa, considera-se um laboratório independente aqueles indivíduos que possuem impressoras 3D em casas ou em locais pequenos para gerar renda, normalmente cadastrados em plataformas digitais de conexão com os consumidores.

A ideia destas plataformas é aproximar o consumidor final do maker e assim, poder estimular um novo paradigma de produção, consumo e distribuição de produtos. Atualmente, existem algumas plataformas digitais de conexão: faber.in.com (Espanha) e Cammada.com e makerfind.org (Brasil), etc.

Uma vantagem destas plataformas é digitalizar o processo de criação e manufaturar qualquer produto a partir da integração de Designers, Produtores locais e Makers conectados ao redor do mundo. Esta digitalização abre a possibilidade dos projetos serem compartilhados e formatados virtualmente em redes. A esse fenômeno dar-se o nome de “design-remix-*share-repeat*”, ou seja, um designer pode

⁴ Texto disponível em: <http://fab.cba.mit.edu/about/charter/>

fazer o upload do arquivo na rede e este pode ser customizado para atender as demandas de outro usuário em qualquer coordenada geográfica do planeta.

Com isso, a produção e distribuição de projetos baixam os custos e se cumpre a missão de distribuir o conhecimento e os arquivos dos produtos de consumo, podendo ser produzidos localmente. Neste caso, a economia circular não fica atrelada à gestão do material, e sim, baseada na criação de valores de descarte de resíduos e a habilidade para formar esses resíduos novamente em produtos (DIEZ, 2019).

Um exemplo de produto feito para o reaproveitamento de material é o caso da "PlasticBottleRope", Figura 11, uma empresa sediada no Texas que propõe uma ferramenta com a função de desmaterializar garrafas PET em "cordas" suficientemente fortes para rebocar um trator e para criar outros produtos aplicando técnicas como o upcycling, chamado Pocket Sized Plastic Bottle Rope Maker. Este projeto objetivou aproveitamento máximo de material, pois os makers conseguem usar as sobras de materiais de projetos anteriores para diminuir o desperdício de material.

Figura 11 – Ferramenta com a função de desmaterializar garrafas PET



Fonte: <https://grimworkshop.com/>(2020)

Por fim, a ideia de reduzir ou remover as restrições industriais permite ao projetista: imaginar possibilidades e alternativas; desafiar sistemas e papéis já estabelecidos;

produzir em escala local e reduzir o impacto ambiental, através da diminuição da necessidade de transporte.

Essas mudanças no sistema de financiamento, de produção e de distribuição incentivam a autoprodução, onde o autor do projeto se torna responsável pela produção, comunicação e venda de seus produtos. Isso significa dizer que, possivelmente, estas pessoas, independente da área de atuação profissional, poderão ter a oportunidade e facilidade de operar e produzir os objetos dentro dos FabLabs (DIAS, 2014).

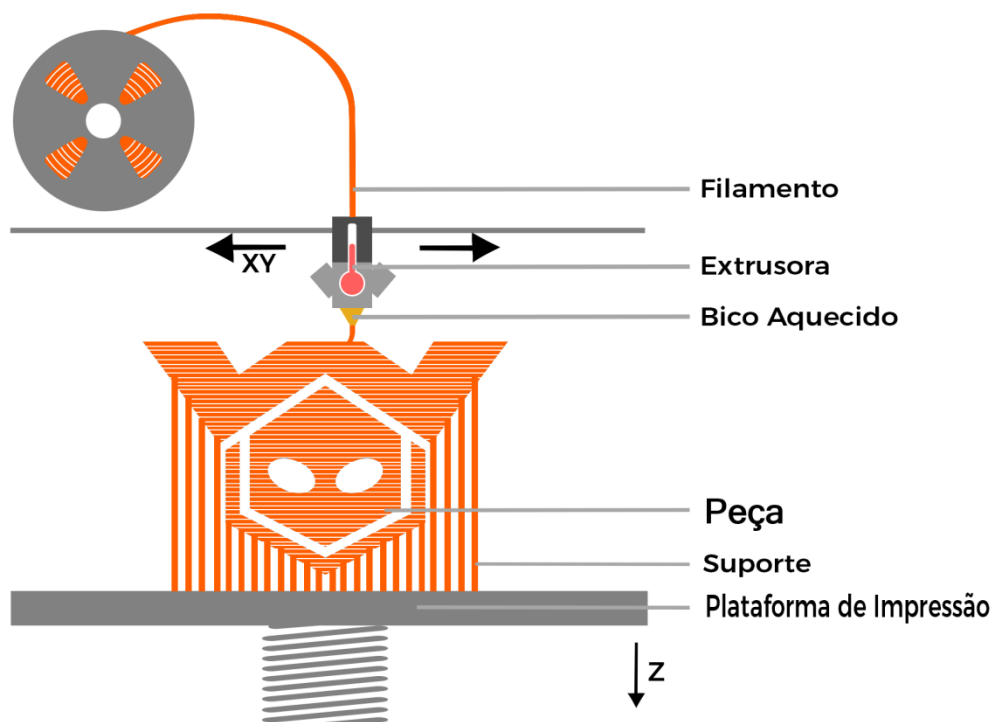
2.2.2 Fabricação por Filamento Fundido (FFF)

Como foi dito anteriormente, o motivo do aumento exponencial da impressora FFF foi a expiração da patente por parte da Stratasys⁵ somada ao aumento de softwares *open-source* disponíveis e de projetos como o RepRap e Fab@home cujo objetivo é o de produzir software gratuito e de código aberto para as impressoras 3D (REGADAS, 2017).

A partir da Figura 12 pode-se apreciar os distintos componentes e o funcionamento da máquina que constrói produtos de plástico por fusão e deposição de material. Primeiramente, o termoplástico em forma de filamento é aquecido pelo extrusor, que é um bocal integrado com uma resistência e um motor controlado que direciona o plástico para um bico que coloca o filamento em cima da plataforma de impressão.

⁵ Stratasys: Fabricante de impressoras 3D reconhecida mundialmente.

Figura 12 – Funcionamento e componentes de uma impressora 3D



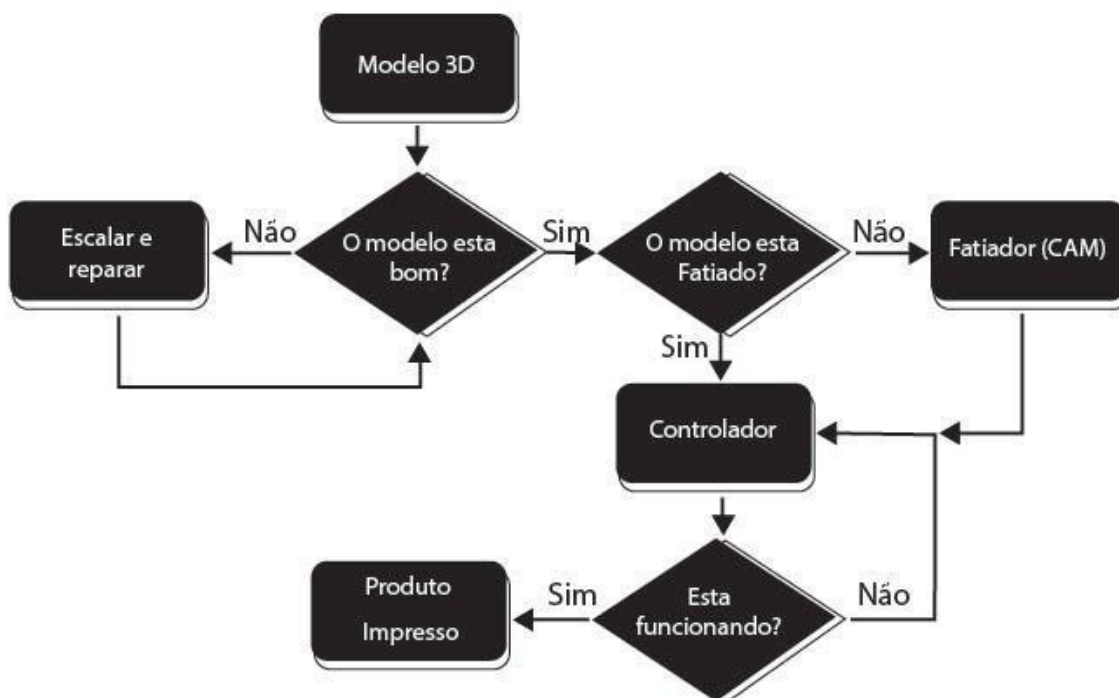
Fonte: www.wishbox.net.br (2019)

Este processo é controlado através da tecnologia CNC e de esta forma, uma camada de plástico é colocada em cima de outra, elas se fundem e, quando resfriadas, formam uma peça plástica sólida e durável.

Evans, (2012) exemplifica esse funcionamento como uma pequena e precisa pistola de cola quente enquanto a máquina cria objetos 3D camada por camada. Um fluxograma do processo que um usuário deve seguir para criar um produto impresso em 3D está apresentado na figura 12.

O usuário deve possuir ou criar um modelo 3D através de softwares CAD, tais como o SolidWorks ou Fusion 360. Se o produto estiver em boas condições, o modelo é exportado no formato. STL, que é o arquivo universal para a leitura dos softwares CAM de código aberto, este formato. STL consiste na definição do objeto 3D através de planos triangulares.

Figura 13 – “Workflow” do processo da impressão 3D



Fonte: Evans (2012)

Para obtenção dos parâmetros técnicos para a impressora 3D (g-code), o modelo STL é dividido em camadas através de um software fatiador (CAM) como: o *Cura*, o *Repetier* ou o *Slic3r*. Nesta fase, serão indicados os parâmetros como: velocidade de impressão; altura de camada; temperatura de matéria e suportes para imprimir a peça. Na sequência, o arquivo é exportado num formato. G-Code que conta com a informação para que o controlador da impressora 3D comande as operações.

O G-Code. é enviado através de um cabo, cartão de memória ou wi-fi para a impressora e por fim, a impressora estará pronta para funcionar. Segundo o fluxograma, se a impressora não funcionar é recomendado voltar para o software CAM e inserir configurações mais adequadas (REGADAS, 2017; Evans, 2012).

Como mencionado no subtópico 2.2.1, a tecnologia FFF é o tipo de impressão 3D mais comum em laboratórios independentes. Para compreender o estado da arte sobre a relação das tecnologias de adição, em especial, a FFF, com satisfação do usuário final foi realizada uma revisão da literatura (SANCHEZ e SILVA, 2020).

Os resultados da revisão bibliográfica, com base nos últimos 5 anos, apontaram que a impressão 3D FFF é a alternativa pior avaliada dentro das distintas tecnologias de manufatura aditiva, quando da preferência entre a manufatura

tradicional e a impressão 3D de produtos utilitários. Por outro lado, os casos mais satisfatórios da impressão 3D FFF ocorrem quando a tecnologia traz uma inovação disruptiva.

A seguir serão apresentados quatro casos que relatam como as pesquisas na área de tecnologias de impressão 3D, em especial a FFF, estão sendo conduzidas para avaliar a usabilidade dos produtos sobre a métrica da satisfação dos usuários finais.

O estudo de caso conduzido por Portnova et al. (2018) objetivou avaliar a relação dos aspectos de acessibilidade, customização, qualidade e funcionalidade de órteses através da sua fabricação na tecnologia FFF, Figura 14. O estudo concluiu que a impressão 3D possui o potencial de aumentar a acessibilidade de soluções médicas, assim como diminuir o tempo em que os médicos gastam na fabricação e melhorar as funções. Além de aumentar a disponibilidade de órteses confortáveis e esteticamente atraentes para adultos, a impressão 3D pode fornecer soluções de órteses para populações pediátricas e outros grupos com opções limitadas. Neste caso das órteses, existe uma diferença significativa entre os processos manuais e materiais usados anteriormente (gesso e fibra de vidro) e os processos computadorizados e novos materiais como polímeros que propõe a tecnologia FFF.

Figura 14 – Qualidade e funcionalidade de órteses através da sua fabricação na tecnologia FFF



Fonte: Portnova et al. (2018)

No estudo proposto por Boumaraf (2020) foi avaliado o impacto da impressão 3D e de softwares CAD na percepção espacial de estudantes de arquitetura. Conclui-se que o ensino do desenho arquitetônico pode se beneficiar da integração da impressão 3D na estrutura de aprendizagem. No mesmo sentido, o estudo conseguiu verificar que a impressão 3D FFF melhorou efetivamente a cognição e percepção espacial dos alunos e pode ser uma ferramenta útil para a apreensão do conteúdo. Existe a premissa de que a utilização dos modelos impressos em 3D apóia a lógica do design e melhora a compreensão profunda da percepção espacial entre os estudantes.

Por outro lado, o trabalho desenvolvido por Bacciaglia et al. (2020) que objetivou avaliar as vantagens e desvantagens relacionadas com a aplicação da MA na produção de peças para instrumentos musicais, fez uma comparação entre a fabricação tradicional e a MA com base em diferentes aspectos de qualidade do produto e fabricação. Como conclusão, os participantes perceberam a tecnologia SLA como a melhor solução de fabricação MA. O estudo apontou que a estrutura porosa das peças impressas em FFF não garantiram uma boa qualidade de som nos testes realizados.

De maneira mais ampla sobre fabricação aditiva, o estudo defende que a MA oferece uma alta capacidade de personalização e com uma boa relação custo x

benefício para produtos de séries de baixa produção. Os componentes para os instrumentos musicais obtidos usando a tecnologia SLA apresentaram um design preciso, uma boa seleção de materiais e som semelhante aos bocais comerciais.

E por fim, na pesquisa de Meng et al. (2019) foi estudado o impacto de acessórios de celular impressos em 3D com a percepção no conceito consumer-based brand equity (CBBE). O estudo concluiu que a percepção do design visual não melhora significativamente a marca baseada no consumidor (CBBE), em outras palavras, a customização do produto não é suficientemente relevante para aumentar a percepção visual do consumidor. Os resultados desse estudo incitaram mais duas questões: primeiro, se os compradores estão mais preocupados com os acessórios de suporte funcionais e de fácil uso do que os acessórios predominantemente estéticos? E segundo, se os usuários preferem a função de proteção e bom funcionamento dos acessórios sobre a customização de acessórios de telefone impressos em 3D?

Um relevante achado deste processo de RSL foi o fato de que dos sete (7) artigos classificados como de alta relevância, cinco (5) afirmaram que existe uma lacuna nas pesquisas realizadas na área de MA sobre a satisfação dos usuários e que, é preciso aumentar o número de investigações para estabelecer diretrizes básicas em relação aos fluxos de trabalho e metodologias aplicadas a esse novo processo de fabricação de artefatos. Esta tecnologia é atualmente estudada na área de engenharia e pouco estudada na área da Usabilidade e do Design Emocional.

2.3 QUALIDADE PERCEBIDA DOS PRODUTOS FABRICADOS POR ADIÇÃO

Uma das vantagens da manufatura aditiva, como vem sendo discutida nesta pesquisa, é a possibilidade de criar produtos customizados capazes de conciliar as demandas de cada indivíduo. Esse aspecto, sob o ponto de vista ergonômico, promove benefícios de adequação dos projetos a diferentes grupos populacionais (crianças, idosos e pessoas com deficiência etc.).

Desde as civilizações antigas o homem sempre tentou melhorias ergonômicas através da customização do produto. Moraes e Mont'alvão (2008) afirmam que existem exemplos de empunhadura de foices, datadas de séculos atrás, que demonstram a preocupação em adequar a forma da pega às características da mão humana, de modo a proporcionar mais conforto durante sua utilização.

As autoras indicam que enquanto a produção se dava de forma artesanal era possível obter formas úteis, funcionais e ergonômicas. Mas, com a chegada da produção em série padronizada de produtos, este intuito de customização e criação de produtos sob medida foi perdendo o sentido devido aos altos custos atrelados a essa demanda. Assim, os usuários, muitas vezes, acabam se adaptando aos produtos.

Mais recentemente, com a disciplina da ergonomia, os projetistas tratam de adaptar as interfaces das ferramentas e produtos num nível físico, psíquico e cognitivo através da diagnose ergonômica com o objetivo de identificar padrões de percentis humanos e criar produtos que possam ser usados por distintos grupos de indivíduos (MORAES E MONT'ALVÃO, 2012).

Diante deste cenário, a impressão 3D poderia ser uma solução adequada focada especificamente no indivíduo para obter produtos customizados fabricados por um processo de produção de caráter industrial. Isto possibilitaria obter custos competitivos no mercado com o valor agregado da personalização de produtos. Da mesma forma, o entendimento de como os usuários finais percebem essa nova tecnologia pode auxiliar os projetistas de produtos em um novo processo de design mais eficaz, eficiente e satisfatório.

No entanto, existem alguns desafios em relação à qualidade percebida do usuário, pois, esta tecnologia não está sendo percebida de uma forma positiva em todos os tipos de lugares para todos os tipos de artefatos.

Estudos como o de Meng (2019) descartaram a possibilidade dos usuários preferirem pagar 4 vezes mais por acessórios de celulares customizado fabricado através de FFF do que por um objeto fabricado em série através do processo injeção. Uma justificativa para isso pode ser encontrada em Norman (2006), quando afirma que "a tecnologia muda rapidamente enquanto as pessoas mudam devagar, pois a interação entre humano e produto é governada por nossa biologia, psicologia, sociedade e cultura." E, em Jordan (2002) quando defende que "a interação com os produtos se dá através da forma, cores e propriedades táteis dos materiais e, que a emoção provocada por esse contato é uma reação motora relacionada com a satisfação do usuário quando este deseja interagir com o produto".

Desta forma acredita-se que a percepção qualidade dos produtos da manufatura aditiva não se dá apenas no atendimento individual das necessidades

práticas e sim, pela satisfação das questões estético-simbólicas que afetam os usuários.

2.3.1 Avaliação da usabilidade dos produtos e a relação com a manufatura aditiva

A usabilidade tornou-se um conceito conhecido no contexto do design e da manufatura, mas, na prática, é muitas vezes visto como apenas um método de examinar e testar novos produtos antes do seu lançamento no mercado.

Enquanto conceito, a usabilidade é a medida para avaliar três princípios básicos que os usuários esperam encontrar em um artefato: eficiência, eficácia e satisfação. A **Eficácia** refere-se à extensão na qual uma meta é alcançada ou uma tarefa é realizada; a **Eficiência** refere-se à quantidade de esforço requerido para se atingir uma meta, ou seja, quanto menor o esforço, maior é a eficiência; enquanto que a **Satisfação** trata do nível de conforto que os usuários sentem quando utilizam um produto e também o nível de aceitação do produto pelos usuários para atingir as suas metas (JORDAN, 1998; PETERS et al; 2002).

A usabilidade de um produto pode ser testada pelos usuários e aplicada para fornecer informações úteis, e às vezes, essenciais sobre o sucesso dos produtos com o público-alvo. Os testes de uso são a fonte mais valiosa de informações sobre o desempenho de um produto, eles podem fornecer dados de qualidade para tomada de decisão sobre alterar um design ou de fazer um novo produto (MCCLELLAND, 1990).

A MA pode ser usada direta ou indiretamente, ora para prototipação ora como método de manufatura. De forma direta, transforma modelos digitais em modelos físicos para serem usados como produto final. No entanto, existem restrições em relação a cores, transparências e flexibilidade de materiais. Se comparada com a manufatura tradicional, a MA é usada apenas para produção de baixa escala, pois é oneroso produzir desta forma para grandes quantidades. Por outro lado, a MA, de forma indireta é utilizada para a criação de pilotos de produtos para serem testados antes da produção em massa tradicional. Dessa forma os custos baixam de forma significativa no processo de testes a avaliação da usabilidade do produto final (CHUA, 2017).

Alguns autores defendem que a avaliação de usabilidade precisa estar associada a um contexto de uso e, que este vem formatado pela relação entre: os usuários, a tarefa, o equipamento e o ambiente. E, quando não há uma interação adequada dentre esses elementos no sistema, pode haver perdas na avaliação de usabilidade.

Um bom exemplo da importância do contexto dessa relação de uso foi o descrito por (CATECATI et al; 2018), na avaliação da usabilidade de uma torneira automática com sensor de acionamento por infravermelho, Figura 15.

Figura 15 – Torneira Docol Automática



Fonte: docol.com.br (2021)

Quando encontrados em prédios públicos, este produto apresenta sempre uma boa usabilidade, pois são fáceis de usar e economizam água, sendo reconhecida sua forma de utilização.

Já a usabilidade da mesma torneira pode, no entanto, ser questionada se utilizada no contexto de uma residência familiar. O seu modo de operar não permite o controle de vazão e temperatura da água. A experiência de escovar os dentes

utilizando este tipo de torneira é, por vezes, bastante desagradável, visto que a aproximação da escova de dente nem sempre é suficiente para acioná-la.

Um paralelo com a usabilidade da tecnologia FFF pode ser feito pois, esta é avaliada como eficaz no contexto de fabricação de componentes e protótipos rápidos, se comparada aos métodos de prototipagem tradicionais, mas, se escolhida como processo de fabricação de produto final, pode não ter a mesma percepção de qualidade.

Designers não estão apenas preocupados com a aparência visual, mas também com as outras propriedades do produto. Os objetos não são apenas olhados isoladamente, mas são vistos em um contexto, são manuseados, tocados, às vezes também ouvidos ou mesmo provados (JORDAN, 2002).

Embora se reconheça que a usabilidade é um componente chave para garantir uma agradável experiência de uso, os elementos estéticos de um produto e as associações experienciais que os usuários atribuem a tais propriedades como forma, cor e propriedades táteis, são outros fatores que influenciam o prazer de uso de um artefato (JORDAN, 2002 e NORMAN, 2006).

Esses elementos estéticos influenciam na **usabilidade aparente** do produto, que é a percepção dos usuários quanto à facilidade de uso de determinado artefato na fase que antecede a sua utilização. Já as avaliações dos usuários quanto à percepção de conforto, bem-estar, alegria e satisfação após o uso efetivo do produto pode ser chamada de **usabilidade percebida** e ambas, influenciadas pelos aspectos estéticos-simbólicos são avaliadas de forma subjetiva (PASCHOARELLI et al, 2015).

Isto posto, acredita-se que avaliar a satisfação dos produtos fabricados por FFF através da qualidade visual e háptica percebida pode ser uma estratégia para apoiar os projetistas nesse novo movimento digital de fabricação de produtos.

Os autores desta pesquisa acreditam que no processo de demandar um produto através de plataformas online, e principalmente no processo de co-criação quando se trata de um produto "sob demanda" em que a referência são apenas de renders, os elementos estéticos influenciam na usabilidade aparente do produto.

Já as avaliações dos usuários quanto à percepção de conforto, bem-estar, alegria e satisfação após o uso efetivo do produto pode ser chamada de usabilidade percebida e ambas, influenciadas pelos aspectos estéticos-simbólicos são avaliadas de forma subjetiva em acordo com os pressupostos teóricos definidos por Paschoarelli et al. (2015).

2.3.2 Usabilidade dos Produtos Fabricados por Adição na Medida da Emoção

As características formais de um objeto oferecem a um sujeito recursos funcionais e de usabilidade do objeto, mesmo sem realizar um exame mais profundo do objeto em si.

Nessa relação entre sujeito e objeto, primeiro, o sujeito elabora uma estratégia perceptiva inconsciente para verificar se o objeto, por sua concepção e características formais, pode trazer-lhe alguma emoção/benefícios (certo prazer no uso); depois, ele concentra sua atenção no funcional e nas características de usabilidade. Desta forma, o sistema de julgamento do que é “bom/mau”, “seguro/perigoso”, e, inclui distintas intensidades emocionais como efeito e atribui por juízos de valor à escolha do que é o melhor para sobreviver. (PETERS et al; 2002; NORMAN, 2002).

A qualidade da relação entre as pessoas e os produtos depende mais do que simplesmente da usabilidade do produto. São as emoções que desempenham um papel crítico no cotidiano, ajudando a aceder a situações “boas ou más”, “seguras ou perigosas”, pois são as emoções que ajudam a tomar decisões.

As emoções são parte dos mecanismos bio-reguladores com os quais nascemos equipados, visando à sobrevivência. No campo do design e da emoção, o conceito principal que está no centro do domínio, é a 'experiência' elaborada com base em duas disciplinas proeminentes: a psicologia e a filosofia. Enquanto os relatos psicológicos estruturam o conceito de uma forma mais definida e determinada, os relatos filosóficos seguem uma abordagem mais relacional e holística (DAMÁSIO, 2000; DEMIR, 2008).

Do ponto de vista psicológico as emoções são conjuntos complexos de reações químicas e neurais, formando um padrão. Todas as emoções têm algum tipo de papel regulador a desempenhar, levando, de um modo ou de outro, à criação de circunstâncias vantajosas para o organismo em que o fenômeno se manifesta ou

seja, as emoções estão ligadas à vida de um organismo, ao seu corpo, e para ser mais exato, seu papel é auxiliar o organismo a conservar a vida.

Em relação aos tipos de emoções, podem-se classificar em 3 dimensões: (i) Primárias ou universais: referentes a alegria, tristeza, medo, raiva, surpresa ou repugnância; (ii) Secundárias ou sociais: referentes à embaraço, ciúme, culpa ou orgulho; (iii) Emoções de fundo: bem-estar ou mal-estar, calma ou tensão.

As emoções primárias e sociais são facilmente detectadas visualmente através de expressões faciais. Por outro lado, detectamos emoções de fundo por meio de detalhes sutis, como a postura do corpo, a velocidade e o contorno dos movimentos, mudanças mínimas na quantidade e na velocidade dos movimentos oculares e no grau de contração dos músculos faciais (DAMÁSIO, 2000). Tais emoções quando relacionadas com os produtos, permitem entender de uma forma visível e mensurável o nível de satisfação dos usuários sobre os produtos.

A compreensão das emoções de fundo negativas, normalmente serve como base para o estabelecimento dos requisitos ergonômicos projetuais para melhoria da usabilidade dos produtos e sistemas. Uma vez satisfeitos os requisitos de funcionalidade e usabilidade, o que se objetiva alcançar com um projeto mais afetivo são as necessidades psicológicas e sociológicas do usuário, como suas necessidades de pertencer, alcançar, ser competente e independente tornando a interação uma experiência prazerosa (HANCOCK, 2005).

As pessoas são mais do que apenas 'usuários'. Elas têm esperanças, medos, sonhos, aspirações, gostos e personalidade. Sua escolha de produtos, e o prazer ou descontentamento que os produtos lhes trazem, podem ser influenciados por estes fatores (JORDAN, 2002).

Norman (2004) define que emocionalmente, o design pode ser estudado a partir de três dimensões (figura 16): A *visceral* que é relacionada com emoções, quando o usuário avalia um produto com pouco análises; A *comportamental* em que o usuário tenta entender o funcionamento do produto e determina uma avaliação a partir do uso; e por fim, A *reflexiva* onde o usuário busca entrar em lugares além da funcionalidade e a aparência, também procura se entrar em aspectos como a cultura ou o hedonismo.

Figura 16 – 3 níveis do design emocional.



Fonte: UX Collective (2021)

2.3.2.1 Dimensão visceral do design

O design visceral trata da reação inicial, ele pode ser estudado simplesmente colocando em frente do usuário um produto e aguardar sua reação. Nas melhores circunstâncias, a aparência da reação visceral funciona tão bem que as pessoas olham e dizem "eu quero". Então elas podem perguntar: "O que faz" e por último, "E quanto custa?" Esta é a reação pela qual o designer se esforça, e ela pode funcionar Norman (2004).

Um design visceral eficaz requer a habilidade do designer de forma visual e gráfico como também do engenheiro industrial. Dentro do projeto a forma e a matéria são importantes, ou seja, a sensação física e a textura dos materiais são relevantes.

O design visceral tem tudo a ver com o impacto emocional imediato. Ele tem que se sentir bem, parecer bem. Sensualidade e sexualidade desempenham papéis,

este é um papel importante de "ponto de presença" em lojas, em folhetos, em propagandas e em outros aliciamentos que enfatizam a aparência do produto (NORMAN, 2004).

2.3.2.2 Dimensão Comportamental do design

O design comportamental tem a ver com a facilidade de uso e performance do produto. Esta dimensão é o foco dos profissionais da comunidade da usabilidade.

No design comportamental, a função vem antes de tudo; o que um produto faz, que função desempenha? Se o artefato não faz nada de interessante, então quem se importa com o seu bom funcionamento? Mesmo que sua única função seja ter boa aparência, ele tem mais sucesso.

Alguns produtos bem projetados falham o objetivo quando se trata de cumprir seu propósito e, portanto, são rejeitados. Se um descascador de batatas não descascar realmente batatas, ou se um relógio não diz a hora exata, então nada mais importa. Portanto, o primeiro teste comportamental é se ele satisfaz as necessidades práticas do consumidor. (NORMAN, 2004)

2.3.2.3 Dimensão reflexiva do design

O design reflexivo cobre um território maior no campo do design, pois trata-se de uma mensagem, dos aspectos culturais e do significado de um produto. Esta dimensão atua diretamente na auto-imagem e na mensagem que um produto envia aos outros.

Sempre que você percebe que a cor das meias de alguém combina com o resto de suas roupas ou se essas roupas são adequadas para a ocasião, você está preocupado com a auto-imagem reflexiva. De forma consciente, todos nós nos preocupamos com a imagem que apresentamos a outros - ou, aliás, sobre a auto-imagem que apresentamos a nós mesmos (Norman, 2004).

A exemplo da órtese Xkelet, ganhadora do prêmio internacional de design, RedDot, na Alemanha, Figura 17, que substitui os gessos fétidos, desconfortáveis e que causam coceira utilizados para curar ossos quebrados. Feitas a partir de digitalizações 3D do iPad, são leves, personalizadas e confortáveis e podem ser usadas no chuveiro para uma higiene ideal.

Figura 17 – Órteses customizadas para cada tipo de usuário



Fonte: www.3dapplications.com.br (2018)

Do ponto de vista da dimensão visceral do design, o produto possui uma configuração formal atraente devido aos padrões orgânicos inspirados na natureza e as opções de cores. O produto cumpre os objetivos ortopédicos a que se destina, aspecto positivo para a dimensão comportamental, sendo inclusive, mais eficiente quando comparado ao método clássico para correção ortopédica com uso de gesso.

Já do ponto de vista da dimensão reflexiva, o fato de poder ser customizado eleva o prazer do usuário, pois é possível obter um produto “único”, “diferenciado” e feito “sob medida para o cliente”, valores que aumentam o desejo de obter o artefato.

A partir deste exemplo, pode-se afirmar que o valor atribuído a um objeto utilitário ou tecnológico, está diretamente relacionado à experiência afetiva do usuário. As emoções positivas, como a necessidade de pertencer, alcançar, ser competente e independente torna a interação uma experiência prazerosa e influenciam nossas escolhas, como defendido por

Segundo Mariño et al, (2017), ao projetar com foco na emoção, os designers voltam sua atenção ao usuário e ao modo como interagem e interpretam o meio físico e social. A usabilidade e a tecnologia são importantes, mas sem diversão, alegria, entusiasmo, raiva, frustração e prazer nossas vidas seriam incompletas.

A MA tem a capacidade de promover emoções de fundo positivas que são as críticas para a aprendizagem, curiosidade, pensamento criativo, através da

customização de produtos, uma vez que possibilita a personalização de um artefato e aumenta seu valor agregado.

O aumento no valor de um produto de consumo é alcançado quando os usuários finais recebem um grau mais alto de influência direta e deliberada sobre a forma do produto; desde a identificação do um produto e a suas características necessárias satisfazer necessidades do usuário, até o envolvimento no processo de design pelo qual é chegada a uma solução acordada entre o designer e o usuário final (SINCLAIR et al; 2014).

As novas tecnologias de manufatura aditiva vieram proporcionar a fabricação de pequenas séries, ou mesmo peças únicas, a custos muito reduzidos, não sendo mais necessário produzir milhares de unidades para rentabilizar o processo de desenvolvimento de um produto. Os objetos resultantes destes processos de personalização proporcionam um prazer acrescido ao utilizador, em particular os que nascem dos processos em que existe co-autoria, ou parceria, pois neste caso o utilizador tem uma participação mais ativa no processo pelo que a satisfação emocional que obtém do produto é ainda maior. (CUNHA et al; 2020).

O prazer na utilização refere-se a uma condição final de experiência em que o aparecimento de emoções positivas devido à utilização do produto faz com que o cliente sinta prazer (JORDAN, 1998).

Deste modo, podemos fazer um paralelo dessa evolução com o modelo da hierarquia das necessidades de Maslow⁶, dado que uma vez que as questões de utilidade, segurança e conforto tenham sido satisfeitas, o enfoque volta-se para os atributos emocionais e simbólicos do design numa busca pela auto-realização (CUNHA et al; 2020).

A manufatura aditiva traz também como vantagem o poder de uma alta customização de produtos e peças sob medida, dando a possibilidade dos usuários criarem produtos junto com designers, engenheiros ou makers, o que é chamado de “co-design”.

A tecnologia de prototipagem 3D está na base de algumas das atuais abordagens ao conceito de co-design, onde o utilizador fornece elementos que vão

⁶ A Teoria da Hierarquia das Necessidades de Maslow relaciona o comportamento das pessoas a um conjunto de necessidades (SILVA, A. et al., 2006).

ser usados na construção do produto com variados graus de personalização, como é o caso dos produtos das empresas Shapeways.com e Fluid Forms.com (CUNHA et al, op. cit).

No entanto, poucos usuários estão acostumados a produtos impressos em 3D. Eles acabam estabelecendo relações com os objetos anteriores da mesma área. A interação com esses produtos fabricados através de um novo processo com distintos materiais traz uma experiência nova para os consumidores. A importância atribuída ao objeto pelo usuário e as circunstâncias de compra criam uma história dentro do repertório de conhecimento do usuário. Esta sobreposição de história ou memória prossegue através da vida do objeto, uma vez que as memórias são armazenadas através do tato e o usuário, estabelece memórias de eventos, lugares e pessoas ligadas ao objeto (ALONSO, 2015).

Na prática, o designer deve equilibrar as propriedades objetivas e subjetivas, entre a tecnologia funcional e a expressividade emocional; entre a informação e a inspiração; entre a compreensão e o afeto para atender às expectativas dos usuários.

Os testes de usabilidade são conhecidos por avaliar índice de conclusão da tarefa relacionado com a qualidade para avaliar a eficácia; já para avaliar a eficiência são considerados assuntos como o tempo de execução da tarefa, ou quantidade de erros no uso do produto. E por último, para medir a satisfação do usuário são utilizadas métricas qualitativas e quantitativas como entrevistas, e escalas afetivas. (Norman, 2004)

Embora não é possível avaliar apenas uns dos princípios da usabilidade de forma isolada, no presente trabalho foi adotado como assunto predominantemente de avaliação a satisfação do usuário por encima de avaliação de eficiência e eficácia do produto, pois o interesse da pesquisa baseia-se em entender os aspectos emocionais que permitem ver os produtos impressos em 3D FFF como produtos de uso final.

3 DESENHO DA PESQUISA

Este capítulo apresenta o método utilizado na pesquisa. Inicia-se apresentando os métodos de abordagem e de procedimentos e o recorte do objeto de estudo. Na sequência é explicado e detalhado um protocolo de atividades em que constam as técnicas e ferramentas aplicadas além dos instrumentos para a coleta e análise de dados.

3.1 MÉTODO

A pesquisa adotou como método de abordagem o hipotético-dedutivo para seleção de laboratórios independentes cadastrados em uma plataforma de DD, e assim poder desenvolver um teste de avaliação da qualidade percebida dos produtos impressos em 3D pela tecnologia FFF. Acredita-se que os makers que possuam um alto índice de conhecimento em métodos de design para manufatura aditiva (DFAM) terão seus produtos mais bem aceitos pelos usuários.

Como método de procedimento, adotou-se o método monográfico e estruturalista, proposto por Marconi e Lakatos (2003). O monográfico por se tratar de um estudo dos produtos fabricados pelos laboratórios independentes com uma amostra de usuários especialistas para avaliar o resultado deste procedimento. O estruturalista, porque a pesquisa objetiva recriar um fenômeno “Design Distribuído” de uma forma simplificada e estruturada através de uma amostra de produtos e especialistas na área de manufatura aditiva.

Sobre os recortes da pesquisa, primeiramente, o recorte espacial contou com os laboratórios independentes cadastrados na plataforma makerfind.org, apêndice 1, que prestam serviço de design de produto usando como método de fabricação a manufatura aditiva. Para o recorte temporal, foram escolhidos aqueles laboratórios cadastrados dentre o período de 2020 - 2021. No recorte setorial, foram selecionados os laboratórios situados nos Estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia.

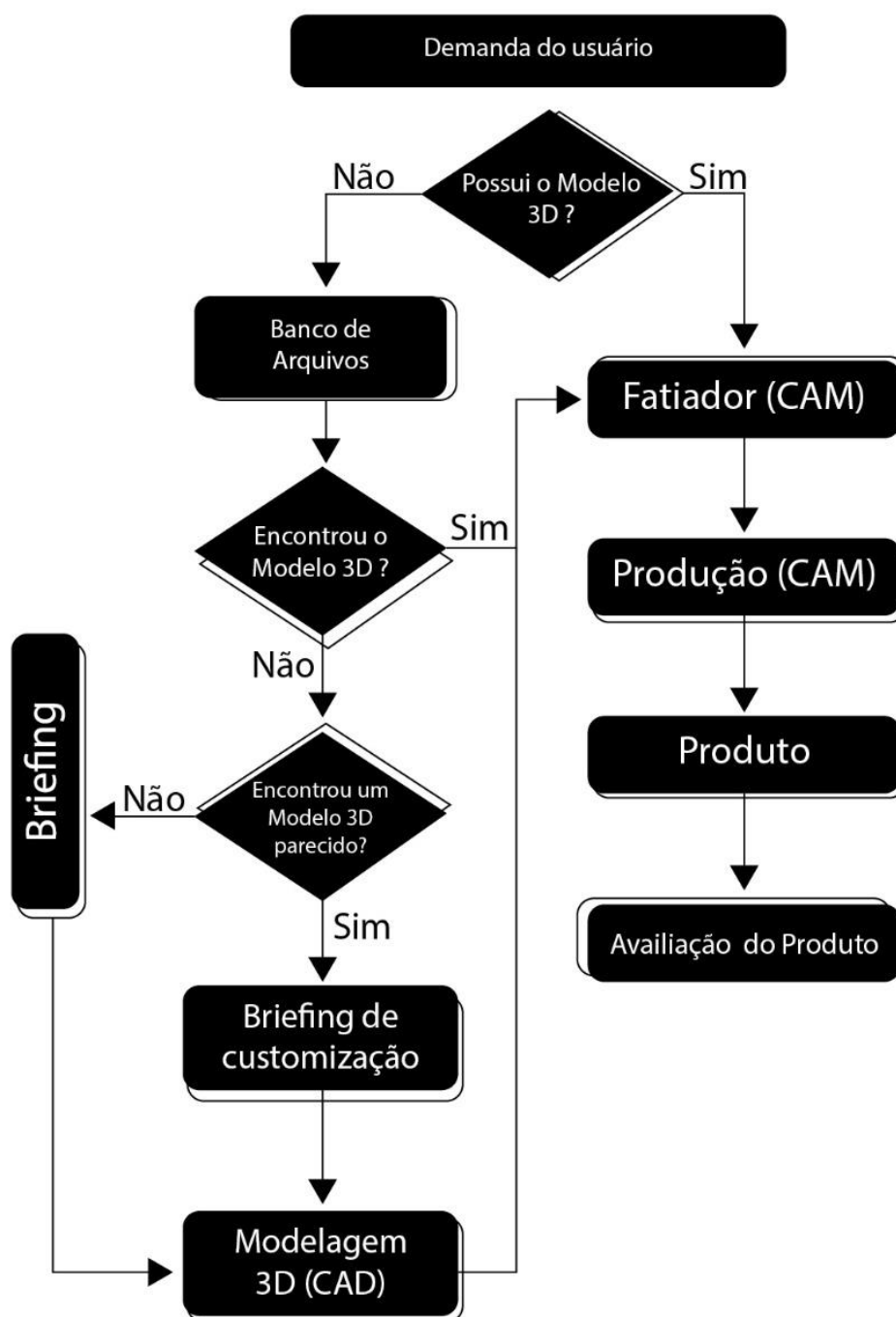
Para seleção do produto a ser fabricado em impressão 3D, um grupo de especialistas da cidade do Recife foi convidado para, através de entrevistas individuais, formular um briefing de customização aos voluntários da pesquisa.

Um dos critérios de seleção dos laboratórios independentes foi o acesso de mercado tanto do equipamento de fabricação quanto do material polimérico. As impressoras “Ender 3” e “Sethi 3D” são as mais acessíveis no mercado brasileiro e o material ABS tem popularidade de mercado, considerável qualidade técnica, baixo custo e facilidade de impressão quando comparado com os polímeros de engenharia como PVA; PC; NYLON, entre outros mencionados na figura 8 e na tabela 1.

3.1.1 Fluxo Design Distribuído

O fluxograma a seguir foi desenvolvido a partir dos resultados encontrados no estudo do estado da arte da pesquisa. Este fluxograma teve como objetivo desenhar um modelo de avaliação fidedigno ao *mindset* dos laboratórios independentes que atuam no design distribuído dentro da impressão 3D. Assim, pode-se mapear as distintas formas de atuação entre um consumidor e um laboratório independente (Figura 18).

Figura 18 – Fluxograma de criação de um produto através da Manufatura Aditiva.



Fonte: O autor

Para a criação de um produto, através da manufatura aditiva no sistema sob demanda de impressão 3D, é necessário um arquivo modelado em 3D, geralmente em formato STL.

Quando o usuário não possui o arquivo desejado, existe a opção de visitar os Bancos de Arquivos gratuitos, online, como Pin Shape., Cults., MyMiniFactory ou YouImagine. Estes possuem milhares de opções de arquivos categorizados em áreas: Arte, Moda, Hobby, Produtos utilitários etc.

Caso o produto desejado pelo consumidor não seja encontrado nos Bancos de Arquivos, este terá duas opções: a primeira, gerar um briefing para um laboratório independente com o objetivo modelar um produto partindo desde uma ideia interpretativa, e, a segunda, conhecida no DD como “remix”, visa buscar um arquivo parecido numa plataforma online. Com base nesse arquivo, o usuário pode customizar através da técnica de modelagem 3D.

Um exemplo pode ser observado no Quadro 2, que apresenta o arquivo original de um amplificador sonoro do lado esquerdo, e do lado direito um projeto de um usuário do banco de arquivos que customizou o arquivo original.

Quadro 3 – Exemplo de “remix” do produto

Produto Original subido na plataforma <i>thingiverse</i> por Guupyk	Remix do produto de Guupyk projetado por Timogiles
	

Fonte: Thingiverse.com (2020)

Assim, é possível que um usuário tenha acesso a um modelo 3D através de bancos de arquivos abertos na internet e possa enviar para um laboratório independente para fabricação direta, ou ainda de um software de modelagem para a customização do produto. Nesta segunda opção, o laboratório terá que interpretar um *briefing*, e

essa variável pode aumentar ou diminuir a qualidade percebida do produto pelo usuário final.

Acredita-se que o sucesso deste projeto pode também estar associado à qualidade da comunicação entre o usuário e o laboratório, nesta pesquisa chamaremos de “*briefing* de customização”.

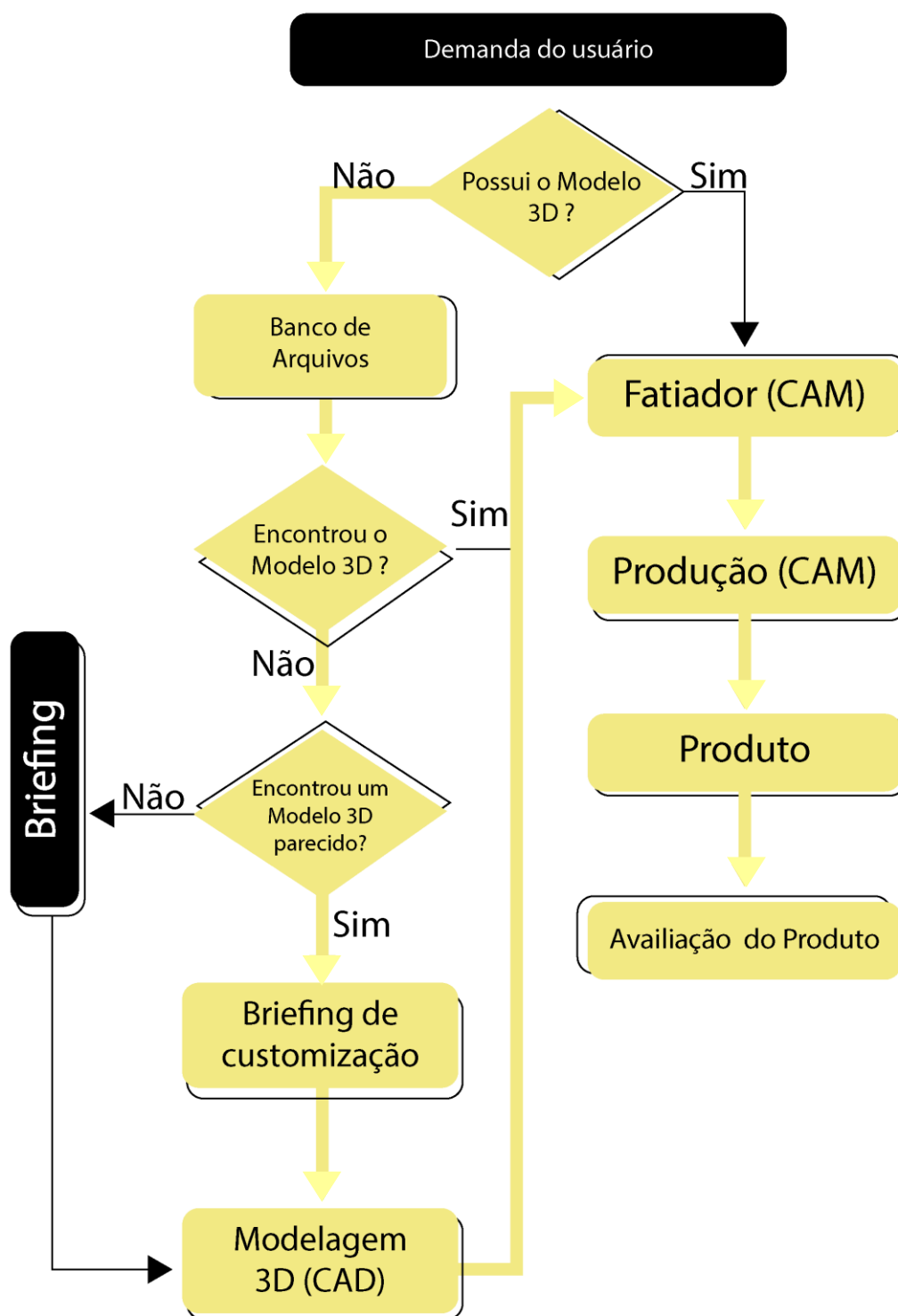
A partir do momento que o projeto entra na fase de fabricação, independentemente da procedência do arquivo, a responsabilidade sobre a qualidade do produto é total do operador de máquina do laboratório.

O arquivo em STL deve passar por um software CAM ou fatiador que criará o “Gcode”, encarregado de definir os parâmetros técnicos e numéricos para a impressora 3D. Em seguida, ocorre a calibração dos equipamentos, a inserção do material selecionado e, enfim, o produto começa a ser impresso.

Existem diversas formas do usuário conseguir um arquivo para a impressão em 3D, neste estudo foi considerado dentro do fluxograma que o usuário pode obter os modelos 3D por meio de três grandes grupos: 1) Procedência própria ou encontrado num banco de arquivos; 2) Modelo 3D feito pelo laboratório independente através de um briefing e 3) Modelo 3D customizado com base num produto encontrado no banco de arquivos.

Para a presente pesquisa foi recriado parcialmente o *mindset* N.3 a fim de customizar um produto com base em um arquivo 3D pré-existente. O fluxograma da figura 19 apresenta o caminho que será seguido para o presente trabalho.

Figura 19 – Fluxograma de criação de um produto através da Manufatura Aditiva.

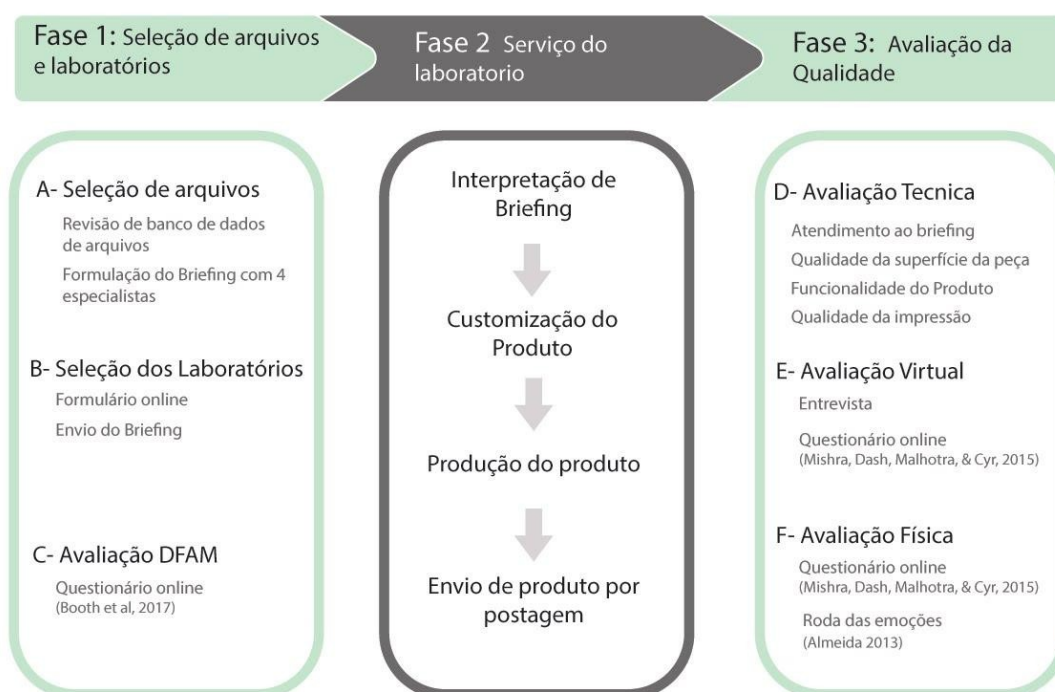


Fonte: O autor

3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA

Para a avaliação dos produtos produzidos pelos laboratórios independentes a partir da aproximação entre o consumidor final e o maker, foi criado um método de investigação com três macro fases (Figura 20): Fase 1- Seleção de Arquivos e Laboratórios; Fase 2- Serviço do Laboratório; Fase 3- Avaliação da Qualidade.

Figura 20 – Desenho do método da pesquisa



Fonte: O autor

Antes de iniciar o processo de seleção foram contatados especialistas que atuam em laboratórios de impressão 3D que ajudaram a construir as etapas de A - seleção de arquivos; e as etapas “E” e “F” correspondentes a Avaliação Virtual e a “Avaliação Física” respectivamente. O critério de seleção dos especialistas foi principalmente por ter atuado em laboratórios reconhecidos em Pernambuco por trabalhar nos setores comerciais, acadêmicos e educacionais. No quadro 4, nos aprofundaremos mais sobre o perfil destes especialistas.

3.2.1 FASE 1 - Seleção de arquivos e laboratórios

A | *Seleção do arquivo*

Esta etapa foi subdividida em duas subetapas: A subetapa A1- Revisão de banco de arquivos e, a subetapa A2 – Formulação do *briefing* com especialistas.

Para a escolha do arquivo foram revisados e pré-selecionados seis produtos utilitários da plataforma virtual thingiverse.com (banco de arquivos).

A thingiverse.com foi selecionada por ser uma plataforma gratuita com um número significativo de arquivos disponíveis. Um total de cinco especialistas em MA, atuantes em laboratórios de impressão 3D, na cidade do Recife, Pernambuco - Brasil foram contactados para apoiar na seleção do arquivo para impressão 3D e formulação do briefing.

B | *Seleção dos laboratórios*

Para a seleção dos laboratórios independentes foi criada e utilizada a plataforma makerfind.org⁷ que objetiva conectar laboratórios independentes aos clientes em todo o Brasil. Um formulário on-line foi elaborado para escolha dos laboratórios, anexo 3. Os critérios de seleção foram: os laboratórios cadastrados entre 2020 e 2021; possuir filamentos de cor branco e impressoras 3D FFF de modelo aberto.

C| *Avaliação DFAM*

Os laboratórios escolhidos receberam os arquivos STL, junto com o briefing de customização desenvolvido em parceria com os especialistas contendo aspectos de formatação do produto; o tipo de material e os parâmetros da máquina para impressão do produto. Os laboratórios tiveram que interpretar, customizar, imprimir, fotografar e enviar o produto seguindo as instruções do briefing. Em resposta, foi realizado o pagamento do serviço e enviado um questionário desenvolvido com base no trabalho de Booth et al, 2017 e Alafaghani et al, 2017, para avaliar a competência do executor sobre impressão 3D com base nas perguntas relacionadas ao método de design para manufatura aditiva (DFAM).

⁷ markerfind.org é uma plataforma desenvolvida pelo autor da pesquisa em 2020 com o objetivo de conectar laboratórios independentes com usuários que precisem de serviços de fabricação digital.

3.2.2 FASE 2 - Serviço do laboratório

A fabricação do produto físico ocorreu na fase 2, ou seja, foi o momento em que o maker executou o serviço contratado. Diferente das fases 1 e 3, as etapas desta fase não foram avaliadas, pois o serviço do maker não foi incorporado dentro do recorte da pesquisa, e sim, a avaliação do resultado físico deste serviço on-line.

Ao final, um total de 6 artefatos foram postados para o autor da pesquisa via correios e avaliados da fase 3.

3.2.3 FASE 3 - Avaliação da qualidade

A Fase 3 teve como objetivo avaliar a qualidade através de parâmetros técnicos e afetivos dos produtos por especialistas em manufatura aditiva da cidade do Recife em três etapas: [i] Avaliação Técnica; [ii] Avaliação Virtual e; [iii] Avaliação Física

D | Avaliação Técnica.

Nesta etapa os produtos foram avaliados de forma objetiva através de quatro critérios: [i] Atendimento ao briefing; [ii] Qualidade da superfície da peça; [iii] Funcionalidade do produto e; [iv] Qualidade da impressão. Adicionalmente, foi realizada uma análise comparativa entre os resultados técnicos e o perfil do laboratório independente, incluindo o resultado da etapa C - *Avaliação DFAM*.

E | Avaliação Virtual

Esta avaliação qualitativa tratou de apresentar aos especialistas convidados as imagens dos produtos impressos em 3D pelo computador. Na sequência os especialistas eram convidados a responder um formulário elaborado na ferramenta "Google Formulários" adaptado do experimento de Meng (2019).

O formulário adaptado foi apresentado aos especialistas no formato de Escala de Likert, com base nas perguntas desenvolvidas por Mishra (2015) e utilizadas por Meng (2019) em quatro partes: [i] Aspectos Visuais; [ii] Cinestésicos; [iii] Funcionais e; [iv] Experiência do usuário. Para o presente estudo foram propostas duas sessões: "Usabilidade e Afetividade", Apêndice 3.

F | Avaliação Física

Esta avaliação também de cunho qualitativo tratou de apresentar aos especialistas convidados os produtos impressos em 3D. Na avaliação física o formulário etapa “E” foi repetido, com a diferença de poder manipular os produtos físicos. Na sequência, foi aplicada a ferramenta Rodas das Emoções, selecionada como o modelo de avaliação para obter uma escala de afeto (Desmet, 2004; Dias, 2009 e Almeida, 2013).

Essa ferramenta avalia a intensidade de quatorze emoções divididas em sete emoções positivas e sete emoções negativas com três níveis de intensidade. Os usuários especialistas foram convidados a atribuir valor para uma ou mais emoções evocadas no contato com os produtos fabricados através do DD. Neste experimento, a intensidade indica se a emoção escolhida é sentida muito forte, média ou fraca, com a parte externa do círculo indicando maior intensidade e a interna menor intensidade.

O Quadro 3 apresenta um resumo das estratégias metodológicas que relacionam cada objetivo da pesquisa com suas respectivas ferramentas e técnicas de pesquisa.

3.3 PROCEDIMENTO DE PESQUISA ADOTADO

3.3.1 FASE 1 - Seleção de Arquivos e Laboratórios

Etapa A - Subetapa A1 - Revisão de banco de arquivos

Para a escolha do arquivo foram usados os filtros de “Maior download” e maior “Remixes” da plataforma thingiverse.com. Como resultado foram pré-selecionados os sete produtos utilitários mais recorrentes:

- Colher de medição: <https://www.thingiverse.com/thing:4698180/remixes>
- Empunhadura de chave: <https://www.thingiverse.com/thing:4714625/remixes>
- Régua para marcenaria: <https://www.thingiverse.com/thing:4186423/remixes>
- Suporte para lata (Can Handle):
<https://www.thingiverse.com/thing:1658338/remixes>
- Carteira inteligente: <https://www.thingiverse.com/thing:3097272/remixes>

- Suporte para amarrar cadarços rápido “Klots”:
<https://www.thingiverse.com/thing:938561/remixes>
- Suporte para enrolar fios de fones de ouvido (Earbud Case):
<https://www.thingiverse.com/thing:210142/remixes>

Para escolha do produto para a presente pesquisa, alguns critérios foram propostos e validados pelos especialistas: [i] Níveis de riscos de impressão; [ii] Viabilidade do projeto e; [iii] Customização de cada modelo.

Etapa A - Subetapa A2 - Formulação do briefing com especialistas

Para a escolha e avaliação do produto a ser produzido pelos laboratórios independentes foram convidados quatro especialistas da área da impressão 3D, todos graduados com diferentes background mas, apenas um com o título de mestre: [i] Analista de sistema, coordenador de laboratório de impressão 3D; [ii] Arquiteto, técnico de laboratório de fabricação digital; [iii] Designer, professor e pesquisador do Departamento de Expressão Gráfica da UFPE e; [iv] Administrador de empresas, diretor de Instituto de impressão 3D, todos da cidade do Recife.

Para saber entender o conhecimento relacionada na área de manufatura aditiva, foi enviado um formulário (apêndice x) em que deveriam indicar numa escala de qualitativa (Muito baixo; Baixo; Médio; Alto; Muito alto) o grau de conhecimento em 3 áreas: I) Expertise em Modelagem 3D; II) Expertise no manuseio das impressoras 3D; III) Expertise em seleção de materiais para os projetos

Todos os especialistas declararam que possuíam conhecimento satisfatório e experiência na área de modelagem 3D, manuseio de máquinas e seleção de materiais, exceto o especialista 4 que declarou ter pouca experiência na modelagem 3D, entretanto, possuía uma vasta experiência na área comercial da manufatura aditiva. O Quadro 4 apresenta perfil do especialista/ avaliador.

Quadro 4 – Perfil do especialista / avaliador

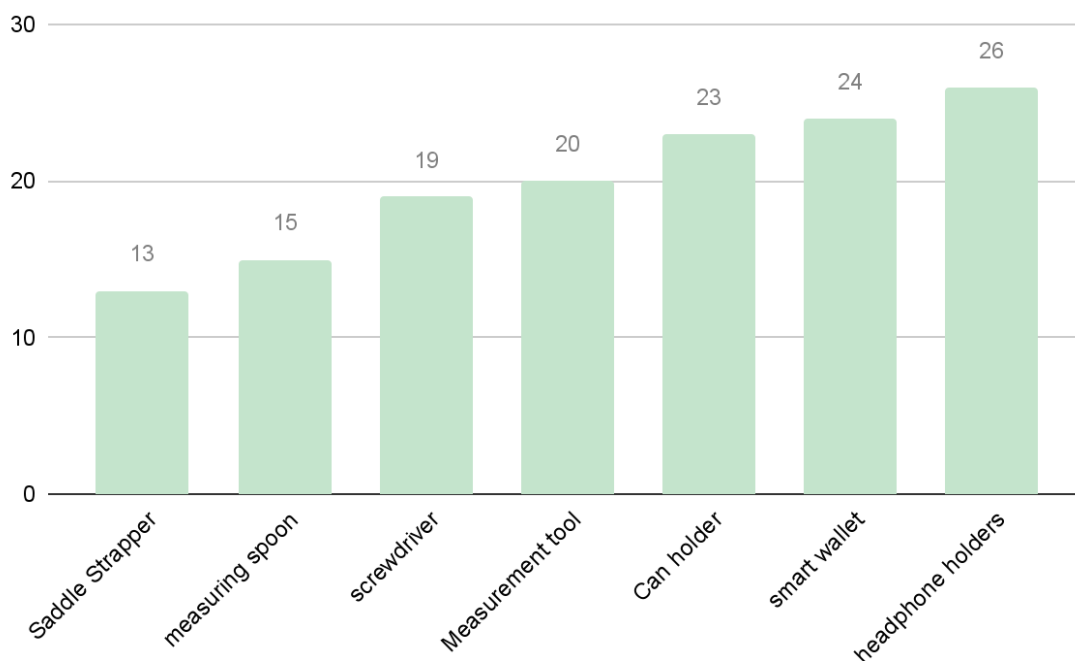
				
	Especialista 1 (E1)	Especialista 2 (E2)	Especialista 3 (E3)	Especialista 4 (E4)
Idade	34	21	32	32
Cargo	Diretor de montadora de impressoras	Técnico em Laboratório de fabricação Digital	Coordenador de Laboratório de impressão 3D	Diretor de instituto de impressão 3D
Profissão	Análise de sistemas	Arquitetura e urbanismo	Designer	Administração de Empresas
Experiência	5 anos	3 anos	5 anos	5 anos
Escolaridade	Graduado	Graduação	Mestre	Graduado
Gênero	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino
Expertise em Modelagem 3D	Alto	Alto	Alto	Baixo
Expertise no manuseio das impressoras 3D	Muito Alto	Médio	Muito Alto	Alto
Expertise em seleção de materiais para os projetos	Alto	Alto	Muito Alto	Alto

Fonte: O autor

As entrevistas individuais e sistemáticas foram realizadas com cada especialista para que ordenassem de melhor a pior os produtos pré-selecionados segundo os critérios anteriormente mencionados. A figura 21 apresenta o resultado de essa classificação dos produtos pelos especialistas sendo a menor quantidade de pontos o melhor produto avaliado, pois o produto que teria menos pontos seria aquele que os especialistas colocassem com mais frequência entre os primeiros lugares, e os produtos que tivessem mais pontos são aqueles que os especialistas colocassem com mais frequência nos últimos lugares.

Como resultado dessa etapa os produtos "amarração de cadarço" e "colher de medição" tiveram uma classificação muito próxima, todavia, o número de customizações que os produtos possuíam na plataforma "thingiverse.com" foi o critério de seleção utilizado para apoiar a decisão.

Figura 21 – Gráfico de avaliação de arquivos selecionados.



Fonte: O autor

Ao final, o amarrador de cadarço "Klots" figura 22 projetado principalmente para substituir a forma em que comumente amarramos os cadarços foi selecionado. Esse produto está disponível gratuitamente na "thingiverse.com" e é um dos produtos mais customizados dentro da plataforma.

Figura 22 – Produto “Klots” usado em tênis.



Fonte: Thingiverse.com (2018)

Etapa A - Subetapa A3 -Formulação do briefing de customização

O objetivo do *briefing* escolhido pelos especialistas foi **agregar** mais um furo ao produto “Klots” e **modificar** a forma do encaixe original para uma forma mais circular, conforme figura 23. Depois de definido o *briefing*, partiu-se para seleção dos laboratórios.

Figura 23 – Indicação de customização para encaixe do produto

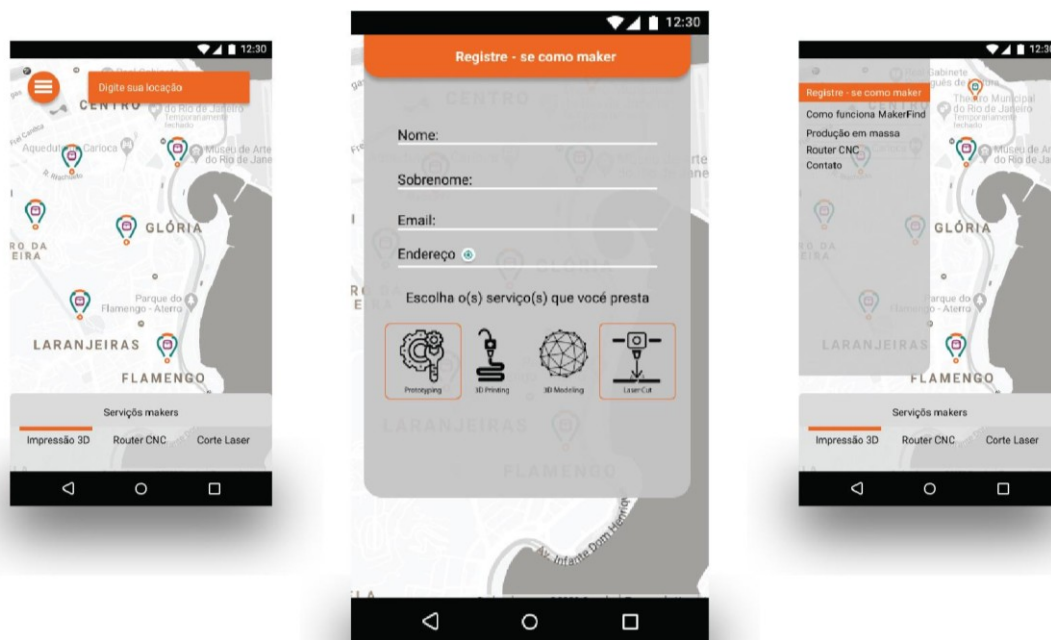


Fonte: O autor

Etapa B - Subetapa B1 - Estratégia de convite dos laboratórios.

A plataforma MakerFind foi criada como um portal que objetiva conectar os usuários finais aos laboratórios independentes de fabricação digital que estão mais próximos de sua localização (Figura 24).

Figura 24 – Apresentação de interface da plataforma makerfind.org.



Fonte: O autor

Para a realização do site foi utilizada a plataforma “WordPress” devido à facilidade de uso e que permite agregar “*Plugins*” como “Formulário Online” que permite obter os dados dos laboratórios cadastrados no site. Adicionalmente foi utilizado o “*Plugin*” do Google Maps que permite adicionar informação à geolocalização dos usuários cadastrados compartilhando os dados fornecidos pelos laboratórios ao momento da inscrição do site.

Foram utilizadas as contas das redes sociais de Instagram de @makerfind para a divulgação do site assim como publicações desde as redes sociais “facebook” e “Whatsapp”. Depois de seis meses estavam cadastrados mais de 200 laboratórios na plataforma.

Etapa B - Subetapa B2 - Contatos com Laboratórios Independentes e Envio do briefing

Para a seleção dos laboratórios foi enviado um e-mail convite para 58 laboratórios em nível nacional, pedindo informações do tipo de impressora 3D e de material que tivessem à disposição e contendo as instruções para participar da pesquisa: 1) Modificar um arquivo de baixa complexidade enviado previamente; 2) Imprimir o arquivo modificado (7 gramas aproximadamente); 3) Fotografar o produto; 4) Responder um formulário online de 5 min de duração; 5) Enviar o produto pelos correios.

Como incentivo, os autores da pesquisa, propuseram custear o envio do produto. Houve um retorno de doze laboratórios, porém apenas seis atendiam aos requisitos estabelecidos na pesquisa: [i] estar cadastrado entre 2020 e 2021; [ii] possuir filamentos de cor branco em ABS e [iii] impressora 3D FFF de modelo aberto.

No momento do mapeamento, os laboratórios selecionados foram localizados nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia e, para garantir o anonimato dos participantes, foram gerados códigos de identificação: BAA; RJA; RJT; SPA; SPG; SPJ. As duas primeiras letras significam o Estado e a terceira letra representa a inicial do nome do maker.

Todos receberam os arquivos em STL, junto com o briefing de customização desenvolvido em parceria com os especialistas contendo a especificação do material e os parâmetros da máquina para impressão do produto. O serviço do laboratório constava de interpretar, customizar, imprimir, fotografar e enviar o produto seguindo as instruções do briefing.

E à medida em que o autor da pesquisa recebia os produtos, realizava o pagamento do serviço e enviava o questionário *DFAM adaptado* da subetapa C1.

Etapa C - Subetapa C1 - Elaboração do questionário DFAM adaptado

Para avaliar a competência do executor sobre impressão 3D foi elaborado um questionário desenvolvido com base no trabalho de Booth et al e Alafaghani et al (2017) com perguntas relacionadas ao método de design para manufatura aditiva (DFAM).

3.3.2 FASE 2 - SERVIÇO DO LABORATÓRIO

No intervalo de 15 dias, os laboratórios independentes cumpriram a fase 2. Os artefatos foram postados para a sede da nossa investigação, o Laboratório de Design O Imaginário da UFPE, na cidade do Recife, através do sistema de correios do Brasil. A tabela 2 apresenta os produtos recebidos pelos correios seguidos de seus respectivos códigos.

Tabela 2 – Produtos fabricados por laboratórios independentes com seus respectivos códigos.

BAA	RJA	RJT
		
SPA	SPG	SPJ
		

Fonte: O autor

3.3.3 FASE 3 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

Para a avaliação da qualidade visual e háptica do produto foram propostos testes em dois formatos: virtual e físico e mantidos os aspectos espaciais; materiais para coleta de dados; e procedimentos de campo.

Aspectos Espaciais

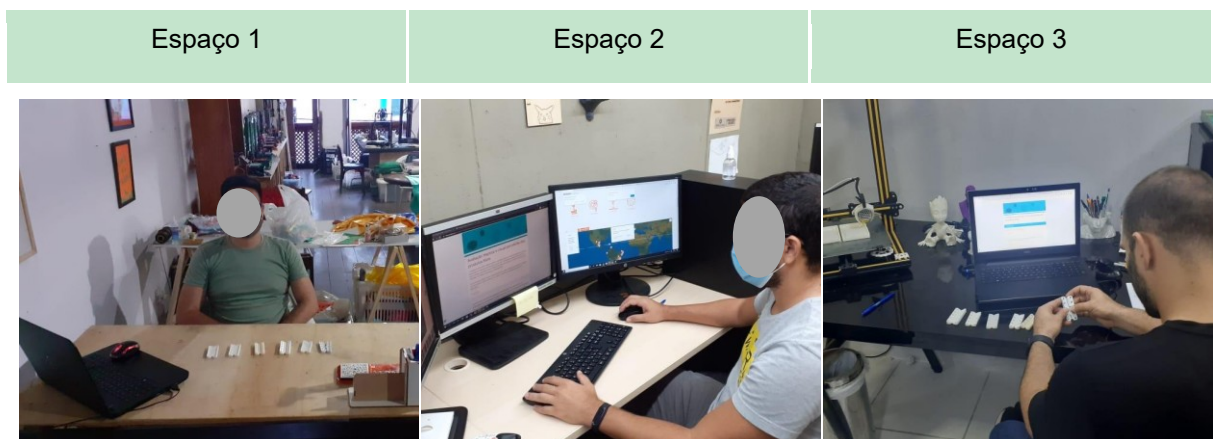
Em função das restrições de mobilidade impostas pela Pandemia da COVID-19 foi necessário modificar o planejamento de coleta de dados da fase 3.

A etapa de avaliação técnica foi realizada no espaço pessoal/home office do autor da pesquisa. Já nas avaliações virtuais e físicas apenas quatro especialistas se sentiram à vontade e seguros para participar.

Em ordem de cumprir com todos os protocolos de segurança sanitária proposto pelo governo do estado de Pernambuco, o autor da pesquisa agendou com cada especialista, individualmente, o melhor momento para realizar os testes.

Ao final, a possibilidade de realizar os testes em ambiente familiar trouxe um aspecto positivo para a pesquisa, pois os usuários aparentavam estar relaxados para realizar o experimento. Todos os espaços de manufatura aditiva da cidade do Recife utilizados neste estudo possuíam infraestrutura adequada para a realização dos testes: tripé, porta celular, impressora em 3D e/ou cortado a laser, acesso à internet e computadores.

Figura 25 – Espaços de realização dos testes físicos e virtuais.



Fonte: O autor

Materiais para coleta de dados

Foi utilizado para registro audiovisual a ferramenta *Google Meets* que possibilitou o backup da informação na nuvem. A ferramenta *Google Forms* foi utilizada para

registrar a coleta de dados e projetar as imagens para avaliar os produtos de forma digital (Ver Apêndice 5).

Procedimentos de campo

Etapa D - Análise Técnica

Para a avaliação técnica foi planejada a partir do recebimento dos produtos, sendo composta pelos seguintes critérios:

- Atendimento ao briefing: Avaliado se o laboratório conseguiu concluir os passos demandados no briefing enviado por parte do pesquisador.
- Qualidade da superfície da peça: Realizado um exame visual da qualidade topográfica do produto fabricado pelo laboratório.
- Funcionalidade do produto: Testada a funcionalidade dos encaixes, a abertura correta dos furos e as proporções do produto.
- Qualidade da impressão: Avaliado os aspectos técnicos de impressão como camadas de impressão bem coladas, boa orientação do produto, sobre esquecimento do material e boa adesão da peça com a mesa de trabalho.
- Teste DFAM a partir de questionário on-line.

Cada um dos itens foi avaliado através de três intensidades: Alta, Média e Baixa ou mesmo, se atendia aos critérios propostos. A formação de base do maker, o conhecimento de design sobre manufatura aditiva e o tempo de experiência de cada laboratório (em meses) também foram avaliados, compuseram o perfil do laboratório independente.

Etapa E – Avaliação Virtual

Nesta etapa, os especialistas visualizavam virtualmente os produtos e eram convidados a responder uma série de perguntas para avaliar a usabilidade aparente do produto.

Para medir as variáveis deste estudo foi tomado como referência as perguntas formuladas por Meng (2019) que estudou a percepção do usuário de acessórios de celulares impressos em 3D. Mantendo o tema da percepção da qualidade do produto sobre os acessórios impressos em 3D, as mudanças foram realizadas mudando o produto a ser estudado.

As perguntas foram elaboradas e adaptadas para serem respondidas através de uma escala de likert (Ver Apêndice 6).

Exemplo: *“O estilo do suporte impresso em 3D do meu telefone parece elegante”* (original). / *“O estilo do produto Klotz me parece elegante”* (adaptada)

Os itens de todas as variáveis são ancorados em uma escala Likert de 5 pontos (discordo totalmente = 1 a concordo totalmente = 5).

ETAPA F – Avaliação Física

Nesta etapa, os especialistas interagem livremente com cada produto físico e posteriormente, foram convidados a responder uma série de perguntas para avaliar a usabilidade percebida do produto a partir de 3 atividades.

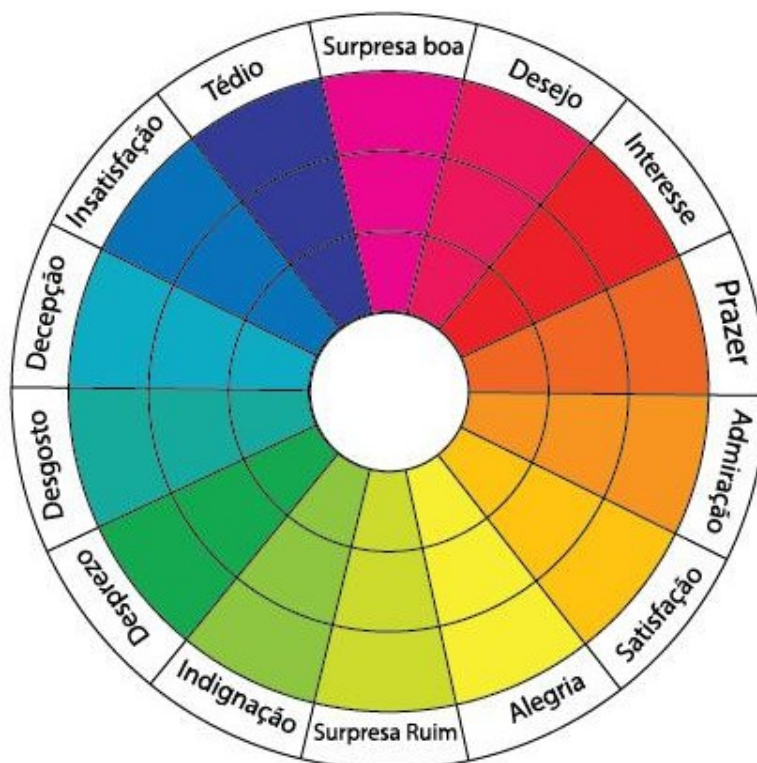
A primeira atividade constava da continuação das perguntas formuladas para o experimento para analisar a percepção da qualidade dos produtos.

- A. Descreva o produto "Klotz"
- B. Quais produtos você gostou mais e compraria, independente do seu preço?
Explique as razões de sua preferência
- C. Quais produtos você gostou menos e não compraria? Explique as razões de sua preferência.
- D. Quais os itens ou detalhes positivos você identificou nos produtos analisados?
- E. Como seria o produto ideal na sua opinião? (se puder escolher materiais, quais seriam?).

A segunda atividade foi reaplicar o mesmo formulário da etapa visual, só que agora os avaliadores podiam interagir com os produtos.

E por fim, como terceira atividade, foi projetada em um monitor a roda de emoções (figura 26) para que os avaliadores pudessem aleatoriamente relatar quais emoções eram transmitidas por cada produto.

Figura 26 – Experimento da roda das emoções



Fonte: Dias (2009), adaptada pelo autor

A tabela 3 apresenta as 14 emoções contempladas na ferramenta da Roda das emoções, sendo 7 emoções positivas e 7 emoções negativas.

Tabela 3 – As emoções positivas e negativas presente na roda das emoções.

Emoções Positivas		Emoções Negativas	
Surpresa Boa	Admiração	Tédio	Desprezo
Desejo	Satisfação	Insatisfação	Indignação
Interesse	Alegria	Decepção	Surpresa ruim
Prazer		Desgosto	

Fonte: O autor

Os especialistas puderam selecionar livremente a quantidade de emoções apresentadas na roda (14). Portanto, no final do experimento, cada produto poderia obter até 70 votos representados em emoções.

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos testes para avaliar a qualidade percebida dos produtos fabricados pelos laboratórios independentes voluntários.

4.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POR PARÂMETROS TÉCNICOS

A Tabela 4 relaciona os resultados da avaliação técnica da qualidade dos produtos impressos do DD com os respectivos perfis dos laboratórios independentes.

Tabela 4 – Avaliação técnica da qualidade dos produtos impressos através do DD versus o perfil do laboratório independente

Produtos x Parâmetros	BAA	SPJ	SPG	SPA	RJA	RJT
Avaliação técnica da qualidade dos produtos						
Atendimento ao briefing	Alta	Alta	Médio	Médio	Baixo	Baixo
Qualidade da superfície da peça	Alta	Alta	Alta	Alta	Baixa	Médio
Funcionalidade do Produto	Alta	Médio	Alta	Alta	Alta	Baixa
Qualidade da impressão	Alta	Alta	Alta	Alta	sim	Sim
Perfil do Laboratório Independente						
Formação Básica	Eng. Automotivo	Eng. Mecânica	Eng. Mecânica	Desenho Industrial	Ciências Computação	Eng. Mecânica
Tempo de atuação como maker (meses)	24	24	6	60	12	36
Conhecimento em DFAM	Baixo 7/14	Médio 8/14	Baixo 6/14	Médio 9/14	Médio 10/14	Médio 14/10

Fonte: O autor

Ao final da análise, pode-se concluir que dois produtos atingiram um nível satisfatório de qualidade técnica.

O primeiro foi o produto BAA, produzido por um maker, engenheiro automotivo, com 24 meses de experiência na área de manufatura aditiva, e com um baixo conhecimento no DFAM. Este produto apresentou uma topografia de alta qualidade, cumprindo com todas as exigências solicitadas no briefing. Aparentemente, não

apresentou nenhuma falha de impressão da superfície da peça, e o funcionamento dos encaixes do produto foi eficaz.

Já o segundo foi o produto SPJ produzido por um maker, engenheiro mecânico, com 24 meses de experiência na área de manufatura aditiva, e um conhecimento médio do método DFAM. Este produto teve uma avaliação alta nos tópicos de atendimento ao briefing, qualidade da impressão e qualidade da superfície do produto, e uma avaliação média no item funcionalidade do produto, pois o produto apresenta dificuldade no encaixe de suas partes.

O produto SPG e SPA tiveram os mesmos bons resultados de desempenho, o primeiro fabricado por um engenheiro mecânico, com 6 meses de experiência na impressão 3D, e com um conhecimento baixo na metodologia DFAM, e o segundo um designer de produtos com uma experiência de 60 meses na área de manufatura aditiva e um conhecimento médio no método DFAM.

Os produtos RJA e RJT foram os que apresentaram o pior resultado de desempenho. O primeiro fabricado por um maker com 12 meses de experiência na área de manufatura aditiva, e com médio conhecimento no teste de DFAM. O produto apresenta notáveis falhas de impressão da superfície da peça, assim como erros comuns de impressão como *overhang* e *warping* na fase inferior da peça, embora o funcionamento em relação aos encaixes do produto seja ideal e funciona de forma satisfatória.

Já o segundo, produzido por um maker, engenheiro mecânico, com 36 meses de experiência na área de manufatura aditiva, e com um conhecimento médio do DFAM, omitiu a formatação do tipo de encaixe, não sendo eficaz. Ambos apresentaram uma topografia de baixa qualidade e não cumpriram as exigências solicitadas no briefing.

Uma outra análise técnica possível não prevista foi relacionar a comunicação do maker com o cliente durante o processo DD. A partir dos registros dos e-mails e mensagens da rede social WhatsApp trocadas entre os laboratórios independentes e o autor foi possível mapear a trajetória de comunicação de cada maker.

A tabela 5 apresenta os resultados dessa interação dos laboratórios com o autor da pesquisa.

Tabela 5 – Interação dos laboratórios com o autor da pesquisa.

	BAA	SPJ	SPG	SPA	RJA	RJT
Respondeu o briefing em menos de 24 hrs	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Perguntou assuntos técnicos	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim
Confirmou prazo de entrega	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Enviou projeto digital antes de imprimir	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Expressou dificuldade com softwares	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
Expressou dificuldades de tempo de produção	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim
Expressou ter feito testes	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não
Enviou foto do produto impresso	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Enviou Vídeo do produto	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não
Enviou o produto sendo utilizado	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Fez contato Pós-venda	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não

Fonte: O autor

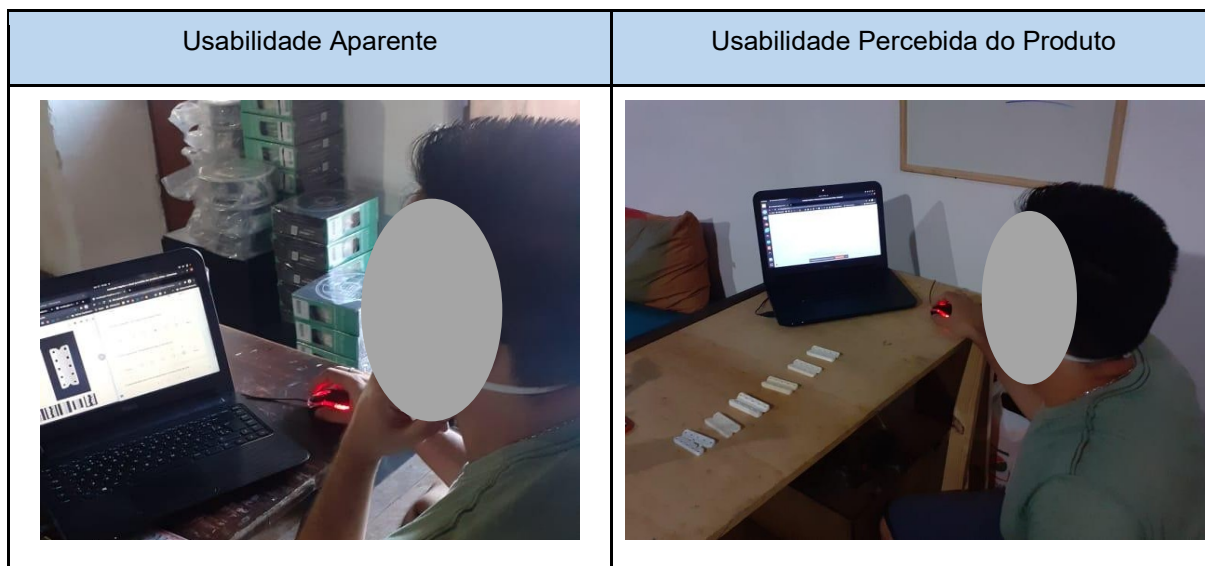
De forma não esperada a interação dos laboratórios com o autor da pesquisa gerou dados significativos que possibilitaram mapear a trajetória de comunicação de cada maker com o autor da pesquisa. A partir deste achado podemos perceber que a comunicação estabelecida influenciou nos resultados alcançados.

4.2 PERCEPÇÃO DA USABILIDADE APARENTE VERSUS A USABILIDADE PERCEBIDA

Antes da interação livre do usuário com cada produto, os especialistas preencheram o formulário da avaliação virtual para avaliar a usabilidade aparente através das imagens projetadas no computador. As imagens foram apresentadas de forma aleatória e o tempo de exposição foi determinado por cada especialista.

Em um segundo momento, durante a manipulação física dos produtos, foram apresentados os produtos de forma aleatória, com o tempo determinado pelo próprio usuário para avaliar a usabilidade percebida, os especialistas foram convidados a repetir o formulário da Etapa E (Figura 27).

Figura 27 – Montagem para elaboração de experimentos



Fonte: O autor

Para facilitar o processo de tratamento dos dados, as perguntas foram divididas em 2 grupos, o primeiro as perguntas referentes às **características da usabilidade** e o segundo, às questões relacionadas com as **características da afetividade**

Para obter um índice comparativo com as perguntas relacionadas à usabilidade com as perguntas relacionadas à afetividade foi proposta a seguinte fórmula: Somatória das respostas / número de perguntas = Índice de pontuação.

Perguntas relacionadas às características da usabilidade

O grupo de perguntas selecionadas para avaliar as características de usabilidade do produto em função da eficiência, eficácia e satisfação foram as seguintes.

- 1) A forma dos Klots é de fácil uso?
- 2) Os Klots podem ser usados facilmente sem muita fadiga física e mental?

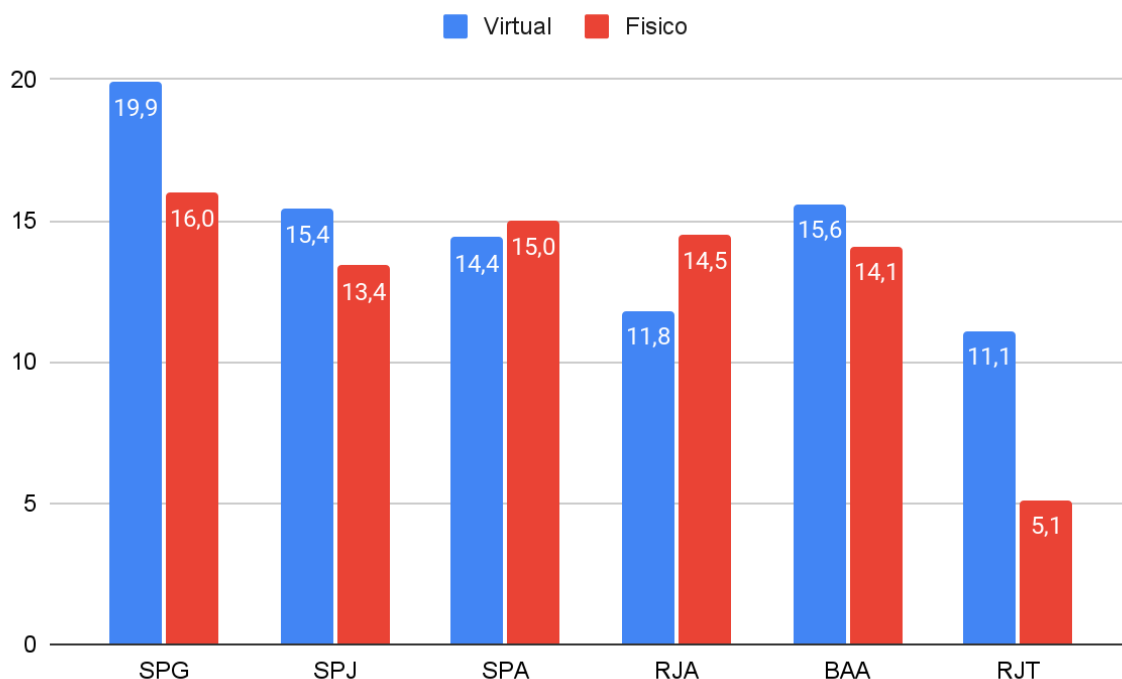
- 3) Usaria frequentemente os Klots?
- 4) Os Klots são simples de usar?
- 5) Posso realizar uma determinada tarefa mais rapidamente com a ajuda dos Klots?
- 6) Os Klots apresentam uma aparência segura e duradoura?
- 7) Os produtos klots são incômodos de usar?

O gráfico, figura 28, apresenta uma análise comparativa entre as respostas sobre as características de usabilidade entre os testes no formato virtual e físico.

O produto melhor avaliado nas características da usabilidade no formato virtual foi o SPG com 19,9 pontos, seguido do BAA com 15,6 pontos; do SPJ com 15,4 pontos; do SPA com 14,4 pontos; do RJA com 11,8 pontos e por último, do RJT com 11,1 pontos.

Já no formato físico os resultados diminuíram em 4 dos 6 produtos avaliados. Adicionalmente a ordem dos produtos foram alteradas, sendo o primeiro colocado o SPG com 16 pontos; o SPA com 15 pontos; o RJA com 14,15 pontos; o BAA com 14.1 pontos; o SPJ com 13,4 pontos e por último, o RJT com 5,1 pontos.

Figura 28 – Avaliação das características de usabilidade nos formatos virtual e físico



Fonte: O autor

Nas perguntas referentes à usabilidade, 4 dos 6 produtos foram mais bem avaliados no formato virtual, a maior diferença entre as avaliações aconteceu com o produto RJT com um índice de 6 pontos e com o produto SPG com uma diferença de índice de 3,9 pontos. Os outros produtos permaneceram com uma diferença de menos de 3 pontos.

Perguntas relacionadas às características da afetividade

O grupo de perguntas selecionadas para avaliar as características de afeto foram as seguintes.

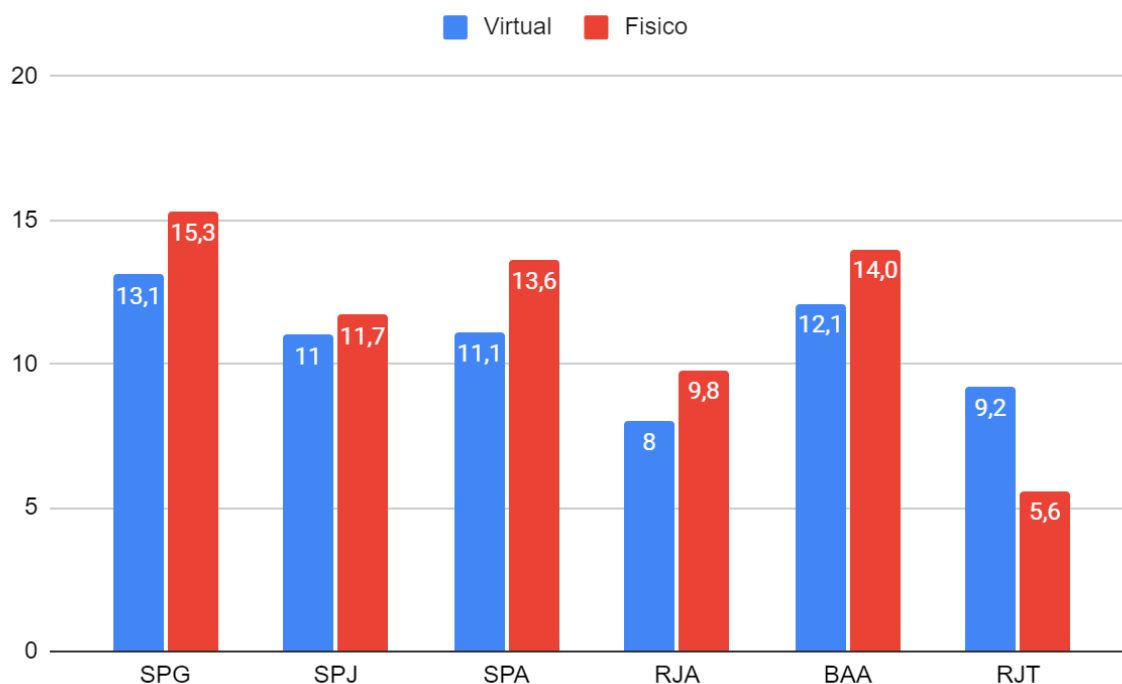
1. Os Klots melhoram a forma como sou percebido?
2. Os Klots causam uma boa impressão em outras pessoas?
3. Sempre me dá vontade de usar os Klots?
4. A aparência dos Klots é atraente?

5. O estilo dos Klots parece elegante?
6. Os Klots combinam com meus produtos pessoais?
7. A personalidade dos Klots se assemelha com meu estilo de vida?
8. Os Klots me fazem sentir aceitável em um grupo?
9. Os Klots melhoram meu status social?

O gráfico, figura 29, apresenta uma análise comparativa entre as respostas sobre as características de afetividade entre os testes no formato virtual e físico. Como resultado, o produto melhor avaliado sobre as questões da afetividade no formato virtual foi o SPG com 13,1 pontos, seguido do BAA com 12,1 pontos; do SPA com 11,1 pontos; do SPJ com 11,0 pontos; do RJT com 9,2 pontos e por último, do RJA com 8 pontos.

Já no formato físico, os resultados determinaram que o primeiro colocado foi o SPG com 15,3 pontos, seguido do BAA com 14 pontos; do SPA com 13,6 pontos; do SPJ com 11,7 pontos; do RJA com 9,8 pontos e por último, o RJT com 5,6 pontos (Figura 29).

Figura 29 – Avaliação das características de afetividade nos formatos virtual e físico.

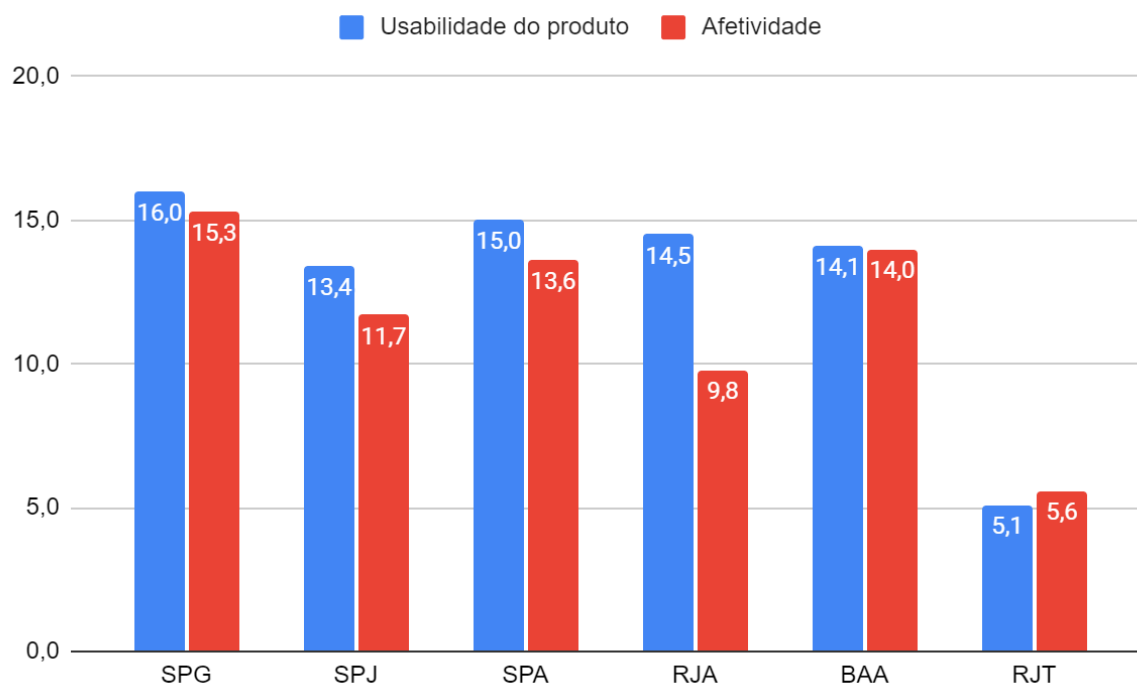


Fonte: O autor

Na avaliação da usabilidade percebida do produto, a avaliação física dos resultados aumentou em 5 casos dos 6 produtos avaliados. O produto RJT foi o único produto que obteve uma diferença entre os resultados digital e físico maior a 3 pontos, especificamente 3,6.

Diante dessas informações, para entender se houve variação dos resultados entre as características de usabilidade e de afetividade com relação ao formato de avaliação propõe-se uma análise comparativa.

Figura 30 – Usabilidade do produto x Afetividade



Fonte: O autor

O gráfico da figura 30 apresenta como resultado que as características da afetividade dos 6 produtos foram mais bem pontuadas no formato virtual, ou seja, apresentaram um bom desempenho quanto à usabilidade aparente. O produto SPG foi o melhor avaliado em 13,1 pontos nas características da usabilidade e 19,9 pontos da afetividade. E, o produto RJT foi o pior avaliado nos dois formatos e para ambas as características.

No geral, as características de usabilidade avaliadas tiveram um melhor desempenho a partir dos testes físicos. Todavia, o produto SPG foi o melhor avaliado para ambas as características independente do formato, assim como o RJT foi o pior avaliado nas mesmas condições.

Os gráficos 29 e 30 corroboram com os propostos teóricos apresentados por Paschoarelli quanto à percepção da qualidade dos produtos. Uma vez que o desempenho da avaliação de cinco dos seis produtos avaliados mudaram de posição entre os testes virtuais e os testes físicos. No formato virtual os especialistas se sentiram afetados positivamente pelos produtos, mas após o contato físico a percepção de qualidade foi alterada.

4.2.1 Avaliação da Qualidade por Parâmetros Afetivos

Nesta etapa, os quatro especialistas foram entrevistados a partir de perguntas abertas sobre o resultado do produto Klots. De início, os especialistas manipulavam os produtos físicos com total autonomia sobre eles. Na sequência, respondiam às perguntas da Etapa E. As peças foram apresentadas de forma aleatória com tempo livre para manuseio da mesma.

Cada especialista recebeu a sigla “E” de especialista, seguido pelo número em que os experimentos foram feitos. Exemplo, o primeiro especialista em avaliar o produto seria o “E1” o segundo seria “E2” e assim sucessivamente.

No primeiro momento foi indicado para os especialistas para descrever o produto de uma forma geral.

Pergunta 1

As respostas mais importantes foram:

E1: “O produto klots apresenta uma aparência inovadora e interessante”

E2: “Algo que não tem no mercado, algo simples e prático”

E3: “Produto para facilitar o vestir de um calçado com cadarço”

E4: “Peça serve para não haver mais a necessidade de amarrar o cadarço do tênis”

Análise

Dos 4 entrevistados, 2 mencionaram características da usabilidade do produto (E3; E4) e 2 mencionaram características relacionadas à experiência do produto.

Pergunta 2

Foi indicado para os entrevistados que selecionassem os produtos que mais comprariam, independente do seu preço e que explicassem as razões de sua preferência.

E1: Indicou que: “Eu compraria o produto SPF e SPA por causa do acabamento do produto e a boa impressão”.

E2: Indicou que compraria os produtos SPA e SPG. argumentando que: *“A aparência é de boa qualidade e eles se travão bem direitinho”*

E3: O especialista 3 indicou que compraria o produto BAA por causa que possuía o melhor encaixe, da mesma forma que escolheria o produto SPG por possuir a melhor aparência.

E4: Indicou que seleccionaria o produto SPJ argumentando que *“O produto possui 3 engates trazendo mais segurança evitando que o tênis se abra”*. O mesmo especialista indicou que escolheria o produto SPG fazendo ênfases na boa qualidade da impressão com a expressão *“O produto possui uma excelente impressão”*

Análises

O produto SPG foi o mais destacado entre a fala dos especialistas, pois 3 dos 4 especialistas indicaram que esse seria uns dos produtos que comprariam independentemente do preço. Como segundo produto mais mencionado foi o SPA por dois especialistas e, por último, os produtos SPJ e o produto BAA foram nomeados apenas uma vez cada um.

Pergunta 3

Quando foi indicado para os especialistas que seleccionassem os produtos que não comprariam e explicassem as razões, estas foram as respostas obtidas

E1: O especialista número 1 indicou que não compraria o produto RJA indicando que “O produto parece desproporcional em comparação com os outros produtos, além de possuir erros evidentes de impressão que afetam a topografia do produto”. Adicionalmente, o especialista indicou que não compraria o produto RJT pois, não conseguia encaixar o produto de forma satisfatória.

E2: O segundo especialista indicou que não compraria o produto RJT. “O produto não encaixa, e também os componentes não estão simétricos” adicionalmente

indicou que não compraria o produto SPJ, pelo motivo que o produto “Machucou quando estava testando o produto”.

E3: Para o especialista número 3 o produto que não compraria seria o RJT já que indicou que o produto não funciona, adicionalmente fez um ênfases com o produto RJA. *“Aparência mal-acabada, e por causa de ter o produto fora das proporções o maker teve que utilizar mais material”.*

E4: O último especialista consultado indicou que não compraria os produtos RJT e RJA já que *“os produtos possuem uma impressão de baixa qualidade”*

Análise

O produto RJT foi altamente rejeitado, pois 4 dos 4 especialistas indicaram que esse seria o produto que não comprariam, e como motivo principal, indicaram que a causa é por falta de funcionalidade do produto. O produto RJA foi o segundo produto pior avaliado, pois os especialistas indicaram que a impressão teve uma má qualidade e adicionalmente o produto apresentava uma desproporção em relação às medidas gerais o que causava um desperdício de material.

Pergunta 4

Quando os especialistas foram consultados em relação aos itens ou detalhes positivos que identificou nos produtos analisadas, estas foram as respostas:

E1: O primeiro especialista consultado indicou que “os produtos possuem uma alta resistência, com uma boa qualidade do material e um bom acabamento”

E2: O segundo especialista indicou que “senti muita satisfação ao encaixar o produto BAA e o material é muito gostoso”.

E3: O especialista número 3 indicou como pontos positivos a boa qualidade dos encaixes que possuíam os produtos assim como a boa qualidade de impressão.

E4: O especialista indicou que a qualidade do filamento usado foi alta, e essa poderia ser uma das causas da boa qualidade dos produtos SPJ; SPG e BAA

Análises

As características mais destacadas nos depoimentos de especialistas foram relacionadas com o *acabamento do produto*; *funcionalidade do produto*; *uso de bom material e qualidade do design do produto*. Da mesma forma, dentro dos depoimentos os especialistas citaram os produtos BAA; SPG e SPJ como referência de boa qualidade.

Pergunta 5

Quando foi perguntado aos especialistas sobre como seria o produto ideal para eles, estas foram as impressões mais importantes:

E1: O primeiro especialista indicou que usaria o material PETG, pois ele indica que a flexibilidade do material ajudaria para a função do produto. Adicionalmente indicou que o ideal seria fazer com dois encaixes centralizados.

E2: O especialista optou por fazer uma combinação entre a textura do produto BAA e o design do RJT, ele indica que: “se fosse um produto com essa combinação seria o produto ideal”.

E3: O especialista número 3 indicou que o produto ideal seria conforme com uns dos produtos avaliados, especificamente o SPG devido a sua precisão no encaixe e o acabamento do material.

E4: O especialista número 4 indicou que estaria conforme com o produto SPJ, e que a qualidade do produto aumentaria se o nível de preenchimento do produto fosse maior.

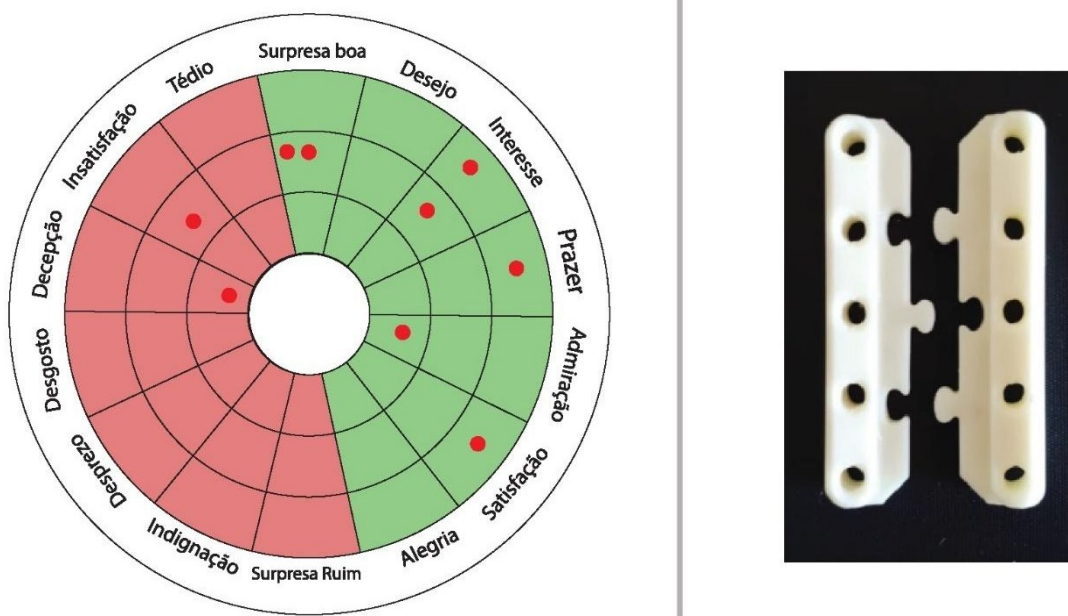
4.2.2 Modelo de avaliação para obter uma escala de afeto

A seguir apresentaremos o resultado da atividade para aferir a intensidade da emoção de cada especialista quando da manipulação livre dos produtos impressos em 3D.

A Figura 31 apresenta o resultado desta avaliação para o produto BAA. Dos 72,3% ($f=8$) de pontuação para emoções positivas, o prazer e a satisfação pontuaram na intensidade alta. O interesse pontuou tanto na alta quanto na média.

Já a surpresa boa e a admiração pontuaram nas intensidades média e baixa, respectivamente. Quanto às emoções negativas, 27,2% ($f=3$), a decepção e a insatisfação pontuaram nas intensidades fraca e média, respectivamente.

Figura 31 – Resultado, rodas das emoções produto BAA



Fonte: O autor

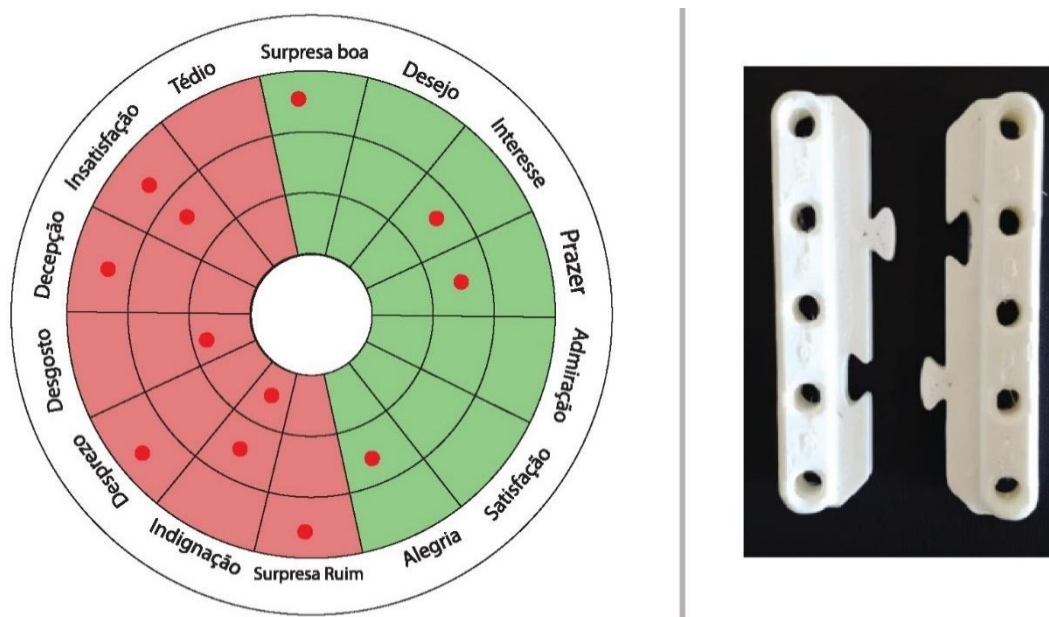
Este produto apesar de cumprir o propósito, recebeu críticas quanto a dificuldades no momento de acionar o encaixe, pois parecia ser *“muito justo e poderia machucar o usuário no uso cotidiano”*.

A figura 32 apresenta o resultado para o produto RJA que recebeu 66.6% ($f=8$) de emoções negativas. As emoções surpresa ruim, desprezo, decepção e insatisfação pontuaram na intensidade alta. Já as emoções de indignação e insatisfação pontuaram na intensidade média. O desgosto e a indignação pontuaram na intensidade baixa. Com relação às emoções positivas, 33,3% ($f=4$), a surpresa boa pontuou na intensidade alta. O interesse, o prazer e a alegria pontuaram na intensidade média.

Segundo os especialistas este produto possui falhas visíveis de impressão por causa da má calibragem da impressora. Adicionalmente, o produto RJA apresenta

desproporções em relação ao tamanho total do artefato em comparação com os outros produtos, pois este excede as medidas do arquivo apresentado no briefing.

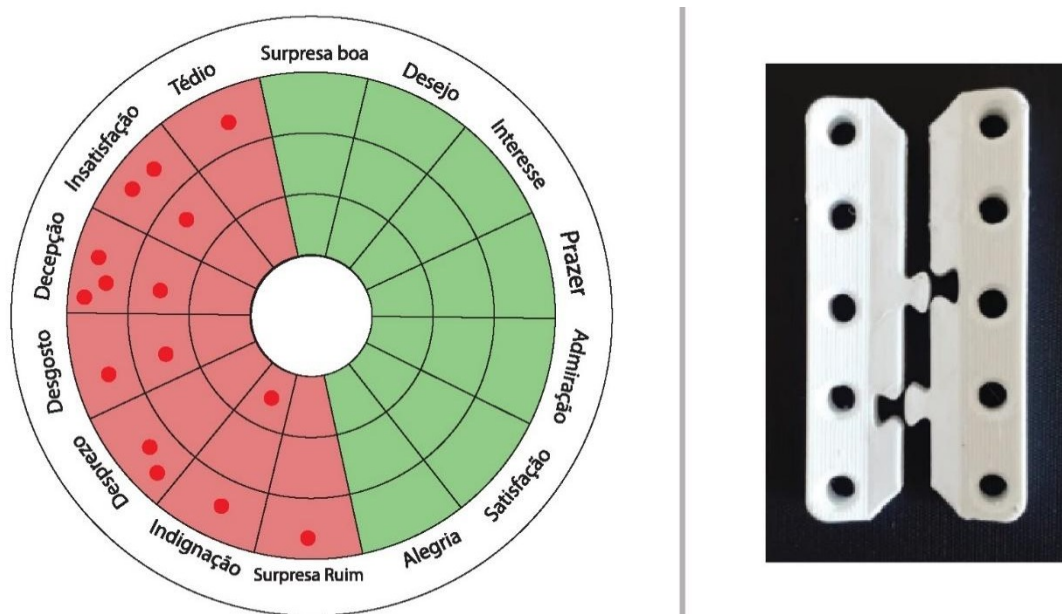
Figura 32 – Resultado, rodas das emoções produto RJA



Fonte: O autor

O produto RJT, Figura 33, não afetou positivamente os usuários especialistas. Este produto provocou 100% ($f=15$) de emoções negativas. Todas as emoções negativas, desgosto, decepção, surpresa ruim, indignação, tédio pontuaram com intensidade alta.

Figura 33 – Resultado, rodas das emoções produto RJT

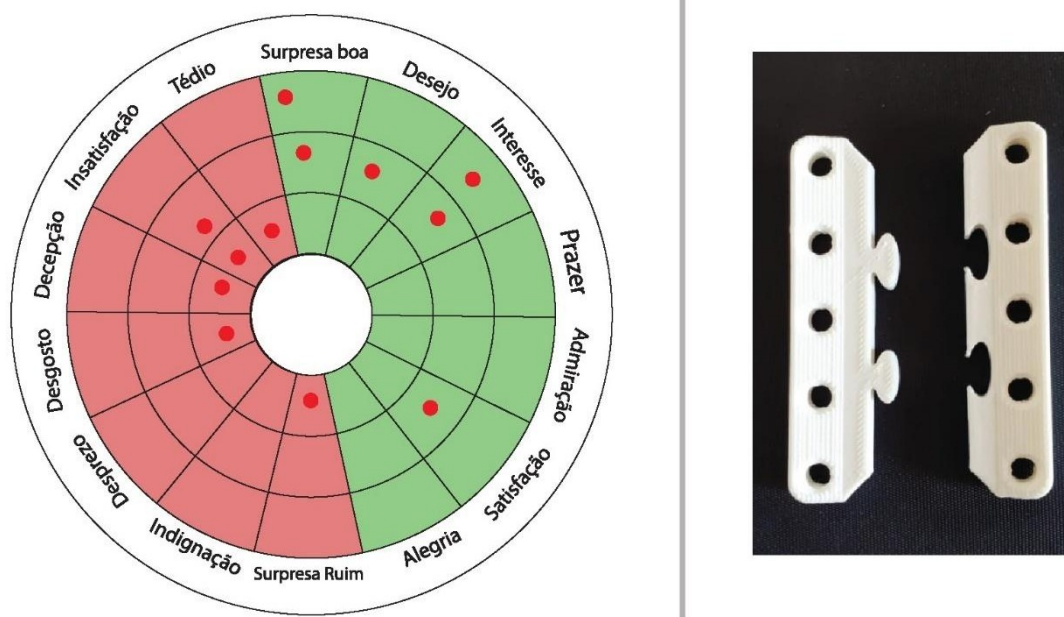


Fonte: O autor

Este produto não atendeu ao propósito, desrespeitou as instruções do briefing de customização. Segundo os avaliadores, nestas condições não é possível avaliar aspectos estéticos e significativos.

O produto SPA foi um produto que dividiu os usuários. A figura 34 apresenta 50% ($f=6$) de emoções positivas, representada pela surpresa e interesse com pontuação de intensidade média e alta. Já o desejo e satisfação com uma intensidade média. Por outro lado, o mesmo produto pontuou 50% ($f=6$) de emoções negativas representadas pela surpresa ruim, desgosto, decepção e tédio com intensidade baixa. A insatisfação pontuou com intensidade média e baixa.

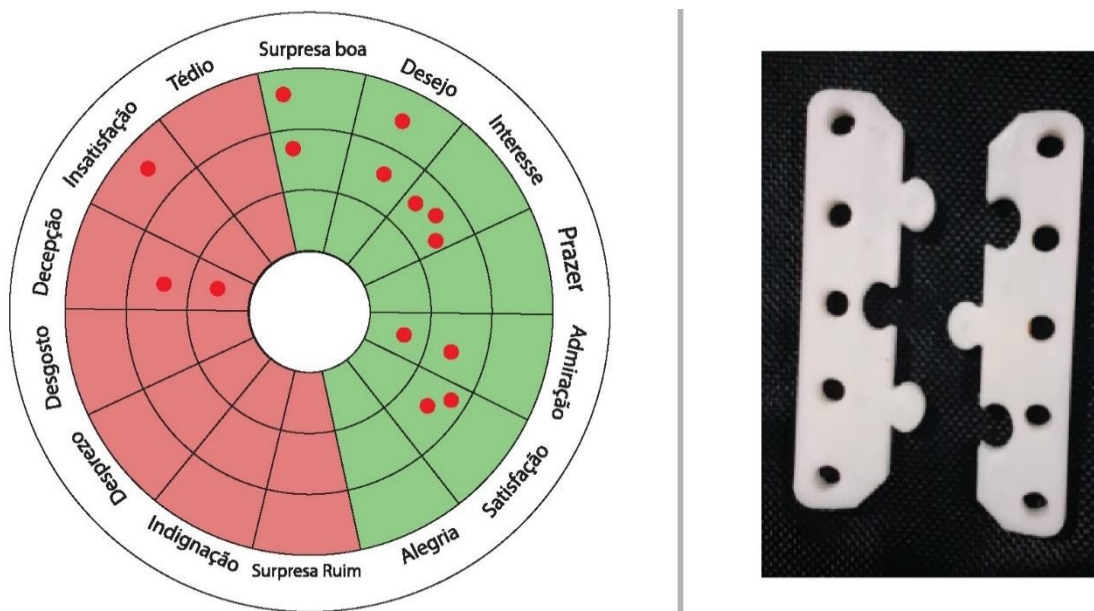
Figura 34 – Resultado, rodas das emoções produto SPA.



Fonte: O autor

Em contrapartida, o produto SPJ (figura 35) foi extremamente bem avaliado. Os 78,57% ($f=11$) de emoções positivas da surpresa boa, desejo, interesse, admiração e satisfação pontuaram nas intensidades média e alta. O produto pontuou 21,43% ($f=3$) de emoções negativas representadas pela decepção com intensidade baixa e média, e com a insatisfação pontuando na intensidade alta. Segundo os avaliadores, o produto cumpriu devidamente o briefing de customização.

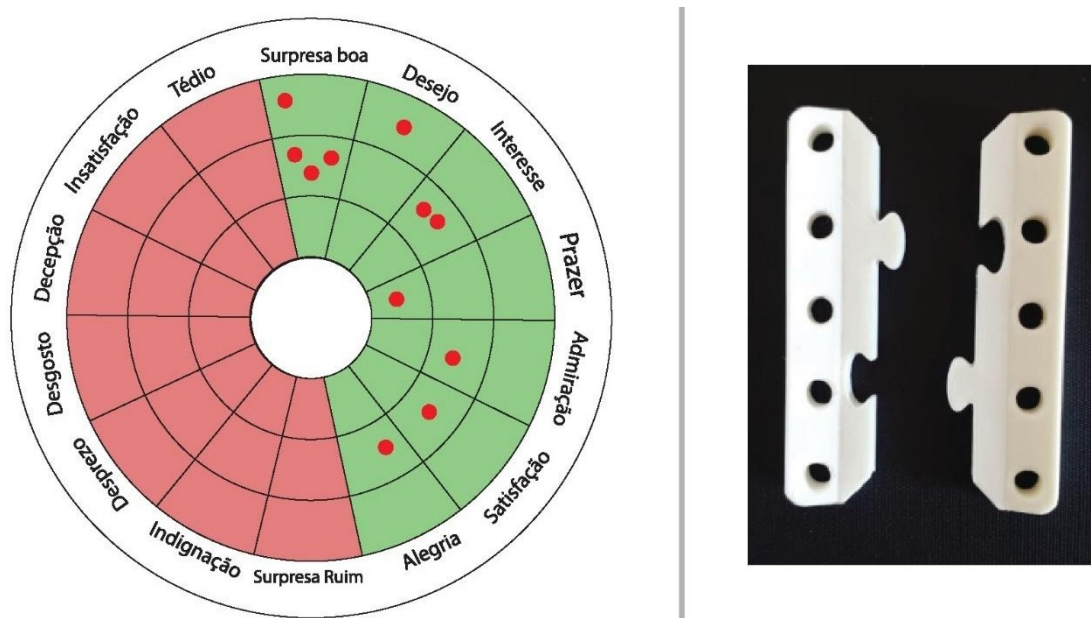
Figura 35 – Resultado, rodas das emoções produto SPJ



Fonte: O autor

Contudo, o produto melhor avaliado pelos especialistas foi o SPG, figura 36, com 91,67% ($f=11$) de emoções positivas. As emoções surpresa boa, desejo, interesse, admiração satisfação, alegria pontuaram nas intensidades alta e média; Apenas o prazer pontuou com intensidade baixa. Segundo os especialistas, embora o produto respeite parcialmente o briefing, o produto apresentou uma boa qualidade funcional e estética.

Figura 36 – Resultado, rodas das emoções produto SPG.



Fonte: O autor

A tabela 6 apresenta uma síntese da escala de afeto dos produtos resultante da avaliação dos 4 especialistas em manufatura aditiva.

Tabela 6 – Escala de Afeto dos produtos

Produto	Emoções		Total	Porcentagem	
	Positivas	Negativas		Positiva	Negativa
BAA	8	3	11	72,73%	27,27%
RJA	4	8	12	33,33%	66,67%
RJT	0	15	15	0,00%	100,00%
SPA	6	6	12	50,00%	50,00%
SPJ	11	3	14	78,57%	21,43%
SPG	11	1	12	91,67%	8,33%

Fonte: O autor

Como resultado do teste, o produto que obteve o maior número de emoções positivas foi o produto SPG, com 11 pontos positivos e apenas um ponto negativo.

Sendo que apenas 2 pontos foram referentes a uma intensidade alta; a maioria das emoções foram concentradas numa intensidade média com 8 pontos, e apenas uma emoção pontuada com uma intensidade baixa 1.

O produto que obteve a maior quantidade de emoções negativas foi o RJT com 15 pontos negativos e nenhum ponto positivo. Adicionalmente 11 dos pontos foram adquiridos com uma intensidade alta, 3 foram com uma intensidade média e apenas 1 ponto foi relacionado com uma intensidade baixa.

Pelo lado da usabilidade, os produtos foram mais bem avaliados de forma virtual que de forma física, quer dizer que os especialistas poderiam ter sido influenciados por aspectos do significado do produto, ao entender que são produtos feitos dentro do sistema de design distribuído em que os especialistas fazem parte. Já quando foram avaliadas características de afetividade, o produto teve maior pontuação desde o ponto de vista físico do que o ponto de vista virtual. Adicionalmente quando vemos os resultados das rodas das emoções (experimento de forma física) entendemos que existe uma tendência favorável para as emoções positivas, embora não tenha uma intensidade tão forte quando a avaliação é negativa. Isto indica que é possível modificar a percepção do usuário à medida que vão aumentando o alcance da avaliação adicionando as características hapticas do produto.

5 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS E RECOMENDAÇÕES GERAIS

As distintas ferramentas executadas nesta pesquisa permitiram obter reflexões pertinentes da relação entre a percepção dos materiais, a usabilidade do produto e a afetividade. Em função das restrições impostas pela pandemia do Covid-19, a amostra de avaliadores foi reduzida para apenas 4 especialistas, todavia cabe destacar que o volume de dados coletados foi significativo a partir do cruzamento das quatro diferentes ferramentas aplicadas para cada especialista avaliando seis produtos distintos.

Como principal resultado da etapa D - Avaliação Técnica cabe destacar que, mesmo controlando as variáveis briefing, materiais e processo de produção, todos os produtos apresentaram resultados diferentes tanto de configuração quanto de funcionalidade. Isto aponta para uma fragilidade do DD na modalidade de peças padronizadas produzidas localmente. Por outro lado, isso também corrobora para o potencial do processo de fabricação por adição na elaboração de produtos customizados.

Ainda sob o ponto de vista técnico, apenas um dos seis produtos apresentou erros comuns de manuseio da máquina ou de material: insuficiência no tempo de pré-aquecimento da máquina; falhas mecânicas e de calibração na impressora 3D. Este fato é indicativo de um panorama positivo dentro dos serviços de impressão 3D no Brasil, com arquivos que já foram testados anteriormente, pois cinco dos seis produtos avaliados, não apresentaram falhas visíveis na topografia da peça.

Contudo, os erros mais frequentes neste experimento e que comprometeram a satisfação do usuário envolveram o mau uso de softwares de modelagem 3D; a baixa interpretação do briefing; o escalamento inadequado do material e a dificuldade para customizar um arquivo previamente projetado.

O arquivo STL. demonstrou uma facilidade muito alta ao nível de compartilhamento dentro de plataformas *online*s, por causa da qualidade da modelagem e o tamanho do arquivo. Entretanto, este tipo de arquivo possui dificuldades para a customização do produto, pois 4 dos 6 laboratórios tiveram que refazer o produto, isto se deve a que este tipo de arquivo nem sempre é compatível com os softwares de uso convencionais para a modelagem 3D.

Esta descoberta pode ser um dos principais motivos de erros sobre dimensão da peça ou o mau funcionamento dos encaixes, já que o projetista teve que refazer o

produto e só pôde aproveitar parâmetros gerais e referências visuais do produto. O que representa um retrocesso no “workflow” do design distribuído, pois os makers estão criando um produto apenas desde uma referência visual e não a partir de um modelo já testado por outro maker.

Fazendo uma reflexão sobre os achados das etapas E e F a partir da análise do produto nos formatos virtual e físico, podemos destacar os resultados que apontam para uma diferença significativa de aceitação quando se restringe o usuário a usar todos os seus sentidos. A utilização de mais de um sentido melhora a interação, o que torna a avaliação mais assertiva sobre as propriedades dos materiais, comprovando o que foi descrito por outros estudos como os realizados por Almeida (2013).

A avaliação subjetiva dos produtos apontou uma notável diferença entre os momentos virtual e físico do teste. Da mesma forma, as variações no grau de intensidades das emoções quando produtos não atendiam as questões viscerais e comportamentais descritas por Norman (2004), como a aparência e a funcionalidade do produto. Por outro lado, quando os produtos cumpriam minimamente as expectativas, não se observava uma variação na intensidade das emoções.

Acredita-se que o fato de ter sido aplicado o experimento da roda das emoções depois do usuário conhecer o produto pode ter interferido no resultado. Para pesquisas futuras, recomenda-se aplicar este experimento também no primeiro momento, para entender se há alteração na intensidade das emoções.

Cumprе salientar que a avaliação no formato físico gerou reações mais intensas no usuário do que a avaliação no formato virtual. As respostas emocionais foram intensificadas com o contato físico com o produto. Acredita-se que os resultados extremos se devem ao fato que os avaliadores possuíam mais informações sensoriais e conseguiam testar o produto por completo, dessa forma, conseguiam compreender o funcionamento e as propriedades técnicas do produto. Adicionalmente, pode-se afirmar que os aspectos hedônicos perdiam efeitos no momento em que o produto apresentava um mau funcionamento.

Quando cruzamos os resultados no teste de design para manufatura aditiva (DFAM) com os resultados da percepção da qualidade dos produtos, pode-se afirmar que o sucesso das plataformas que trabalham com o design distribuído não está associado apenas com o tempo de experiência e conhecimento dentro da área de fabricação digital, e sim, com a comunicação entre maker e o cliente.

A jornada de ambos os atores no processo de cocriação influencia diretamente na qualidade percebida do produto. Assim, esta deve ser mapeada e cruzada as dores de cada ator para uma auto avaliação da qualidade dos resultados parciais dos produtos até a entrega final.

Por fim, pode-se perceber que o baixo conhecimento no tema DFAM e a falta de uma metodologia de design para manufatura aditiva pode ter influenciado significativamente os baixos resultados de qualidade percebida nos produtos físicos oriundos de serviços on-line.

5.1 JORNADA DOS ATORES NO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

Para a proposição das recomendações foram mapeadas as jornadas dos dois principais atores no processo de fabricação de um produto por impressão 3D: O maker, quem é responsável de entender a ideia e customizar e produzir o produto; e o co-criador, que é responsável por trazer a ideia e geralmente é o responsável de financiar o projeto. A partir destas jornadas foram marcados os episódios onde houve testes emocionais.

Adicionalmente foram detectadas as principais dores extraídas dos resultados da pesquisa. E por último foram geradas ideias para amenizar essas dores através de diretrizes para melhorar a qualidade percebida do produto, junto com a experiência do usuário ou cocriador.

No quadro 5 é apresentado o estudo das jornadas do usuário mencionadas anteriormente, junto com as principais dores e diretrizes detectadas. Cabe mencionar que o quadro possui espaços em branco, onde poderiam ser focos de pesquisas futuras, pois os limites de estas pesquisas não permitem o estudo suficiente para colocar maiores informações.

Quadro 5 – Jornada do usuário referente na atuação do maker e o cocriador no design distribuído.

Jornada Do maker	Faz a inscrição em Makerfind.org	Recebe o pdido do cliente	Procura um arquivo parecido	Customiza o produto em função ao pdido do cliente	Envia as fotos dos renders o modelo em 3D	Seleciona aspectos técnicos (CAM/ Materiais/ Hardware)	Imprime o produto	Envia foto do produto físico	Envia o produto ao destino final
Jornada do Cocriador	Busca o maker em makerfind.org	Indica a ideia para o maker	Envia referencias do produto desejado	-	Recebe o render do produto	-	-	Recebe fotos do produto impresso	Recebe o produto físico
Ferramentas utilizadas	Makerfind.org	e-mail - WhatsApp	Banco de arquivos	Software CAD	Software CAD	Softwares CAD-CAM	Impressora 3D	e-mail - WhatsApp	Correios - Aplicativos de envio
Emoções Mapeadas									
Principais Dores	Pouca visibilidade de sites Design distribuído	- Briefing poucos padronizados - Pouco entendimento entre makers e clientes	- Falta de opções para escolher arquivos. - Os melhores arquivos não estão disponíveis gratuitamente. - Os arquivos pagos não garantem qualidade.	- O Arquivo disponibilizado (STL) não é compatível com o software do maker - A demanda do cliente não é compatível com a expertise do maker	- A visualização virtual é muito longe do produto físico - Dificuldade em apresentar texturas de impressão 3D	Pouco conhecimento de metodologias para impressão 3D, caso do DFAM.	- Faixas de calibração e entupimentos. - Muita demanda de produtos para uma máquina. - Pouco espaço de tempo para teste de produtos	- Pouca fidelidade com o produto físico. - Fotos não são tiradas de forma profissional - É possível ocultar erros através de foto.	- Custos de envios elevados para peças pequenas. O envio termina sendo mais caro que a peça - Embalagens pouco padronizada para os produtos elaborados.
Directrices (Plataformas)		- Incentivar um maior entendimento sobre o produto final a través de imagens e produtos físicos. - Incentivar encontros físicos entre maker e clientes antes do início da Jornada		- Disponibilizar mais de um arquivo para garantir a compatibilidade com o software do maker. - Crear perfil do makers para recomendar os projetos mais adequados	Crear espaço de simulação de arquivos virtuais dentro das plataformas, que contenham topografias similares ao produto final			Pedir amostras e funcionalidades do produto oriados pelos makers antes de aceitar novos colaboradores na plataforma.	Indicar os makers que estejam o mais próximo possível ao cliente
Directrices (Makers)		- Indicar para o Cocriador um portfolio real dos trabalhos anteriores de trabalhos físicos - Crear um formulário de briefing em que o cocriador consiga expreçar de forma clara a ideia que possui	Selecionar arquivos já testados anteriormente, e verificar através de evidências como fotos reais e vídeos. Se é possível, entrar em contato com algum maker que já produziu esse arquivo.	Crear "Checkpoints" com o cocriador do produto com uma periodicidade alta, assim como passar por um processo de prototipagem rápida de papelão para que exista maior entendimento do produto.	Enviar para o cocriador a maior quantidade de vistas do projeto possíveis, de essa forma o cocriador ajudaria a encontrar possíveis erros relacionados a percepção da qualidade.			Crear um espaço para fotografar os produtos impressos em 3D dentro do laboratório, pois é essencial para que o cocriador entenda de melhor forma o resultado final antes de receber o produto.	

Fonte: O autor

Para melhor leitura digital, o quadro 5 foi segmentado em 3 partes iguais conforme apresentado na figura 37.

Figura 37 – Segmentação do quadro 5.

	A			B			C		
Jornada Do maker	Faz a inscrição em Makerfind.org	Recebe o pedido do cliente	Procura um arquivo parecido	Customiza o produto em função ao pedido do cliente	Envia as fotos dos renders o modelo em 3D	Seleciona aspectos técnicos (CAM/ Materiais/ Hardware)	Imprime o produto	Envia foto do produto físico	Envia o produto ao destino final
Jornada do Cocriador	Busca o maker em makerfind.org	Indica a ideia para o maker	Envia referencias do produto desejado	-	Recebe o render do produto	-	-	Recebe fotos do produto impresso	Recebe o produto físico
Ferramentas utilizadas	Makerfind.org	e-mail - WhatsApp	Banco de arquivos	Software CAD	Software CAD	Softwares CAD-CAM	Impressora 3D	e-mail - WhatsApp	Correios - Aplicativos de envio
Emoções Mapeadas									
Principais Dores	Pouca visibilidade de sites Design distribuído	- Briefing poucos padronizados - Pouco entendimento entre makers e clientes	- Falta de opções para escolher arquivos. - Os melhores arquivos não estão disponíveis gratuitamente. - Os arquivos pagos não garantem qualidade.	- O Arquivo disponibilizado (STL) não é compatível com o software do maker - A demanda do cliente não é compatível com a expertise do maker	- A visualização virtual é muito longe do produto físico - Dificuldade em apresentar texturas de impressão 3D	Pouco conhecimento de metodologias para impressão 3D, caso do DFAM.	- Falhas de calibração calibração e entupimentos. - Muita demanda de produtos para uma máquina. - Pouco espaço de tempo para teste de produtos	- Pouca fidelidade com o produto físico. - Fotos não são tiradas de forma profissional - É possível ocultar erros através da foto.	- Custos de envios elevados para peças pequenas. O envio termina sendo mais caro que a peça - Embalagens pouco padronizada para os produtos elaborados.
Directrices (Plataformas)		- Insentivar um maior entendimento sobre o produto final a través de imagens o produtos físicos. - Incentivar encontros físicos entre maker e clientes antes do início da Jornada		- Disponibilizar mais de um arquivo para garantir a compatibilidade com o software do maker. - Criar perfis do makers para recomendar os projetos mais adequados	Criar espaço de simulação de arquivos virtuais dentro das plataformas, que contenham topografias similares ao produto final			Pedir amostras e funcionalidades do produto oriados pelos makers antes de aceitar novos colaboradores na plataforma.	Indicar os makers que estejam o mais próximo possível ao cliente
Directrices (Makers)		- Indicar para o Cocriador um portafolio real dos trabalhos anteriores de trabalhos físicos - Criar um formulário de briefing em que o cocriador consiga expressar de forma clara a ideia que possui	Selecionar arquivos já testados anteriormente e verificar através de evidencias como fotos reais o vídeos. Se é possível, entrar em contato com algum maker que já produziu esse arquivo.	Criar "Checkpoints" com o cocriador do produto com uma periodicidade alta, assim como passar por um processo de prototipagem rápida de papelão para que exista maior entendimento do produto.	Enviar para o cocriador a maior quantidade de vistas do projeto possíveis, de essa forma o cocriador ajudaria a encontrar possíveis erros relacionados a percepção da qualidade.			Criar um espaço para fotografar os produtos impressos em 3D dentro do laboratório, pois é essencial para que o cocriador entenda de melhor forma o resultado final antes de receber o produto.	miro

Fonte: O autor

Segmento A

Quadro 6 – Segmento A do quadro 5

Jornada Do maker	Faz a inscrição em Makerfind.org	Recebe o pedido do cliente	Procura um arquivo parecido
Jornada do Cocriador	Busca o maker em makerfind.org	Indica a ideia para o maker	Envia referências do produto desejado
Ferramentas utilizadas	Makerfind.org	e-mail - WhatsApp	Banco de arquivos
Emoções Mapeadas			
Principais Dores	Pouca visibilidade de sites Design distribuído	- Briefing poucos padronizados - Pouco entendimento entre makers e clientes	- Falta de opções para escolher arquivos. - Os melhores arquivos não estão disponíveis gratuitamente. - Os arquivos pagos não garantem qualidade.
Diretrizes (Plataformas)		- Incentivar um maior entendimento sobre o produto final através de imagens dos produtos físicos. - Incentivar encontros físicos entre maker e clientes antes do início da Jornada	
Diretrizes (Makers)		- Indicar para o Cocriador um portfólio real dos trabalhos anteriores de trabalhos físicos - Criar um formulário de briefing em que o cocriador consiga expressar de forma clara a sua ideia	Selecionar arquivos já testados anteriormente, e verificar através de evidências, como fotos reais o vídeos. Se for possível, entrar em contato com algum maker que já produziu esse arquivo.

Fonte: O autor

Segmento B

Quadro 7 – Segmento B do quadro 5

Jornada Do maker	Customiza o produto em função do pedido do cliente	Envia as fotos dos renders e do modelo em 3D	Seleciona aspectos técnicos (CAM/ Materiais/ Hardware)
Jornada do Cocriador	-	Recebe o render do produto	-
Ferramentas utilizadas	Software CAD	Software CAD	Softwares CAD-CAM
Emoções Mapeadas			
Principais Dores	• O Arquivo disponibilizado (STL.) não é compatível com o software do maker • A demanda do cliente não é compatível com a expertise do maker	• A visualização virtual não é a mesma que o produto físico • Dificuldade em apresentar texturas de impressão 3D	• Pouco conhecimento de metodologias para impressão 3D, caso do DFAM.
Diretrizes (Plataformas)	• Disponibilizar mais de um arquivo para garantir a compatibilidade com o software do maker. • Criar perfis dos makers para recomendar os projetos mais adequados	• Criar espaço de simulação de arquivos virtuais dentro das plataformas que contenham topografias similares ao produto final	
Diretrizes (Makers)	• Criar "Checkpoints" com o cocriador do produto com uma periodicidade alta, assim como, passar por um processo de prototipagem rápida de papelão para que exista maior entendimento do produto.	• Enviar para o cocriador a maior quantidade de vistas do projeto possíveis, dessa forma, o cocriador ajudaria a encontrar possíveis erros relacionados a percepção da qualidade.	

Fonte: O autor

Segmento C

Quadro 8 – Segmento C do quadro 5

Jornada Do maker	Imprime o produto	Envia foto do produto físico	Envia o produto ao destino final
Jornada do Cocriador	-	Recebe fotos do produto impresso	Recebe o produto físico
Ferramentas utilizadas	Impressora 3D	e-mail - WhatsApp	Correios - Aplicativos de envios
Emoções Mapeadas			
Principais Dores	- Falhas de calibração e entupimentos. - Muita demanda de produtos para uma máquina. - Pouco espaço de tempo para teste de produtos	- Pouca fidelidade com o produto físico. - Fotos não são tiradas de forma profissional - É possível ocultar erros através da foto.	- Custos de envios elevados para peças pequenas. O envio termina sendo mais caro que a peça. - Embalagens pouco padronizadas para os produtos elaborados.
Diretrizes (Plataformas)		Pedir amostras e funcionalidades do produto criados pelos makers antes de aceitar novos colaboradores na plataforma.	Indicar os makers que estejam o mais próximo possível ao cliente
Diretrizes (Makers)		Criar um espaço para fotografar os produtos impressos em 3D dentro do laboratório, pois é essencial para que o cocriador entenda bem o resultado final antes de receber o produto.	

miro

Fonte: O autor

Por fim, a partir do cruzamento dos resultados obtidos com a aplicação das ferramentas qualitativas propostas para essa pesquisa se propõem para testar e validar as seguintes diretrizes para a aumentar a qualidade percebida da impressão de produtos em 3D:

Às Plataformas de design distribuído

- A. Incentivar um maior entendimento sobre o produto final através de imagens ou produtos físicos.
- B. Incentivar encontros físicos entre maker e clientes antes do início da Jornada
- C. Disponibilizar mais de um arquivo para garantir a compatibilidade com o software do maker.
- D. Criar perfis do makers para recomendar os projetos mais adequados
- E. Criar espaço de simulação de arquivos virtuais dentro das plataformas, que contenham topografias similares ao produto final
- F. Pedir amostras e funcionalidades do produto criados pelos makers antes de aceitar novos colaboradores na plataforma.
- G. Indicar os makers que estejam o mais próximo possível ao cliente

Aos Laboratórios independentes

- A. Indicar para o Co Criador um portfólio real dos trabalhos anteriores de trabalhos físicos.
- B. Criar um formulário de briefing em que o co-criador consiga expressar de forma clara a ideia que possui.
- C. Selecionar arquivos já testados anteriormente, e verificar através de evidências como fotos reais ou vídeos. Se possível, entrar em contato com algum maker que já produziu esse arquivo.
- D. Criar "Checkpoints" com o cocriador do produto com uma periodicidade alta, assim como passar por um processo de prototipagem rápida de papelão para que exista maior entendimento do produto.
- E. Enviar para o cocriador a maior quantidade de vistas do projeto possível, dessa forma o cocriador ajudaria a encontrar possíveis erros relacionados à percepção da qualidade.

- F. Criar um espaço para fotografar os produtos impressos em 3D dentro do laboratório, pois é essencial para que o co-criador entenda da melhor forma o resultado final antes de receber o produto.

6 CONCLUSÕES

Ao final desse estudo foi possível alcançar o objetivo geral no que tange a proposição de diretrizes para aumentar a qualidade visual e háptica percebida de produtos utilitários fabricados por impressão 3D FFF em laboratórios independentes de fabricação digital.

Para cumprir com o primeiro objetivo específico que trata do mapeamento de modelos de fabricação dos laboratórios abertos e fechados das cidades de Recife e Rio de Janeiro foram realizadas: [i] visitas técnicas aos laboratórios fechados; [ii] estabelecidos contatos com makers através da plataforma makerfind.org e [iii] mapeados os métodos de boas práticas dentro dos laboratórios através das revisões bibliográficas. Esta última resultou em um dos achados mais significativos deste estudo - o método DFAM, que foi a ferramenta fundamental para entender o grau de conhecimento dos maker que atuam dentro dos laboratórios independentes.

O segundo objetivo específico - replicar parcialmente o modelo de DD com a impressão 3D para produtos utilitários junto aos laboratórios independentes - foi cumprido através da conclusão das etapas 1 e 2 do método de pesquisa proposto. Esse processo permitiu entender as dores e os desafios enfrentados por um co-criador no momento de colocar em prática a ideia de customizar um produto contratando um laboratório independente para realizar o projeto.

Já o terceiro objetivo específico - avaliar a usabilidade aparente e percebida dos produtos impressos em manufatura aditiva (FFF) pelos usuários finais - foi alcançado através da terceira etapa do método de pesquisa. Os coordenadores dos mais significativos espaços de fabricação digital da cidade do Recife foram convidados como especialistas para a avaliação afetiva dos produtos fabricados pelos seis laboratórios independentes voluntários. Esta prática facilitou o entendimento do potencial e das limitações de um produto impresso em 3D.

Em síntese, os resultados refletem que os produtos melhor avaliados tecnicamente foram aqueles que conseguiram cumprir o briefing, ou seja, atendiam ao propósito de uso. Enquanto que os produtos melhor avaliados emocionalmente pelos especialistas foram aqueles que para além das questões técnicas apresentaram uma alta qualidade de impressão na superfície do produto, ou seja, foram eficazes também na dimensão visceral do design uma vez que a sensação física e a textura da superfície foram relevantes na aceitação. E assim, pode-se

afirmar que a percepção da qualidade dos produtos da manufatura aditiva não se dá apenas no atendimento individual das necessidades práticas e sim, pela satisfação das questões estético-simbólicas que afetam os usuários.

Podemos concluir que, através desta pesquisa, a manufatura aditiva por impressão 3D FFF pode ser um método de produção para aumentar a qualidade percebida dos produtos finais, quando atendidos os critérios de qualidade técnica esperados pelos clientes. A comunicação sistemática entre o maker e o cliente deve ser fluida e estimulada durante todo o processo de design, como ocorreu com o produto SPG que pontuou em 91,67% de emoções positivas.

Por fim, a articulação da impressão 3D FFF e o design distribuído se apresentam como potenciais ferramentas de design, uma vez que as recomendações supracitadas sejam atendidas.

6.1 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A presente pesquisa teve como base entender as emoções de alguns dos atores envolvidos que atuam no design distribuído, desta forma é possível ramificar a pesquisa através de distintas formas, a continuação apresentou algumas sugestões para trabalhos futuros.

- (a) Avaliar de forma sistemática o serviço de laboratórios independente utilizando ferramentas de design de serviços como a jornada do usuário
- (b) Avaliar as emoções dos distintos atores envolvidos como o maker, designer principal do arquivo que atuam dentro do sistema do design distribuído.
- (c) Replicar o método proposto com ampliação da amostra de usuários finais;
- (d) Ampliar a pesquisa utilizando outros métodos de produção presentes em *maker spaces* como router CNC e Corte laser assim como, a possibilidade de utilizar materiais sustentáveis.
- (e) Para todas as recomendações anteriores, indica-se utilizar a ferramenta das “Rodas das emoções” de forma virtual e de forma física.

REFERÊNCIAS

ALAFAGHANI, A.; QATTAWI, A.; ABLAT, M. A. Design Consideration for Additive Manufacturing: Fused Deposition Modelling. **Open Journal of Applied Sciences**, 2017. v. 07, n. 06, p. 291–318.

ALMEIDA, G. Avaliação dos aspectos subjetivos relacionados aos materiais :proposição de método e escalas de mensuração aplicadas ao setor moveleiro. 2013. p. 191. Disponível em: <<http://www.ppgd.uemg.br/wp-content/uploads/2014/05/Dissertação-Gilberto-Almeida-Jr.pdf>>.

ALONSO, C. The narrative of Craft: Digital capabilities within traditional stories. **2015 Internet Technologies and Applications, ITA 2015 - Proceedings of the 6th International Conference**, 2015. n. April, p. 520–523.

ALVARADO, R.; BRUSCATO, U. Evaluación de Experiencias de Fabricación Digital en la Enseñanza de Arquitectura. **INTERNATIONAL CONFERENCE ICBL Florianópolis. Anais.Florianópolis: UFSC**, 2009. v. 3.

ANDERSON, C. **Makers : the new industrial revolution**. [S.l.]: Crown Business, 2012.

ARMSTRONG, K. A qualital label certifying our values. **Desing ,Remix , Share, Repeat**. Barcelona: Institute for Advanced Architecture of Catalonia, 2019, p. 56–59.

ARMSTRONG, K. *et al.* **Design,Remix,Share,Repeat**. Barcelona: Institute for Advanced Architecture of Catalonia, 2019.

ASADOLLAHI-YAZDI, E. *et al.* Redesign optimization for manufacturing using additive layer techniques. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2018. v. 96, n. 4–5, p. 193–198. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.058>>.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e Design: A arte de seleção de materiais no projeto do produto**. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2011.

BACCIAGLIA, A.; CERUTI, A.; LIVERANI, A. Evaluation of 3D printed mouthpieces for musical instruments. **RapidPrototypingJournal**, 2019. v. 26, n. 3, p. 577–584.

BARROS, A. M. De. Fabricação digital: sistematização metodológica para o desenvolvimento de artefatos com ênfase em sustentabilidade ambiental. 2011. p. 102.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2000.

BOOTH, J. W. *et al.* The design for additive manufacturing worksheet. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, 2017. v. 139, n. 10, p. 1–9.

BORGIANI, Y.; MACCIONI, L.; BASSO, D. Exploratory study on the perception of additively manufactured end-use products with specific questionnaires and eye-tracking. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, 2019. n. 0123456789. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12008-019-00563-w>>.

BOUMARAF, H.; İNCEOĞLU, M. Integrating 3D printing technologies into architectural education as design tools. **Emerging Science Journal**, 2020. v. 4, n. 2, p. 73–81.

BROOKE, J. SUS - A quick and dirty usability scale. **Usability Eval. Ind**, 1996. v. 15, n. 8, p. 41–47.

BULL, GLEN; MARKS, G. M. A. Educational implications of the Digital Fabrication Revolution. **Journal of Research on Technology in Education**, 2010. v. 42, p. 331–338.

CATECATI, T. *et al.* Métodos para avaliação da usabilidade no design de produtos. **DAPesquisa**, 2018. v. 6, n. 8, p. 564–581.

CHUA, C. K.; WONG, C. H.; YEONG, W. Y. **Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing**. London: Matthew Deans, 2017.

COSTA, C.; PELEGRINI, A. Design Distribuído : novas práticas e competências para o design. Joinville: **13º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Univille, Joinville (SC)**, 2018.

CUNHA, J.; PROVIDÊNCIA, B. **PERCURSOS DO DESIGN EMOCIONAL**. 2C2T-Lab. ed. Guimarães: 2C2T - Lab, 2020.

DAMASIO, A. **O mistério da consciência Do corpo e das emoções ao conhecimento de si**. 2da. ed. São Paulo: SCHWARCZ LTDA., 2000.

DEMIR, E. The field of design and emotion: Concepts, arguments, tools, and current issues. **Metu Journal of the Faculty of Architecture**, 2008. v. 25, n. 1, p. 135–152.
DIAS, M. R. Á. C. Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92232>>.

DIAS, P. J. J. Da S. Design e auto-produção: novos paradigmas para o design de artefactos na sociedade pós-industrial: a contribuição das tecnologias digitais. 2014. p. 253. DIEZ, T. **Fab City the mass distribution of almost everything**. 1st. ed. Barcelona: [s.n.], 2018.

DIEZ, T.; ARMSTRONG, K.; WHYMAN, EMILEY. State of the art of Distributed Design. **Desing ,Remix , Share, Repeat**. Barcelona: Institute for Advanced Architecture of Catalonia, 2019.

DURAKOVIC, B. Design for additive manufacturing: Benefits, trends and challenges. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, 2018. v. 6, n. 2, p. 179–191.

EVANS, B. **Practical 3D Printers The Science and Art of 3D Printing**. New York: [s.n.], 2012.

FERNANDEZ, V. B. **No Title MODA E FABRICAÇÃO DIGITAL EM UM CONTEXTO FAB LAB: Equipamentos, métodos e processos para o desenvolvimento de produtos**. [S.l.]: Universidad Federal de Pernambuco, 2014. Disponível em: <<https://eje.bioscientifica.com/view/journals/eje/171/6/727.xml>>.

FLUSSER, V. **O mundo codificado: Por uma filosofia do design e da comunicação**. São Paulo: ubu, 2019.

GERSHENFELD, N. How to make almost anything machine! **Foreign Affairs**, 2012. v. 91, n. 6.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies**. Atlanta: Springer is, 2010.

GREIESIER, F. 16 Common 3D Printing Problems and Solutions. 2019. Disponível em: <<https://all3dp.com/common-3d-printing-problems-and-theirsolutions/>>. Acesso em: 1º dez. 2019.

HANCOCK, P. A.; PEPE, A. A.; MURPHY, L. L. Hedonomics: The power of positive and pleasurable ergonomics. **Ergonomics in Design**, 2005. v. 13, n. 1, p. 8–14.

IGNACIO SÁNCHEZ, J.; ARAÚJO SILVA, G. Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre os Processos de Design direcionados a Manufatura Aditiva em FabLabs para melhoria da qualidade do produto e redução de resíduos. **ENSUS**, 2020. v. 8, p. 174–184.

JORDAN, P. The Personalities of Products. **PLEASURE WITH PRODUCTS: BEYOND USABILITY**. London: Taylor and Francis, 2002.

JORDAN, P. W. **An Introduction to Usability**. London: Taylor and Francis, 1998.

KADKHODA-AHMADI, S.; HASSAN, A.; ASADOLLAHI-YAZDI, E. Process and resource selection methodology in design for additive manufacturing. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2019. v. 104, n. 5–8, p. 2013–2029.

KUDUS, A. *et al.* Customer perceived value for self-designed personalised products made using additive manufacturing. **International Journal of Industrial Engineering and Management**, 2016. v. 7, n. 4, p. 183–193. Disponível em: <www.iim.ftn.uns.ac.rs/ijiem_journal.php>.

LEFTERI, C. **Making it**. London: Laurence King, 2012.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas S. A., 2003.

MARIÑO, S. *et al.* a Interação Projetual Entre a Ergonomia E a Emoção: Uma Proposta De Definição De Requisitos Projetuais Para O Design De Produtos a Partir Da Opinião Dos Usuários. **16º Ergodesign – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano Tecnológica: Produto, Informações Ambientes Construídos e Transporte**, 2017. p. 1138–1149.

MATHIEU, F. *et al.* Design for additive manufacturing (DfAM) methodologies: a proposal to foster the design of microwave waveguide components. **Virtual and Physical Prototyping**, 2019. v. 14, n. 2, p. 175–187. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1549901>>.

MCCLELLAND, I. Product assessment and user trials. **Evaluation of human work: A practical ergonomics methodology**. London: Taylor & Francis, 1990.

MENG, Y.; BARI, M. W. Design Perceptions for 3D Printed Accessories of Digital Devices and Consumer-Based Brand Equity. **Frontiers in Psychology**, 2019. v. 10, n. December, p. 1–12.

MISHRA, A.; DASH, S.; MALHOTRA, N. Measuring consumer design perceptions for digital devices: A multi-dimensional scale. **Brand Manag**, 2015. v. 22, p. 603–630.

MONT`ALVÃO, C.; DAMAZIO, V. **Design, ergonomia e emoção**. 1era. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2008.

NORMAN, D. **O design do dia a dia**. Rio de Janeiro: Rocco LTDA, 2002.

NORMAN, D. **Emotional Desing: what we love (or hate) everyday things**. New York: Taylor and Francis, 2004.

OS 25 MELHORES FILAMENTOS PARA IMPRESSORAS 3D DE 2020. Rohringer, Sean. 2020. Disponível em: <<https://all3dp.com/pt/1/filamento-impressora-3d-comparacao-melhor-tipo/>>. Acesso em: 1º nov. 2020.

PASCHOARELLI, L. C. P.; CAMPOS, L. F. De A.; SANTOS, A. D. P. DOS. A influência da estética na usabilidade aparente: aspectos para a criatividade e inovação no design de sistemas e produtos. **ARTE-CIÊNCIA PROCESSOS CRIATIVOS**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015, p. 1–5.

PEEK, N. Making Machines that Make, A radically ecosystem of production. **Desing, Remix, Share, Repeat**. Barcelona: Institute for Advanced Architecture of Catalonia, 2019, p. 54–56.

PETERS, E. R. *et al.* Perceptual organization deficits in psychotic patients. **Psychiatry Research**, 2002. v. 110, n. 2, p. 125–135.

PORTNOVA, A. A. *et al.* Design of a 3D-printed, open-source wrist-driven orthosis for individuals with spinal cord injury. **PLoS ONE**, 2018. v. 13, n. 2, p. 1–19.

RACHAD, A. **Interpreting Quantitative Data with SPSS**. London: SAGE Publications, 2003.

REGADAS, J. J. L. M. Otimização de uma impressora 3D Delta e desenvolvimento da impressão simultânea de 3 cores. 2017. p. 93. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/105218/2/199523.pdf>>.

ROHRINGER, S. Os 25 melhores filamentos para impressoras 3D de 2020. 2020. Disponível em: <<https://all3dp.com/pt/1/filamento-impressora-3d-comparacao-melhor-tipo/>>. Acesso em: 10 out. 2020.

ROMEIRO FILHO, E. *et al.* **Projeto de Produto**. Elsevier E ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010.

SEELY, J. C. **DIGITAL FABRICATION IN THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS**. [S.l.]: Massachusetts Institute of Technology, 2004. Disponível em: <<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/28808>>.

SINCLAIR, M.; CAMPBELL, I. A Classification of Consumer Involvement in New Product Development. **Proceedings of DRS 2014: Design's Big Debates.**, 2014. n. May, p. 1582–1598. Disponível em: <http://www.drs2014.org/media/745827/drs14_proceedings.pdf>.

SONG, R.; TELENKO, C. Material waste of commercial FDM printers under realistic conditions. **Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference, SFF 2016**, 2016. n. 2016, p. 1217–1229.

SOSSOU, G. *et al.* An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies. **Journal of Computational Design and Engineering**, 2018. v. 5, n. 1, p. 3–18. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.11.005>>.

UPADHYAY, K.; DWIVEDI, R.; SINGH, A. K. Determination and comparison of the anisotropic strengths of fused deposition modeling P400 ABS. **Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies**. [S.l.]: [s.n.], 2016, p. 9–28.

WILSON, P. F. *et al.* Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. **Journal of Cultural Heritage**, 2018. v. 32, p. 176–185. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.002>>.

APÊNDICE A – PONTOS DE CONTATO COM LABORATÓRIOS INDEPENDENTES

	BAA	RJA	RJT	SPA	SPG	SPJ
Email Inicial	Foi enviado um e-mail padrão para todos os participantes dia 17 de Março					
Resposta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta	O Laboratório respondeu de formas que possuía material ABS branco e impressora aberta
Envio do briefing	Foi enviado o briefing ao laboratório	Foi enviado o briefing ao laboratório	Foi enviado o briefing ao laboratório	Foi enviado o briefing ao laboratório	Foi enviado o briefing ao laboratório	Foi enviado o briefing ao laboratório
Contato 1	Confirmou seu interesse em produzir, Adicionalmente envio as formas de envio e número de conta para fazer pagamentos	Respondeu o seu interesse via email	Respondeu o seu interesse via email	Respondeu Com avanços do projeto via Email,	Entrou em contato via Whatsapp para alinhar dúvidas técnicas	Entrou em contato via Whatsapp para alinhar dúvidas técnicas
Contato 2	Envio o projeto de Forma digital, mencionando o que o produto seria impresso o seguinte dia	CONFIRMOU o briefing via whatsapp já com o projeto avançado	Envio o projeto em digital para conferir o entendimento do briefing	Expresso dificuldade para customizar um produto desde um arquivo STL por causa dos softwares utilizados (meshmixer, Fusion 360)	Envio o projeto em digital para conferir o entendimento do briefing	CONFIRMOU o tipo de material, enviou a foto da cor do material

Contato 3	Expressou que tiveram um atraso de produzir o produto pela grande demanda do laboratório	Enviou foto dia 19 de março	Com a confirmação do pesquisador mencione o próximo passo iria fazer	Enviou a o modelo de forma digital dia 16 de março	Pergunto em relação do prazo de entrega	Enviou o projeto de forma digital
Contato 4	20 de Março enviou a foto do produto		Enviou a foto dia 19 de Março	Enviou mais opções de cores e materiais para experimentar na pesquisa	Enviou um vídeo de teste com filamento PLA	dia 17 de março enviou a fotofotofo produto impresso
Contato 5	24 de março enviaram o correio		Indicou que o produto não “estava funcional” e poderia refazer	16 de março envio as fotos do produto físico	Envio Fotos dia 22 de Maio	Teve problemas de envio por causa de feriados
Contato 6			Dia 22 de Março Enviou o produto não funcional pois não teve tempo de refazer por causa que a máquina era compartilhada com outro colega	Dia 22 de março enviou o produto		Enviou fotos do produto em contexto
Contato 8						Enviou o produto

APÊNDICE B – TLC DE ESPECIALISTAS INVOLUCRADOS NA PESQUISA

Durante todo o período da pesquisa e de divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome, dados ou qualquer elemento que possa, de alguma forma, te identificar, será mantido em sigilo. Todos os dados ficarão sob nossa guarda por um período mínimo de cinco anos e os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não. Considerando esses critérios, você concorda em participar dessa pesquisa, de forma voluntária? * *

☒ Sim

☐ Não

Nome e sobrenome

José Augusto Alves Neto

Qual é sua Idade ?

21

Durante todo o período da pesquisa e de divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome, dados ou qualquer elemento que possa, de alguma forma, te identificar, será mantido em sigilo. Todos os dados ficarão sob nossa guarda por um período mínimo de cinco anos e os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não. Considerando esses critérios, você concorda em participar dessa pesquisa, de forma voluntária? * *

☒ Sim

☐ Não

Nome e sobrenome

Bruno Braga

Qual é sua Idade ?

32

Durante todo o período da pesquisa e de divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome, dados ou qualquer elemento que possa, de alguma forma, te identificar, será mantido em sigilo. Todos os dados ficarão sob nossa guarda por um período mínimo de cinco anos e os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não. Considerando esses critérios, você concorda em participar dessa pesquisa, de forma voluntária? * *

☒ Sim

☐ Não

Nome e sobrenome

Sadi Seabra

Qual é sua Idade ?

32

Durante todo o período da pesquisa e de divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome, dados ou qualquer elemento que possa, de alguma forma, te identificar, será mantido em sigilo. Todos os dados ficarão sob nossa guarda por um período mínimo de cinco anos e os resultados da pesquisa serão tornados públicos, sejam eles favoráveis ou não. Considerando esses critérios, você concorda em participar dessa pesquisa, de forma voluntária? * *

☒ Sim

☐ Não

Nome e sobrenome

rafael oliveira

Qual é sua Idade ?

34

ANEXO B – ADAPTAÇÃO DA ESCALA DE LIKERT COM BASE EM (MISHRA, DASH, MALHOTRA, & CYR, 2015)

Qualidade Visual Percebida

- ASPECTOS VISUAIS

Concordo muito: 1 Concordo: 2 Indiferente: 3 Discordo: 4 Discordo muito: 5

#	itens					
1	O estilo do <i>produto impresso em 3D</i> parece elegante.	1	2	3	4	5
2	A aparência do <i>produto impresso em 3D</i> é atraente.	1	2	3	4	5
3	Os <i>produtos impressos em 3D</i> combinam com meus produtos pessoais.	1	2	3	4	5
4	O <i>produto impresso em 3D</i> apresenta uma aparência segura e duradoura.	1	2	3	4	5
5	A personalidade do <i>produto impresso em 3D</i> se assemelha com meu estilo de vida	1	2	3	4	5

Qualidade Visual Percebida

ASPECTOS CINESTÉSICOS

Concordo muito: 1 Concordo: 2 Indiferente: 3 Discordo: 4 Discordo muito: 5

#	Itens					
1	A forma do <i>produto impresso em 3D</i> é de fácil uso	1	2	3	4	5
2	O tamanho do <i>produto impresso em 3D</i> faz que seja fácil de guardar e levar para outros lugares	1	2	3	4	5
3	O <i>produto impresso em 3D</i> pode ser usado facilmente sem muita fadiga física e mental	1	2	3	4	5

Qualidade Visual Percebida

ASPECTOS FUNCIONAIS

Concordo muito: 1 Concordo: 2 Indiferente: 3 Discordo: 4 Discordo muito: 5

#	itens					
1	<i>O produto impresso em 3D</i> oferece soluções adequadas	1	2	3	4	5
2	<i>O produto impresso em 3D</i> possui o número certo de recursos básicos que eu preciso.	1	2	3	4	5
3	<i>O produto impresso em 3D</i> apresenta mais recursos em comparação com seus concorrentes.	1	2	3	4	5
4	<i>O produto impresso em 3D</i> oferece um desempenho perfeito sem falhas.	1	2	3	4	5
5	As especificações técnicas <i>do produto impresso em 3D</i> permitem a execução de duas ou mais aplicações.	1	2	3	4	5
6	Posso sempre depender do desempenho do <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
7	<i>O produto impresso em 3D</i> é resistente e pode suportar muitas quedas.	1	2	3	4	5

Qualidade Visual Percebida

AFETIVIDADE

Concordo muito: 1 Concordo: 2 Indiferente: 3 Discordo: 4 Discordo muito: 5

#	itens					
1	Uso frequentemente o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
2	<i>O produto impresso em 3D</i> é simples de usar	1	2	3	4	5
3	Posso realizar uma determinada tarefa mais rapidamente com a ajuda do <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
4	Preciso frequentemente da ajuda de um especialista para poder usar o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
5	Acho as opções operacionais <i>do produto impresso em 3D</i> bem integradas.	1	2	3	4	5
6	Acho que há muita inconsistência nas funções <i>O produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
7	Acho os acessórios impressos em 3D do telefone fáceis de aprender	1	2	3	4	5
8	Acho os <i>produtos impressos em 3D</i> incômodos de usar	1	2	3	4	5

9	Sinto-me muito confiante usando o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
10	Eu precisava aprender muitas coisas antes de começar a usar o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
11	O <i>produto impresso em 3D</i> me faz sentir aceitável em um grupo	1	2	3	4	5
12	O <i>produto impresso em 3D</i> melhora a forma como sou percebido	1	2	3	4	5
13	O <i>produto impresso em 3D</i> causa uma boa impressão em outras pessoas	1	2	3	4	5
14	O <i>produto impresso em 3D</i> melhora meu status social	1	2	3	4	5
15	O <i>produto impresso em 3D</i> é o que eu realmente gosto enquanto uso	1	2	3	4	5
16	Sempre me dá vontade de usar o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
17	Sinto-me muito relaxado ao usar o <i>produto impresso em 3D</i>	1	2	3	4	5
18	O <i>produto impresso em 3D</i> me faz sentir muito bem	1	2	3	4	5
19	O <i>produto impresso em 3D</i> me dá grande prazer	1	2	3	4	5

Observações:

- A expressão “Produto impresso em 3D” foi mudada depois da formulação do briefing pela palavra “KLOTS”
- Algumas perguntas foram retiradas e/ou adicionadas depois do teste piloto.

ANEXO C – RODA DAS EMOÇÕES

Surpresa boa / Desejo / Interesse / Prazer / Admiração / Satisfação / Alegria /
Surpresa Ruim / Indignação / Desprezo / Desgosto / Decepção / Insatisfação / Tédio

Figura 38 – Experimento da roda das emoções

O que você sente em relação ao produto numero 1 ?

Marque com uma "X" em uma ou mais sensações, indicando sua intensidade como o exemplo indicado.

Exemplo 1.



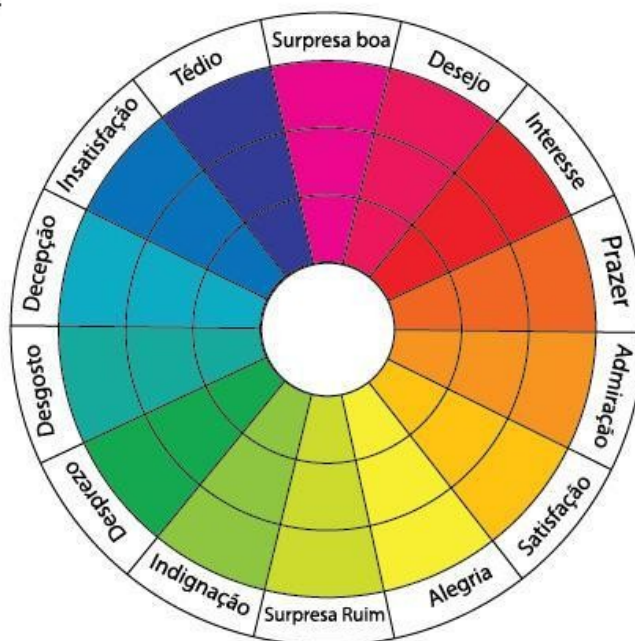
Equivale a: Senti uma surpresa muito boa com o item 1.

Exemplo 2.



Equivale a: Senti um desprezo medio com o item 1.

Exercício.



Senti outras sensações diferentes dessas: _____

Fonte: Dias (2009), adaptada pelo autor.

ANEXO D – PLANILHA DE CADASTRO NA PLATAFORMA MAKERFIND.ORG

REGISTER A MAKERMAKER MAPCOURSESCONTACT

Registre-se com um maker!

Register with us by filling out the form below.

First Name *

Last Name *

 **Email ***

 **Address**

Address Line 1

City

State or Region

Country

Zip

 **Phone ***

 (11) 96123-4567

 **Skills**

☐ 3D modeling

☐ Product Engineer

☐ Prototyping

☐ Art

☐ Health

☐ Arduino

☐ Outro

 **Digital Fabrication Machines**

☐ 3D Printing

☐ Laser Cut

☐ CNC

☐ Outro

How many Machines

☐ 1-3

☐ 3-6

☐ 7-10

☐ +10

CREATE ACCOUNT

ANEXO E – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CONHECIMENTO SOBRE O MÉTODO DFAM

O presente questionário foi elaborado a partir das informações obtidas dos trabalhos de Alafaghani et al. (2017)., Booth et al. (2017).

Com base na sua experiência e conhecimento da área, responda as questões abaixo:

Nro	Perguntas	Respostas
1	Segundo sua experiência, qual seria o ângulo mínimo de impressão para obter uma peça de boa qualidade sem o uso de suportes?	A) 30 B) 35 C) 40 D) 45 E) 50 F) 55 G) 60
2	Ordene de forma cronológica os seguintes procedimentos que devem ser seguidos para solucionar uma falha de impressão.	A) Verificação B) Quantificação C) Otimização
3	Qual é a espessura mínima que deve ter uma parede impressa em 3D FFF?	A) 0,5 mm B) 1 mm C) 1.5 mm D) 3 mm E) 4mm
4	Com base na sua experiência, qual software CAD você prefere utilizar para criar a modelagem 3D do produto?	Pergunta Aberta
5	Com base na sua experiência, qual dos seguintes materiais apresenta um melhor resultado para um pós-processo de acabamento químico?	A) ABS B) TPU C) PLA D) Nylon
6	Com base na sua experiência, qual é a velocidade máxima de impressão para obter uma boa qualidade na peça.	A) 100 mm/s B) 90 mm/s C) 80 mm/s D) 70mm/s E) 60 mm/s F) 50 mm/s G) 40 mm/s H) 30mm/s
7	Em relação a funcionalidade, qual seria a altura de camada ideal para produzir uma peça mecanicamente muito forte?	A) 0.3 mm B) 0.2 mm C) 0.1 mm D) 0.05 mm
8	Qual das seguintes ações você considera mais importante para a otimização do material na impressão 3D?	A) Calibração da máquina B) A orientação da peça sobre a mesa de impressão C) A temperatura apropriada da mesa de trabalho D) A boa escolha do modelo

		3D
9	Qual das seguintes ações devem ser priorizadas para eliminar o Stringing ou Oozing (cordas de filamento que sobressaem da peça). ex: 	A) Incrementar a retração B) Diminuir a temperatura de extrusão C) Aumentar a temperatura da cama de impressão D) Mudar a orientação da peça impressa em 3D
10	Qual dos seguintes cenários possuem um maior risco de impressão? 	A) Esquinas internas sem serem chanfradas B) Esquinas internas chanfradas moderadamente C) Esquinas internas chanfradas acentuadamente
11	Qual é o nível de tolerância indicado para criar um encaixe de macho/fêmea de forma satisfatória com o material PLA?	A) O macho 1% menor do que fêmea B) O macho 3% menor do que fêmea C) O macho 5% menor do que fêmea
12	Se uma peça precisa ser impressa com encaixes de forma exata, em qual desses cenários teria uma maior oportunidade de sucesso?	A) Uma peça com uma grande área de encaixes que tenham que ser exatos. B) Uma peça com uma área média de encaixes que tenham que ser exatos. C) Uma peça com uma pequena área de encaixes que tenham que ser exatos.
13	Quantos ciclos (cycles) pode suportar uma peça impressa em 3d que cumpra com um desempenho satisfatório?	A) Entre 2 e 10 ciclos B) Entre 10 e 50 ciclos C) Entre 50 e 100 ciclos D) Entre 100 e 1.000 ciclos
14	Qual seria a porcentagem de estrutura de suporte ideal para que se possa ser impressa uma peça em 3D?	A) Igual ou maior que 200% da peça (a estrutura é o dobro que a peça) B) Igual ou maior que 100% da peça C) Igual ou maior que 50% da peça

		B) Igual ou maior que 30% da peça
15	Qual das seguintes formas possui uma maior possibilidade de sucesso para a peça ser impressa sem “ <i>overhang</i> ”?	A)  B)  C) 

Observações:

- Algumas perguntas foram retiradas e\ou adicionadas depois do teste piloto.
- As perguntas foram inseridas na ferramenta “Google Forms” para o momento da avaliação.