



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

AURA CELESTE SANTANA CUNHA

DO DIGITAL AO MATERIAL: UMA INVESTIGAÇÃO TEÓRICO ESPECULATIVA
SOBRE O RACIOCÍNIO VISUAL E AS HEURÍSTICAS DA MATERIALIDADE NOS
LABORATÓRIOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL PRONTO 3D

Recife
2019

AURA CELESTE SANTANA CUNHA

DO DIGITAL AO MATERIAL: UMA INVESTIGAÇÃO TEÓRICO ESPECULATIVA
SOBRE O RACIOCÍNIO VISUAL E AS HEURÍSTICAS DA MATERIALIDADE NOS
LABORATÓRIOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL PRONTO 3D

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Design.

Área de concentração: Planejamento e Contextualização de Artefatos.

Orientador: Professor Doutor Ney Brito Dantas

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Jéssica Pereira de Oliveira, CRB-4/2223

C972d	Cunha, Aura Celeste Santana Do digital ao material: uma investigação teórico especulativa sobre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade nos laboratórios de fabricação digital Pronto 3D / Aura Celeste Santana Cunha. – Recife, 2019. 169f.: il. Orientador: Ney Brito Dantas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. Programa de Pós-Graduação em Design, 2019. Inclui referências e apêndices. 1. Experiência material. 2. Raciocínio visual. 3. Heurísticas da materialidade. 4. Fab Lab. 5. Pronto 3D. I. Dantas, Ney Brito (Orientador). II. Título. 745.2 CDD (22. ed.)	UFPE (CAC 2019-288)
-------	---	---------------------

AURA CELESTE SANTANA CUNHA

DO DIGITAL AO MATERIAL: UMA INVESTIGAÇÃO TEÓRICO ESPECULATIVA
SOBRE O RACIOCÍNIO VISUAL E AS HEURÍSTICAS DA MATERIALIDADE NOS
LABORATÓRIOS DE FABRICAÇÃO DIGITAL PRONTO 3D

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Design.

Aprovada em: 15/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Augusto Gomez Castillo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. André Menezes Marques das Neves (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

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

Prof^ª. Dr^ª. Regiane Trevisan Pupo (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª. Dr^ª. Maria de Jesus de Britto Leite (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho à minha esposa, Nirvana, pois juntas somos símbolo de resistência a uma sociedade que insiste em eliminar de si a riqueza das diferenças, e à minha mãe, in memoriam, que me ensinou sobre a dignidade e a compaixão necessária a toda existência de vida.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. Ney Brito Dantas pela oportunidade e interesse em orientar minha pesquisa de doutorado. Sua paciência, sabedoria e orientação foi de inestimável importância na condução dessa jornada, longa e difícil, rumo ao autoconhecimento e vocação à pesquisa.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco que muito iluminaram meus caminhos com aulas e debates que em muito contribuíram para o conhecimento aplicado nesse trabalho.

À prof. Dra. Regiane Pupo/UFSC pela valiosa contribuição à definição do estudo de caso, pois nossas conversas e seu exemplo de dedicação à inserção do conhecimento sobre a prototipagem rápida e fabricação digital através do projeto Pronto 3D/SC foram determinantes para essa escolha.

Aos professores Dr. Jovani Castelan, Dr. Anderson Daleffe e Dr. Daniel Fritzen, gestores do laboratório Pronto 3D na instituição SATC em Criciúma/SC e Carla Sechi do Pronto 3D na instituição Unochapecó/SC, bem como aos bolsistas do Pronto 3D por me receberem de portas abertas durante o período de realização da pesquisa.

À FUNCAP pelo apoio financeiro às pesquisas realizadas nos laboratórios Pronto 3D em Santa Catarina, Brasil.

À UFC, por ter me concedido afastamento em minhas atividades letivas durante o período de realização do doutorado e aos meus colegas professores e técnicos do Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Design (DAUD) que me deram apoio, principalmente na etapa final da pesquisa.

Aos alunos, colegas e amigos da Universidade Federal do Cariri onde comecei essa trajetória e à minha família, espero a compreensão de todos pela minha ausência durante esse período.

A individuação dos objetos técnicos se chama processo de concretização e se chama processo porque é um fazer humano repetível, representável e analisável através de seus produtos. Concretizar é estender uma ponte entre a evidente atividade artificializadora do homem e do natural. (SIMONDON, 2007, p. 67).

RESUMO

O uso crescente do ambiente digital e de suas aplicações no cotidiano afetam nossa percepção das graduais e profundas transformações sociais e culturais vividas por uma sociedade na qual a tecnologia torna-se pedra angular nas formas de interação social bem como nos processos de ideação, representação e fabricação de artefatos. A confluência entre paradigma positivista e fenomenológico nos estudos sobre raciocínio visual na representação em design pode ser observada pela perspectiva da ciência cognitiva onde subjetividade é inserida em categorias objetivas que definem as ações cognitivas de designers e arquitetos durante o estudo sobre a função do desenho no processo de design. Devido à pouca informação sistematizada de pesquisas de campo que apresentem a relação entre a tríade design, cognição e tecnologia a pesquisa apresenta como objetivo principal um estudo exploratório sobre a relação entre experiência material e as ações cognitivas associadas ao raciocínio visual em design durante o processo de design nos laboratórios acadêmicos de fabricação digital PRONTO 3D nas cidades de Florianópolis, Chapecó e Criciúma em Santa Catarina, Brasil. Pelas evidências apresentadas na pesquisa verificamos que a modelagem computacional associada à fabricação é orientada à solução do problema e atua, principalmente, com as restrições percebidas em ambiente digital na categoria de ação definida como conceitual, na qual o sujeito recupera conhecimentos sobre a representação em ambiente digital e avalia o artefato antes de ser fabricado. O estudo de caso sobre o laboratório Pronto 3D ressaltou a importância desses ambientes para a disseminação da tecnologia para produção pessoal e a necessidade em ampliar estudos sobre a produção material podendo se tornar verdadeiros centros para pesquisa sobre inovação em uma relação colaborativa subsidiada por métodos que auxiliem no desenvolvimento de sistemas baseados em criatividade computacional e que ampliem estudos sobre a inserção da tecnologia para uma pedagogia centrada em design.

Palavras-chave: Experiência material. Raciocínio visual. Heurísticas da materialidade. Fab Lab. Pronto 3D.

ABSTRACT

The increasing use of the digital environment and its applications in daily life affect our perception of the gradual and profound social and cultural transformations experienced by a society in which technology becomes a cornerstone in the forms of social interaction as well as in the processes of ideation, representation and manufacture of artifacts. The confluence between positivist and phenomenological paradigm in the studies on visual reasoning in design representation can be observed by the perspective of cognitive science where subjectivity is inserted into objective categories that define the cognitive actions of designers and architects during the study on the function of design in the process of design. The rare systematized information of field research that presents the relationship between the triad design, cognition and technology research has as main objective a study on the relation between material experience and the cognitive actions associated to the visual reasoning in design during the design process in PRONTO 3D digital manufacturing academic laboratories in the cities of Florianópolis, Chapecó and Criciúma in Santa Catarina, Brazil. The evidence presented in the research found that the computational modeling associated with the manufacture is directed at solving the problem and operates mainly with the restrictions perceived in the digital environment on the set as a conceptual action category, in which the subject recovers knowledge on the representation environment and evaluates the artifact before it is manufactured.. The case study on the Pronto 3D lab emphasized the importance of these environments for the dissemination of technology for personal production and the need to expand studies on material production and can become real centers for innovation research in a collaborative relationship subsidized by methods that help in the development of systems based on computational creativity and to expand studies on the insertion of technology into a pedagogy focused on design.

Keywords: Material experience. Visual reasoning. Materiality heuristics. Fab Lab. Pronto 3D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abordagens teóricas do design em ambiente digital.....	21
Figura 2 – Categorias de ação e suas descrições aplicadas ao desenho à mão livre.....	35
Figura 3 – Categoria física do raciocínio visual.....	39
Figura 4 – Categoria perceptual do raciocínio visual.....	40
Figura 5 – Categorias funcional e conceitual do raciocínio visual.....	41
Figura 6 – Quadro conceitual para avaliação de criatividade em design paramétrico...	41
Figura 7 – Visão integrada dos esquemas de codificação para explorar o raciocínio visual na representação em design.....	46
Figura 8 – <i>Banner</i> do evento “ <i>Roadshow e Workshop</i> ” sobre design e fabricação digital – UFSC/Brasil e ELISAVA/Espanha.....	59
Figura 9 – Participação no Projeto Tamar/SC, em setembro de 2018.....	62
Figura 10 – ProntoKids, oficina adaptativa de recursos lúdicos acessíveis (setembro e outubro de 2018) / Brinquedos de madeira (CNC) / <i>Workshop</i> aberto ao público / Marca Pronto 3D/UFSC.....	64
Figura 11 – Fachada e parte interna do Pronto 3D/UFSC.....	65
Figura 12 – <i>vacuum forming</i> , tecnologia formativa concebida e fabricada no próprio Pronto 3D/UFSC.....	66
Figura 13 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/UFSC (tecnologias aditivas e subtrativas).....	67
Figura 14 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/Unochapecó (tecnologias aditivas e subtrativas).....	68
Figura 15 – Stand para eventos da Unochapecó fabricado no Pronto 3D/Unochapecó...	69
Figura 16 – Protótipos e produtos fabricados por alunos dos cursos de design e arquitetura e do Escritório de design.....	70
Figura 17 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/SACT (tecnologias aditivas e subtrativas).....	70
Figura 18 – Métodos de produção automatizada para arquitetura e construção.....	85
Figura 19 – Revisita a um projeto já executado em modelagem paramétrica e fabricação digital.....	102

Figura 20 – Estudos preliminares em desenho à mão livre de estruturas arquitetônicas de projeto nunca executado em modelagem paramétrica e fabricação digital.....	102
Figura 21 – Resultado do pré-teste concluído (modelagem computacional e fabricação digital).....	104
Figura 22 – Resultado do pré-teste não concluído (modelagem computacional e fabricação digital).....	104
Figura 23 – Dimensões de análise em questionário aplicado.....	109
Figura 24 – Desenho experimental.....	111
Figura 25 – Síntese da metodologia aplicada à pesquisa.....	115
Figura 26 – Captura de tela com dados da pesquisa organizados e codificados para análise em Nvivo.....	117
Figura 27 – Área 6: nuvem de palavras com respostas obtidas em “eventos considerados importantes para formação no laboratório” (imagem gerada pelo software Nvivo).....	127
Figura 28 – Protótipo de artefato produzido pelo participante A.....	137
Figura 29 – O artefato como produto final produzido pelo participante B.....	138
Figura 30 – Protótipo de artefato produzido pelo participante D.....	139
Figura 31 – O artefato como produto final produzido pelo participante E.....	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudo bibliométrico das técnicas aplicadas ao processo criativo e tecnologias para fabricação digital pelo contexto Fab Lab.....	74
Tabela 2 – Protocolos do Desenho Experimental.....	110
Tabela 3 – Área 3: função e tempo de experiência em Fabricação Digital (FD).....	121
Tabela 4 – Área 4: formação continuada e percepção em ambiente rede Pronto 3D.....	123
Tabela 5 – Área 5: conhecimento sobre técnicas para o processo criativo e tecnologias para fabricação digital.....	125
Tabela 6 – Exemplo de segmentação e codificação das ações cognitivas.....	129
Tabela 7 – Frequência relativa entre as categorias da ação cognitiva identificada (%)...	132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Área 1: adequação ao TCLE em faixa etária (gráfico gerado pelo software Nvivo).....	120
Gráfico 2 – Área 2: adequação às áreas de estudo para pesquisa (gráfico gerado pelo software Nvivo).....	120
Gráfico 3 – Área 3: adequação à pesquisa na área de atuação no Pronto 3D (gráfico gerado pelo software Nvivo).....	121
Gráfico 4 – Área 4: local de primeiro contato com fabricação digital (gráfico gerado pelo software Nvivo).....	122
Gráfico 5 – Codificação dos segmentos a partir das categorias gerais do raciocínio visual.....	130
Gráfico 6 – Frequência absoluta aproximada de segmentos encontrados.....	134
Gráfico 7 – Frequência relativa das categorias de ação cognitiva por participante.....	135

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	A construção do problema de pesquisa.....	14
1.2	Justificativa e hipóteses.....	17
1.3	Objetivos.....	21
1.4	Metodologia da pesquisa científica.....	22
1.5	Estrutura da tese.....	23
2	RACIOCÍNIO VISUAL E AS HEURÍSTICAS DA MATERIALIDADE EM AMBIENTE DIGITAL.....	26
2.1	O percurso dos estudos sobre o raciocínio visual em design.....	30
2.2	Criar e produzir em design no século XXI.....	47
2.2.1	Laboratórios de Fabricação Digital PRONTO 3D, o estudo de caso.....	54
2.2.2	Técnicas para o processo criativo e tecnologias para a fabricação como ambiente digital para inovação social e pedagógica em design.....	71
2.2.3	Heurísticas da materialidade – Os caminhos dos artefatos em transição em ambiente digital.....	89
3	FLUXO DA EXPERIÊNCIA MATERIAL DO DESIGN DO DIGITAL AO MATERIAL.....	95
3.1	Metodologia da pesquisa.....	95
3.1.1	Pré-teste: definições para a condução da pesquisa.....	99
3.1.2	Experimento: considerações metodológicas e argumentos.....	107
3.1.2.1	<i>Participantes.....</i>	107
3.1.2.2	<i>Procedimentos para a coleta de dados.....</i>	108
3.2	Codificação dos dados no estudo da relação entre raciocínio visual e as heurísticas da materialidade em ambiente digital.....	117
3.2.1	Questionário.....	118
3.2.2	Análise de protocolo verbal retrospectivo/concorrente do desenho experimental e a materialização do artefato, resultados da fabricação digital...	128
4	CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS.....	146
	REFERÊNCIAS.....	151
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	164
	APÊNDICE B – PROTOCOLO OBSERVACIONAL DO DIÁRIO DE CAMPO.....	167
	APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	168

1 INTRODUÇÃO

Nesse capítulo estabelecemos os parâmetros essenciais para direcionamento da pesquisa: problema, justificativa, objetivos, metodologia científica adotada, bem como a estrutura geral do trabalho. Os delineamentos apresentados centram-se na perspectiva geral de pesquisas sobre a relação entre design, representação e processos de materialização em espaços voltados à fabricação digital de artefatos, o caminho da criação em design, da interface digital à interface tátil, proporcionado pelo uso de técnicas e tecnologias acessíveis em ambiente digital.

1.1 A construção do problema de pesquisa

É comum encontrarmos em trabalhos na área de design parte do discurso dedicado a explicitar sua definição. Sem dúvida a atividade de design é de ordem complexa, no entanto, nos parece que tomar a atitude de sempre explicitar o que é design serve para avançar em um campo de batalha tentando vencer um “inimigo” tendo como estratégia sua exaustão pela repetição de eventos. Em nosso ponto de vista, o caráter interdisciplinar do design que envolve o conhecimento em áreas como design e tecnologia para solução de problemas por meio do projeto devem progredir no sentido de conduzir pesquisas para a compreensão de o que o design significa quando atua sob e sobre determinado contexto.

Sem dúvida, a questão acima leva-nos a patamares de conhecimento bem abrangentes e o que se quer dizer aqui é que a essência do design não se perde da visão do projeto que envolve o estudo da natureza comunicativa entre todas as coisas que existem, entre elas, os artefatos¹, para que evoluam da análise, desenvolvimento e síntese dessa relação. Quando pensamos no que o design é no contexto situado entre métodos e processos criativos e tecnologia, admite-se o mutualismo obrigatório representado pelo quadro de configuração desses elementos na representação em design no ambiente digital cada vez mais necessário durante o processo do projeto enquanto interface entre a ideia e a sua materialidade em um cenário cada vez mais amplo e difuso da mediação para a proposição de objetos do cotidiano projetados com valores pertinentes à função/uso individual e coletivo e à visualidade atribuída a eles.

¹ Para Bunge (1985a apud CUPANI, 2004), um artefato é o elemento resultante de uma atividade consistente na produção de algo artificial.

Como contexto de ambiente de integração tecnológica ao projeto enquanto uma possibilidade de síntese para o design tratamos como elemento desse contexto dos laboratórios de fabricação digital, também conhecidos pelo acrônimo de Fab Lab do termo *fabrication laboratory* surgiram em 2001 a partir do *Center for Bits and Atoms* (CBA) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) *Media*. Pautado nas novas possibilidades de manufatura de artefatos, seu objetivo fundamentou-se em ser um componente educacional de sensibilização à fabricação digital e pessoal, democratizando a concepção das tecnologias e das técnicas de fabricação de artefatos e não somente o seu consumo (EYCHENNE & NEVES, 2013).

A dimensão “rede” pertinente a esses laboratórios, no que diz respeito aos processos de comunicação e ao seu funcionamento operacional e organizacional, deve se encontrar inscrita na sua essência que desenvolveu uma comunidade mundial alimentada pelas especificidades culturais, técnicas, econômicas e sociais, na qual a criação de um projeto colaborativo se dá em função de competências locais disponíveis, sendo que todos os interessados participam na realização de alguma tarefa.

Esta singularidade promovida pelos Fab Labs visa permitir e facilitar o compartilhamento do conhecimento e do saber, pois “uma vez prototipado o artefato e testados os processos, o projeto pode facilmente ser replicado pelos outros Fab Labs da rede” (EYCHENNE & NEVES, 2013, p. 12).

Eychenne & Neves (2013) apresentam três (3) categorias de implantação dos Fab Labs:

- Os Fab Labs Acadêmicos cujo objetivo é desenvolver uma cultura de aprendizagem através da prática, além de organizar um espaço transdisciplinar e aberto ao exterior. Estes Fab Labs são criados geralmente por universidades ou centros de ensino.
- Os Fab Labs Profissionais que dirigem, principalmente, seus serviços a um público de empresas, inovadores, *startups*, colocando à frente as possibilidades de prototipagem rápida, de conselho, locação de máquinas, de formação e de serviços personalizados acompanhados de uma abordagem de inovação.
- Os Fab Labs Públicos, abertos realmente a todos, em lugares totalmente acessíveis e cuja finalidade é dar acesso às máquinas digitais, às práticas e à cultura do movimento *maker* e da fabricação digital. Estes lugares são vistos como vetores de emancipação e

são geralmente apoiados por iniciativas pública ou privada, ou mesmo pelo mescla das duas.

Os estudos sobre design e cognição tem sido conduzidos na perspectiva em explorar essa relação em processos criativos contemporâneos de representação nas atividades do projeto de arquitetos, designers e engenheiros no intuito de entender os percursos cognitivos que utilizam para resolver problemas de projeto cada vez mais complexos com o auxílio da tecnologia (LAWSON, 2011; OXMAN, 1999, 2002; KOLAREVIC, 2001; SCHON & WINGGINS, 1992; GERO et al., 1994, 2000, 2014).

Devido à pouca informação sistematizada de pesquisas de campo que apresentem a relação entre a tríade design, cognição e tecnologia em laboratórios acadêmicos de fabricação digital a pesquisa se propõe a ser uma investigação teórico especulativa na qual atuarão, em conjunto, estudo de caso e projeto experimental.

A passagem do digital ao material, da interface visual para a interface tátil, é um ponto do processo importante a delinear quando pensamos nas atividades desenvolvidas em um laboratório de fabricação digital e que nos leva ao problema de pesquisa proposto. **Como o conhecimento sobre a experiência material do ambiente digital está associado ao raciocínio visual do designer durante o processo de concepção, representação e fabricação de um artefato?** Para chegarmos à questão principal apresentamos três questões auxiliares para a pesquisa: 1) Como o raciocínio visual sobre a matéria, a interface tátil, é estruturado durante a concepção do artefato? 2) De que forma o raciocínio visual considera os limites e as condições da materialidade durante a concepção do artefato? 3) O que une ou separa as tecnologias utilizadas em termos de experiência material?

Vivemos em um cenário em que alteramos e somos alterados pela maneira como nos comunicamos, nos relacionamos (com pessoas e objetos) e produzimos. As transformações advindas da popularização e crescente uso dos computadores e de suas aplicações afetam nossa própria consciência das mudanças dentro dessa sociedade eminentemente tecnológica em um processo realimentar contínuo.

Para estudar as ações cognitivas do designer na concepção e fabricação digital de artefatos durante a atividade de design advindas dessas transformações as pesquisas precisam estabelecer sua coerência discursiva com uso de conceitos e métodos focados em apreender a realidade objetiva desse fenômeno nesse caso, as técnicas computacionais associadas ao processo criativo e a fabricação pessoal em ambiente digital.

Para esse propósito, a pesquisa estabeleceu o foco no estudo da rede acadêmica de laboratórios de fabricação digital denominada Pronto 3D que atua no estado de Santa Catarina e possui laboratórios em instituições acadêmicas nos municípios de Florianópolis, Chapecó e Criciúma. Por questões orçamentárias, o laboratório da rede Pronto 3D em Lages não ingressou na pesquisa.

1.2 Justificativa e hipóteses

Os argumentos conceituais sobre o design em ambiente digital ensejam auxiliar na justificativa de realizar o entendimento necessário para discorrer sobre o tema e o problema propostos pela pesquisa delineada por importantes mudanças no papel das tecnologias digitais para concepção e fabricação de artefatos associadas à necessidade de uma reflexão sobre o ato de projetar proporcionado pelo surgimento, no início do XXI, dos laboratórios de fabricação digital.

Voltamos a destacar é que esses laboratórios são tema recente e ainda pouco explorado em pesquisas acadêmicas no Brasil. Guiados pelo princípio da transdisciplinaridade, compartilhamento e aprendizagem através de práticas inovadoras – redes colaborativas de conhecimento sobre fabricação digital – podem se constituir como potencial de inovação em design no desenvolvimento de uma ideia ou de um conceito por meio do qual um projeto, de produto ou serviço, pode ser delineado com o uso de modelos digitais.

Um outro aspecto considerado pela pesquisa são os poucos estudos sobre a abordagem do raciocínio visual no design com tecnologias CAD/CAM, privilegiando os estudos encontrados o desenho à mão livre. A crescente inserção da tecnologia nos processos do projeto precisa de suporte pedagógico que não se atenha somente à capacitação do designer para o mercado de trabalho na área tecnológica, mas que realize reflexões de como o designer desenvolve os conhecimentos e habilidades necessárias para a utilização da tecnologia no processo do projeto e essa seria uma contribuição às disciplinas que envolvem tecnologia e design e que carecem de suportes para uma reflexão sobre a aprendizagem do design em ambiente digital.

Examinar de que maneira as abordagens teóricas do raciocínio visual e o estudo do fenômeno da experiência material podem estar associadas a práticas e reflexões sobre as ações cognitivas exercidas por profissionais e estudantes de design e arquitetura que atuam nos

ambientes digitais de concepção e fabricação na rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D em Santa Catarina, no Brasil, e de que forma seus resultados podem ser direcionados à área e refletem uma demanda, tem como pontos principais:

- Ampliar a discussão sobre as tecnologias digitais para concepção, representação e fabricação direcionada ao ensino em design, como práticas e reflexões sobre o projeto em ambiente digital, enquanto objeto de estudo;
- Incentivar a inserção de laboratórios de fabricação digital em programas de extensão nos cursos de ensino superior em design, para que as IES possam atuar como um espaço de reflexão sobre o processo do projeto em um ambiente profissional real, além dos espaços didáticos, promovendo a cultura da experiência material;
- Auxiliar na preparação de profissionais para que estejam cada vez mais aptos a lidar com tecnologias cada vez mais presentes no processo do projeto.

A relevância desse estudo para a área de design apresenta-se no intuito de expandir os limites de reflexão sobre o uso de técnicas para o processo criativo e tecnologias para fabricação digital associada ao projeto ao se incorporar a busca pelos fatores dinâmicos inerentes à área, na proposta de soluções em um contexto contemporâneo caracterizado pelos avanços tecnológicos e na perspectiva de inovação tanto descendente quanto ascendente proposta pelo ambiente digital voltado ao projeto e as abordagens teóricas possíveis nesse contexto.

Acredita-se também que quando uma instituição é potencializada por espaços de inovação tecnológica nos quais se possibilita uma relação sólida entre teoria e prática amplia sua atuação ao:

- Concretizar a relação entre ensino, pesquisa e extensão através de um ambiente dinâmico;
- Identificar demandas;
- Promover pesquisa de base tecnológica de forma a retornar à sociedade as soluções capazes de gerar a satisfação comum.

Ao mesmo tempo, se há o estreitamento dos laços entre a pesquisa e a experimentação voltado ao projeto com a diversidade local focada em território pertinente a profissionais e empreendimentos criativos, centros da indústria criativa, poderemos vislumbrar a

potencialidade dos laboratórios digitais de fabricação dentro de núcleos de extensão e com capacidade em ampliar as pesquisas para a educação e empreendedorismo em design enquanto ambientes sinérgicos entre universidade e sociedade.

Apresenta-se como componente motivacional para a execução dessa proposta de projeto, dado a sua especificidade a participação como pesquisadora no projeto intitulado “Fabricação Digital como estratégia de inovação a profissionais e empreendimentos criativos no Estado do Ceará”, pesquisa com início em março de 2014 e finalização em 2015, com fomento do CNPq. Esse projeto visou realizar um mapeamento local e estabelecer estratégias de inserção do laboratório de fabricação digital implantado na Universidade Federal do Ceará. Uma das dificuldades encontradas foi a de em estabelecer a compreensão por parte de polo moveleiro contatado do papel estratégico da fabricação digital para a inovação nessa indústria, pois as empresas se identificavam como concorrentes e poucas cogitaram em trabalhar em conjunto.

Na verdade, em 2012 surgiram as inquietações ao executar a implantação do Laboratório de Prototipagem Rápida no Curso de Design de Produto da Universidade Federal do Cariri. Inquietações essas quanto à falta de uma concepção de projeto que desse alicerce à sua utilização para além da execução de protótipos, pensando a prototipagem rápida como estágio do processo cognitivo em design proporcionado pelos modelos digitais e também como forma de ampliar a reflexão quanto ao discurso sobre projeto e as resultantes dessa reflexão, que só poderiam vingar, dentro de uma visão pessoal, a partir de uma vocação interdisciplinar efetiva.

Ressaltamos também como caráter motivacional a importância em dar visibilidade a iniciativas como Pronto 3D, uma rede de laboratórios acadêmicos para fabricação digital, cuja existência possibilita o fortalecimento à área de desenvolvimento de produtos em uma perspectiva contemporânea.

Propomos como objeto de pesquisa o estudo do raciocínio visual através das ações cognitivas presentes durante a experiência material de designers, arquitetos e engenheiros que atuam em ambientes digitais para concepção, representação e fabricação a partir das variáveis utilizadas em pesquisas sobre o raciocínio visual (SUWA & TVERSKY, 1997; SUWA, GERO & PURCELL, 1998; LEE et al., 2015) na representação visual de artefatos associadas aos dados coletados e categorizados de experiência material a partir da produção de um artefato por indivíduos com experiência em processos de fabricação digital.

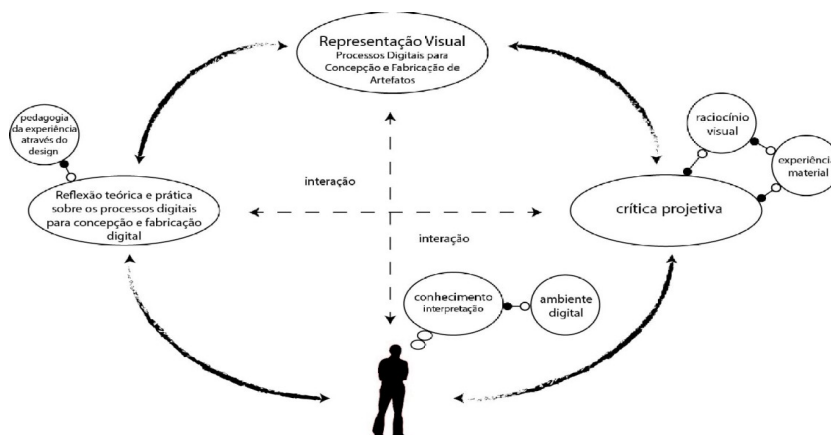
A abordagem do raciocínio visual utiliza a análise de protocolo verbal como técnica de estudo dos processos cognitivos em design (e.g. EASTMAN, 1970; SCHON & WIGGINS, 1992; SUWA & TVERSKY, 1997; SUWA, GERO & PURCELL, 1998). Na perspectiva dessas pesquisas considera-se o design uma forma de aprendizagem na qual habilidades e conhecimentos são adquiridos depois de aprender técnicas básicas e na qual muitas vezes designers e arquitetos não conseguem explicitar como e que tipo de experiência usam em seu processo de criação uma vez que esse tipo de conhecimento transita entre tácito e implícito.

A visão integralizadora do processo do projeto no contexto do ambiente digital é proposto no título da tese a partir da inversão dos termos presentes no título da obra de Bonsiepe (2015) “do material ao digital”. Ao vivenciarmos um outro tempo histórico de apreensão tecnológica acreditamos na necessidade em conhecer como se configuram os fenômenos associados ao design em imersão no ambiente digital quanto às abordagens teóricas, técnica de pesquisa e conceitos propostos como o raciocínio visual e o estudo fenomenológico da experiência material na interação do designer com os processos para concepção e fabricação de artefatos em ambiente digital.

As hipóteses explicativas para a relação entre raciocínio visual e a experiência material de designers e/ou arquitetos durante e após o processo de concepção e fabricação em laboratórios de fabricação digital são geradas ao articular perguntas da combinação entre estudo de caso e projeto experimental aplicado enquanto pesquisa exploratória de um ambiente com potencial primordial constitutivo de mediação tecnológica por meio da análise das experiências vividas dentro de um ambiente de produção e que pode ser um elemento importante no resgate de reflexões sobre o projeto advindas do ambiente tecnológico que, por sua vez, estabelece os limites dos processos dentro da atividade de design.

Ainda nessa perspectiva, a pesquisa pode subsidiar os argumentos necessários ao design para a inserção das técnicas para concepção de artefatos e tecnologias para fabricação digital de forma a promover uma reflexão sobre o ensino em disciplinas que envolvem as áreas de design e tecnologia, ampliar escopo de pesquisas de base tecnológica e criar um relacionamento sinérgico em seu próprio habitat e na comunidade de entorno através da pesquisa e extensão, respaldado por uma reflexão autônoma no contexto em que se encontra inserida com objetivo de promover a inovação através do design (Figura 1).

Figura 1 – Reflexões sobre abordagens ao design em ambiente digital.



Fonte: elaborado pela autora

1.3 Objetivos

Geral

Realizar um estudo sobre a relação entre experiência material e as ações cognitivas associadas ao raciocínio visual em design durante o processo de concepção, representação e fabricação de artefatos nos laboratórios de fabricação digital PRONTO 3D nas cidades de Florianópolis, Chapecó e Criciúma em Santa Catarina, Brasil.

Específicos

1. Identificar as matrizes teóricas que norteiam as pesquisas relacionadas aos eixos design – representação – tecnologia no âmbito do ambiente digital através de estudo bibliográfico;
2. Realizar um estudo de campo na rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D em Santa Catarina, Brasil, com o objetivo coletar dados das ações cognitivas e explorar a relação com a experiência material de indivíduos com reconhecida experiência nesses ambientes;

3. Descrever as experiências individuais dentro dos laboratórios de fabricação digital através de uma abordagem mista, usando estatística descritiva aplicada aos resultados da codificação das ações cognitivas dos sujeitos de pesquisa por meio da análise de protocolo sobre o raciocínio visual e de heurísticas da materialidade obtidas no estudo de campo;

4. Cumprir os objetivos anteriores através da abordagem da Teoria Fundamentada ao analisar os dados coletados em campo e estabelecer um diálogo entre esses dados com estudo bibliográfico propondo um desenho experimental capaz de compreender pela interação da subjetividade do fenômeno material com a objetividade proposta pela taxonomia do raciocínio visual as experiências de interação dos participantes da pesquisa influenciadas pelos ambientes digitais para a criação e fabricação de artefatos em meio digital.

1.4 Metodologia da pesquisa científica

Devido à pouca informação sistematizada de pesquisas de campo que apresentem a relação entre design, cognição e percepção em laboratórios acadêmicos de fabricação digital e por existirem poucos centros com essa especificidade no Brasil a pesquisa se propõe a ser uma investigação teórico especulativa cujo objetivo está em articular perguntas da combinação entre estudo de caso e projeto experimental a fim de gerar hipóteses explicativas para a relação entre as ações cognitivas e a percepção de designers e/ou arquitetos dentro do processo do projeto em laboratórios de fabricação digital.

Identificamo-lo também como um estudo de base exploratória uma vez que a revisão da literatura apresentou ideias vagamente relacionadas à conjunção de técnicas e de tecnologias de fabricação digital no contexto do conhecimento cognitivo e perceptivo na relação entre criar e produzir artefatos em ambiente digital. O propósito está em estudar o ambiente lançando uma nova perspectiva na busca em identificar conceitos ou variáveis presentes no processo de concepção e fabricação de artefatos que envolvem o uso do contexto digital.

Os estudos exploratórios têm como pano de fundo determinar tendências, identificar áreas, ambientes, contextos e situações de estudo, bem como relações potenciais entre variáveis. No entanto, este não é o único alcance da pesquisa gerada, pois também visa apresentar um estudo correlacional e explicativo uma vez que pretende conhecer a relação entre o raciocínio visual e a experiência material procurando compreender as condições em

que se manifestam durante os processos de concepção e a fabricação de artefatos em ambiente digital (SAMPIERI, RH; COLLADO, C.F; LUCIO, M.P.B., 2013).

Enquanto estudo de caso, opera em um sistema delimitado pelo tempo e lugar (STAKE, 2005 apud CRESWELL, 2014), no caso, a rede PRONTO 3D, um grupo de laboratórios acadêmicos de fabricação digital que na pesquisa envolveu duas instituições privadas e uma pública do estado de Santa Catarina por meio de múltiplas fontes de informação (observação, entrevista, material audiovisual e questionário) em um estudo intralocal a fim de compreender em profundidade a totalidade do caso quanto às variáveis cognitivas e de experiência material (independente) nos temas estudados na pesquisa que são as técnicas para concepção e as tecnologias de fabricação em ambiente digital voltado ao ensino superior nas áreas de design e arquitetura no Brasil.

A proposta em associar ao estudo de caso um projeto experimental aplicado a um grupo intacto² que compartilha de experiências associadas a um laboratório de fabricação digital foi uma definição importante para coletar os dados necessários para análise das variáveis associadas ao raciocínio visual e ao processo de fabricação digital dos artefatos gerados pelos indivíduos de cada conjunto pertencente a um laboratório da rede PRONTO 3D em Santa Catarina, Brasil. O experimento proposto e descrito foi elaborado de forma a ver, da melhor maneira possível, como as variáveis ocorrem em uma situação identificada e definida com o objetivo de minimizar o que alguns autores identificam como “artificialidade” presente em experimentos de laboratório (MERTENS, 2005 apud SAMPIERE et al., 2013), buscando uma aproximação da pesquisadora em relação ao grupo estudado e contextualizando o comportamento dos voluntários da pesquisa a fim de simplificar a interpretação dos fenômenos estudados.

1.5 Estrutura da tese

No Capítulo 2 apresentamos o estado da arte dos poucos estudos encontrados sobre representação no desenho à mão livre e design paramétrico (ambiente digital) a partir de pesquisas sobre o raciocínio visual na atividade de design propondo uma visão integrada

² Grupo formado antes do experimento, ou seja, “a razão pela qual surgem e a maneira como foram formados é independente ou separada do experimento” (SAMPIERI, RH; COLLADO, C.F; LUCIO, M.P.B., 2013, p. 167).

desses estudos aplicados à pesquisa como método ampliado aos processos de concepção, representação e fabricação em ambiente digital.

Em seguida, procuramos estabelecer um marco teórico para o contexto do ambiente digital sobre o que significa criar e produzir em design no século XXI pelo fenômeno Fab Lab e os seus desdobramentos que impulsionaram o surgimento de laboratórios acadêmicos de fabricação digital descrevendo como estudo de caso a experiência dos laboratórios acadêmicos Pronto 3D em Santa Catarina, Brasil.

Complementamos esse capítulo com um estudo bibliométrico atualizado sobre as técnicas para o processo criativo e as tecnologias para fabricação digital que configuram o ambiente digital centrado em design e como síntese desse caminho percorrido em constante diálogo com os dados coletados durante a pesquisa apresentamos o conceito de heurísticas da materialidade e suas bases de fundamento.

No capítulo 3 apresentamos os métodos científicos aplicados à pesquisa, as possibilidades, dificuldades e controvérsias que os envolvem e a definição para um desenho experimental voltado ao estudo exploratório em profundidade sobre tema ainda pouco explorado em design envolvendo a materialização de artefatos em ambientes para a fabricação digital, o que denominamos de fluxo da experiência material.

O desenho experimental pôde ser formalizado a partir de pré-teste executado com o intuito de estabelecer as condições necessárias para a adequada coleta e análise de dados para o estudo das ações cognitivas sobre o raciocínio visual nos processos para concepção, representação e fabricação em ambiente digital durante atividade de design na rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D/SC.

Como conclusão apresentamos que o mapeamento das ações cognitivas realizadas pelos participantes da pesquisa no ambiente digital proposto pelo desenho experimental aplicado ao processo de concepção, representação e fabricação de artefatos forneceram pistas à atividade de design no contexto da experiência material em que o termo materialidade se apresenta como a qualidade da ideia enquanto potencialidade material, sendo determinado por características estéticas e/ou funcionais associadas aos artefatos e principalmente vinculadas às subcategorias das ações cognitivas nas categorias funcional e conceitual do raciocínio visual.

Pelas evidências apresentadas na pesquisa verificamos que a modelagem computacional associada à fabricação é orientada à solução do problema e atua,

principalmente, com as restrições percebidas em ambiente digital na categoria de ação definida como conceitual, na qual o sujeito recupera conhecimentos sobre a representação nesse ambiente e avalia o artefato antes de ser fabricado.

Essa foi a estrutura delineada pelo problema de pesquisa apresentado, pelos objetivos para alcançar respostas sintonizadas com os fenômenos observados, pela metodologia científica considerada adequada à consecução desses objetivos, e com breve síntese dos capítulos que compõem a pesquisa.

A seguir apresentamos o percurso traçado pelo raciocínio visual como parte de uma estratégia para o estudo objetivo do fenômeno da experiência material, associado a referências atualizadas capazes de auxiliar a compreensão da relação entre o mundo material possibilitado por laboratórios acadêmicos de fabricação digital durante o processo de concepção e fabricação de artefatos nesses ambientes.

2 RACIOCÍNIO VISUAL E AS HEURÍSTICAS DA MATERIALIDADE EM AMBIENTE DIGITAL

Nesse capítulo apresentaremos os percursos sobre o raciocínio visual nos estudos sobre representação em design, tanto no desenho à mão livre quanto em modelagem computacional como base de análise das ações cognitivas do designer durante o processo do projeto. Os limites desses estudos sobre as ações cognitivas foram ampliados para o ambiente de fabricação digital representado pelos laboratórios acadêmicos PRONTO 3D, aqui apresentados enquanto estudo de caso e as abordagens que os definem em um escopo geral sobre criar e produzir em design no século XXI enquanto a conjugação de técnicas e tecnologias associadas respectivamente ao processo criativo e a produção material de artefatos em ambiente digital.

Como resultado dessas reflexões teóricas e práticas suportadas pelo experimento realizado nesses laboratórios apresentamos as heurísticas da materialidade, um conceito que se apoia em duas abordagens: pela experiência material, através de estudos fenomenológicos que, normalmente, usam a narrativa descritiva como método para apresentar resultados sobre experiências vividas por indivíduos ou comunidades através da observação de um processo, e pela abordagem cognitiva usada para explorar atividades criativas no processo de design nos estudos de Suwa, Gero e Purcell (1998) sobre o raciocínio visual no desenho à mão livre e em modelagem computacional com Lee et al. (2015).

O uso crescente do ambiente digital e de suas aplicações no cotidiano afetam nossa percepção das graduais e profundas transformações sociais e culturais vividas por uma sociedade na qual a tecnologia torna-se pedra angular nas formas de interação social bem como nos processos de ideação, representação e fabricação de artefatos onde as pesquisas em design tentam estabelecer sua coerência discursiva com uso de conceitos e métodos focados em apreender a realidade objetiva dos fenômenos que as cercam.

Durante a fase de apropriação do projeto de pesquisa e seu escopo de definição teórica e prática, o caminho traçado do tema proposto está focado em laboratórios de fabricação digital em ambientes acadêmicos cujas características serão apresentadas. Os crescentes estudos acadêmicos sobre o acesso e expansão das tecnologias de fabricação digital e suas consequências sobre os processos de concepção, produção e distribuição de artefatos gerados nos espaços de criação e produção digital tem conduzido a contextos que vão além da

reconfiguração da relação de produção e consumo. O cenário é formado por uma trama complexa dos elementos que visam contribuir para a organização da vida cotidiana, que caracterizam nosso ambiente de convivência e dos mecanismos sociais e educacionais desenvolvidos para a resolução dos problemas da vida coletiva através da produção material.

A disponibilidade de informações através da Internet, um maior acesso às ferramentas de alta qualidade e um desejo humano de estar envolvido na produção de artefatos de forma mais tangível, justifica o recente aumento do contexto denominado ‘*maker*’. Segundo Van Holm (2015), “essa definição é em si extremamente vaga, em parte, porque o movimento criador é simultaneamente heterogêneo, incipiente e ubíquo” (VAN HOLM, 2015, p.1). Ainda de acordo com Holm (2015), ‘*maker*’ é o nome recentemente inventado para indivíduos ou grupos que produzem objetos como parte de uma cultura *Do-It-Yourself* (Faça você mesmo - DIY), que emergiu entre os anos 50 e 60 e seus objetivos, por sua vez, só são alcançados em virtude de serem comunidades abertas, que compartilham não somente a ideia de uma ação a ser tomada baseada em “aprender fazendo”, mas também o incentivo por um desejo humano de estar envolvido na produção que é mais tangível.

As habilidades e competências necessárias na área tecnológica são adquiridas por esses grupos por características como a abertura e difusão desses conhecimentos em espaços conhecidos como *makerspaces*, *hackerspaces* e *Fab Labs*, dentro das quais compartilham ferramentas e equipamentos, como impressoras 3D, em uma variedade de topologias que dificultam a distinção entre eles, uma vez que nesses espaços há em comum a produção de bens físicos.

Portanto, são espaços constituídos tanto por aspectos “tangíveis” – como os artefatos – quanto por aspectos “intangíveis” – como valores, crenças e ideias que emergem quando se tornam foco de estudos mais aprofundados.

Na perspectiva dessas transformações de produção material no contexto acadêmico, mais precisamente vinculado às áreas de projeto, que Sass & Oxman (2006) apresentam o termo “design digital” no qual o processo do projeto não se encerra no modelo virtual e é frequentemente associado com a representação e manipulação da forma e espaço complexos que implica em uma forma autossuficiente de projetar em ambiente computacional (SASS & OXMAN, 2006) e que possibilita o raciocínio sobre o projeto.

Oxman (2006) enfatiza a interação do designer com a representação do problema e caracterizam o design como um “processo de recepção (percepção), reflexão (interpretação) e

reação (transformação)” (OXMAN, 2006, p.240) e estabelece como ponto central a interação humana no processo de modelagem formal. Isso implica que o controle dos processos digitais, em sua complexidade, é baseado na interação e reflexão com o designer (OXMAN, 1991, 2000).

Assim, uma estrutura conceitual para a formulação de uma abordagem teórica para o design digital foi proposta com o objetivo de definir as características e propriedades do projeto em novas formas de processos de concepção, representação e fabricação em meio digital (OXMAN, 2006).

Os processos de fabricação no design digital, segundo Sass & Oxman (2006), tem um papel preponderante para avaliação no estudo do conceito do projeto dentro desse ambiente. Para os autores, enquanto forma de concepção, a fabricação cumpre o seu papel através da “aprendizagem baseada em atividade” (LESGOLD & NAHEMOW, 2001 apud SASS & OXMAN, 2006).

Tais conceitos emergem da ligação entre o raciocínio visual e processos de concepção e torna-se “a pedra fundamental do estudo cognitivo contemporâneo de design”, segundo Oxman (1999, p.107). Essa ligação surge do argumento de Schön (1983;1987) sobre o profissional reflexivo, ou seja, do designer que “conversa” com o desenho em uma “reflexão na ação” e defende que na ação as representações não são construções aleatórias, elas revelam um processo de pensamento sobre o projeto no qual os designers “conhecem mais do que podem dizer” (SCHON, 1992).

Pautado na teoria construcionista e a partir das deficiências percebidas na metodologia de design convencional à época em que o design era visto como um processo racional de resolução de problemas, introduzido por Simon no início dos anos 70, Schön (1983;1987) descreve o design como uma atividade que envolve práticas reflexivas. O ponto de partida de Schön (1983;1987) é o seu sentimento de que o paradigma da racionalidade técnica dificulta a formação de profissionais à medida que o conhecimento de design é definido em termos de generalidades sobre processos e conhecimento declarativo necessário para resolver problemas de design e nenhuma atenção é dada à estrutura dos problemas de projeto e ao problema crucial de vincular processo e problema em uma situação concreta (DORST, 2003).

O positivismo e a fenomenologia diferem bastante no modo como o sujeito (a pessoa que age) e o objeto (o mundo externo) estão relacionados. Esses diferentes paradigmas propostos por Simon e Schön veem os problemas de design enraizados em suas

epistemologias, onde “o paradigma racional de resolução de problemas baseia-se na epistemologia positivista e o paradigma da ação reflexiva é de natureza fenomenológica” (DORST, 2003, p. 139).

Para o positivismo, uma pessoa vive em um mundo objetivo que pode ser conhecido através de seus sentidos em que os dados sensoriais são então estruturados por um sistema de processamento interno, e esse aspecto pode ser observado no desenvolvimento do conjunto de categorias de informação proposto pelo estudo sobre o raciocínio visual (SUWA, GERO E PURCELL, 1998) que apoia a proposição de que as informações de entrada em processos cognitivos humanos é processado primeiro sensorialmente, em seguida, perceptualmente e depois semanticamente.

Em pesquisa sobre o raciocínio visual em desenhos à mão livre (ou esboços) com designers e arquitetos, Suwa e Tversky (1997) apresentam como questão geral – Por que os esboços são um bom meio para uma conversa reflexiva com as próprias ideias e imagens? - claramente partindo do argumento de Schön (1983;1987) de uma reflexão na ação, de natureza fenomenológica em que o sujeito é influenciado e formado pelo que percebe, sendo, portanto, um ser social dinâmico e emotivo, com uma história e um ambiente que influenciam fortemente a construção da sua realidade. Sujeito e objeto estão inextricavelmente conectados (MERLEAU – PONTY, 2015).

Essa confluência entre paradigma positivista e fenomenológico nos estudos sobre raciocínio visual na representação em design pode ser observada no método adotado na coleta de dados de pesquisa, a análise de protocolo verbal de relatos retrospectivos de pensamentos de design dos sujeitos envolvidos na tarefa proposta pelos pesquisadores e o tratamento de dados na perspectiva da ciência cognitiva onde subjetividade é inserida em categorias objetivas que definem as ações cognitivas de designers e arquitetos durante o estudo sobre a função do esboço no processo de design.

Não foi o objetivo da pesquisa confrontar as bases epistemológicas dos estudos sobre o raciocínio visual na representação em design, no entanto, não podemos deixar de mencionar essa condição que emerge da pesquisa e que carece de futuro aprofundamento. Sem nos determos nesse aspecto, lançamos mão da estratégia como caminho para o estudo objetivo do fenômeno da experiência material. Para isso propomos o estudo sobre o raciocínio visual no ambiente digital, enquanto interface visual e tátil, para o estudo da representação em design, utilizando essa mesma confluência a partir de referências atualizadas capazes de auxiliar a

compreensão da relação entre o mundo material possibilitado por laboratórios acadêmicos de fabricação digital e as ações cognitivas pelo viés do raciocínio visual durante o processo de concepção e fabricação de artefatos no ambiente eminentemente digital.

É nesse contexto de interação dinâmica entre design e tecnologia que Oxman (2010) afirma que o “design digital traz uma nova ontologia de design além da interpretação visual da forma” e que essa interpretação de como o designer pensa por meio de estágios iterativos de descoberta visual é a antítese do modelo digital. No design digital é a sequência metodológica de procedimentos que sustenta a preferência por estados transformacionais relacionados ao material, depois ao procedimento gerativo (da forma) e à performance³ no lugar de representações sucessivas em um contexto estático de projeto, como nos estudos sobre o desenho à mão livre.

O estudo sobre a criatividade na representação no desenho à mão livre e no ambiente computacional tem formado a base da investigação sobre o raciocínio visual que tem como objetivo codificar as ações cognitivas presentes no processo de concepção em design (SUWA & TVERSKY, 1997). Em alguns casos, os resultados desses estudos têm sido aplicados em modelos matemáticos em ambiente de simulação a partir da codificação dessas ações (SARKAR, DONG & GERO, 2010; HYBS & GERO, 1992).

Pelo ponto de vista de Oxman (2001), verifica-se que, as propriedades cognitivas do design (e em particular do aprendizado em design) possuem um grande espaço a ser preenchido em sua descrição científica. Tal lacuna é percebida em pesquisas na área com uma forte contribuição no eixo da Teoria do Design em Cross (2001) e Dorst (1997), ao ser investigada a compreensão a respeito das possibilidades que a representação, na sua modalidade lógica e representacional por resultado digital ou manual, possui na tarefa intelectual da realização do design.

2.1 O percurso dos estudos sobre o raciocínio visual em design

Os estudos cognitivos sobre o raciocínio visual a partir da década de 90 são incorporados às pesquisas como uma maneira de explorar as ações e comportamentos do

3 Modelos baseados em Performance: Forças externas podem ser consideradas como forças ambientais, incluindo cargas estruturais, acústica, transporte, local, programa, etc. A própria informação também é considerada como uma “força” externa que pode alterar o projeto. Em um determinado contexto são fundamentais para a criação de formas no design digital.

designer durante o processo do desenho à mão livre ou esboço (PURCELL e GERO, 1998; SUWA et al., 1998; OXMAN, 1997; JONSON, 2005).

Suwa e Tversky (1997) apresentam como premissa em pesquisas iniciais sobre o raciocínio visual que a facilitação pela representação externa deriva não apenas de sua existência, mas a partir da interação entre a representação e os processos cognitivos de sua interpretação. As afirmações sobre o pensamento visual como um modo racional de raciocínio são sugeridas por Goldschmidt (1991) e por Schön e Wiggins (1992) ao definirem os esboços dos arquitetos como uma ferramenta para esse tipo de interação nos quais veem relações e características imprevistas que sugerem maneiras de refinar e revisar ideias através do ciclo – esboçar, inspecionar, revisar – atuando como uma conversa consigo mesmo no que seria definido em Schön (1983) como uma reflexão na ação.

A crítica de Suwa e Tversky (1997) quanto aos estudos realizados sobre o esboço durante o ato de projetar é que tenha sido deixado de lado o paradigma dominante do raciocínio linguístico e lógico em um momento em que o crescente entusiasmo pelo raciocínio diagramático na ciência cognitiva fez com que grupos de pesquisadores afirmassem que a informação visual é válida para o raciocínio e que o raciocínio visual tem sua própria lógica, assim como o raciocínio sentencial convencional (SUWA e TVERSKY, 1997).

Por esse prisma, o fundamento teórico dessa afirmação reside no termo “raciocínio diagramático” cunhado por Charles S. Peirce quando destacou o papel dos diagramas no raciocínio, principalmente no pensamento matemático, no desenvolvimento de seus diagramas lógicos – *grafos existenciais*⁴ – como um caminho de “colocar em prática seus argumentos a favor de uma forma eminentemente visual de raciocínio” (QUEIROZ e FARIAS, 2017). O conceito de diagrama é central em sua filosofia e, de acordo com ela, um diagrama é apenas um signo que deve ser investigado segundo alguns direcionamentos: De que maneira ele se relaciona com seu objeto? Quais são suas influências nas mentes? Quando e por que usamos diagramas? e assim por diante.

Para Stjernfelt (2007) o diagrama, no ponto de vista da semiótica de Charles S. Peirce, é o segundo de três tipos de iconicidade, sendo que os outros dois são a imagem – que remete a uma semelhança sensorial para com seu objeto e tem qualidades imediatas, aparentes ou superficiais em comum com ele – e metáfora – que representa o objeto através de um paralelismo com alguma outra coisa a partir de hábitos de interpretação ou de leis gerais.

4 Para um entendimento de *grafos existenciais* (GE) proposto por Charles S. Peirce consultar na referência Sowa (2001).

Nesse contexto, o raciocínio diagramático pode ser comumente entendido ou apresentado como forma de sistematização, de administração de outras relações, como em um esquema ou como vetor de criação, que desdobra relações e aponta para o que ainda não é conhecido.

A partir desse quadro referencial Suwa e Tversky (1997) apresentam como questão geral – Por que os esboços são um bom meio para uma conversa reflexiva com as próprias ideias e imagens? - e subdivide-a em questões mais específicas de acordo com as abordagens de estudos sobre a representação em design. A primeira é a questão de quais aspectos ou características dos próprios esboços, como representações externas, permitem uma conversação reflexiva, e foi abordado por Goel (1995 apud SUWA e TVERSKY, 1997) que descobriu como esboços no início do processo de design são “densos” e “ambíguos” que, para Goodman (1968 apud SUWA e TVERSKY, 1997), funcionam bem para explorar ideias de design.

A segunda é a questão de quais tipos de interação os projetistas (arquitetos e designers) têm com seus próprios esboços que, por sua vez, foi dividida em três problemas distintos: o primeiro - “como eles veem esboços?” - foi trabalhado por Goldschmidt (1991 apud SUWA e TVERSKY, 1997) que observou que existem duas maneiras de inspecionar esboços, ou seja, “**ver como**” e “**ver o que**”⁵, e que o primeiro é um meio especialmente poderoso para o que a autora chama de **imagem interativa**⁶.

O terceiro problema - “como e o que eles desenharam?” - faz referência ao trabalho de Van Sommers (1984 apud SUWA e TVERSKY, 1997) que examinou a produção gráfica de uma perspectiva desenvolvimental e cognitiva. O artigo de Suwa e Tversky (1997) aborda o segundo problema - “o que os arquitetos veem?” - focando com mais precisão nos conteúdos das categorias de informação que os arquitetos “veem” em seus próprios esboços. O objetivo da pesquisa foi analisar como esses diferentes tipos de informação se misturam em seus pensamentos de design e revelar como os profissionais da área diferem de alunos de arquitetura.

Levaram o estudo desses fenômenos para laboratório usando como método a análise de protocolo de relatos retrospectivos de pensamentos de design dos sujeitos envolvidos na tarefa proposta pelos pesquisadores em detrimento ao uso vigente do pensamento paralelo em voz alta (*Think Aloud*) para a análise dos processos cognitivos dos sujeitos de pesquisa, isso

5 Tradução nossa para “seeing as” e “seeing that”.

6 Retomamos esse conceito na inserção das tecnologias para o processo de representar em design no ambiente digital.

porque, para Suwa e Tversky (1997), falar em voz alta poderia interferir negativamente nas percepções dos participantes durante as atividades de esboço.

Um dos principais objetivos da pesquisa foi o desenvolvimento de um conjunto de categorias de informação nas quais o conteúdo dos protocolos dos participantes pôde ser ajustado. As definições de *links* (ligações) e trechos de dependência renderam uma análise de protocolos que permitiu concluir que o processo de design consiste em ciclos menores de mudança de foco e pensamentos contínuos sobre tópicos relacionados. Nessa descoberta, de que os arquitetos experientes tinham mais trechos de dependência do que os estudantes de arquitetura, indicou que, uma vez que os arquitetos mudavam seu foco de atenção, eles pensavam mais profundamente sobre o assunto.

Outra contribuição desse tipo de pesquisa foi a investigação das categorias de informação que são dominantes ou segmentos característicos de mudança de foco e segmentos contínuos durante o esboço. Descobriram, através de relações estatísticas entre os segmentos que, como os arquitetos são mais capazes de pensar em formas / ângulos e tamanhos, que são atributos inerentemente visuais de representações, logo depois que mudam o foco para um novo item, espaço ou tópico, suas mudanças de foco foram mais produtivas.

Outro objetivo foi explorar as implicações de maneiras pelas quais as futuras ferramentas de design, especialmente ferramentas de esboço, auxiliam designers / arquitetos. Muitos pesquisadores afirmavam que as ferramentas computacionais disponíveis nessa década não suportavam processos de desenho à mão livre nas fases iniciais do projeto. Isso ocorria porque as ferramentas computacionais eram destinadas a visualizar, comparar, testar e implementar as ideias de design que já haviam sido obtidas em processos anteriores, não para suportar os próprios processos nos quais as ideias de design ocorrem. O desenvolvimento de ferramentas computacionais associadas ao processo criativo por meio de algoritmos, utilizando como princípio a emergência das formas modifica esse cenário e assim veremos mais adiante nesse trabalho ao falarmos sobre técnicas e tecnologias em ambiente digital voltado ao processo criativo em design, as quais permitem que o esboço computacional seja “natural”, livre de restrições não naturais que as ferramentas convencionais para a representação impunham.

Em síntese, Suwa & Tversky (1997) sugerem que a percepção de atributos visuais no desenho à mão livre como, por exemplo, tamanhos, formas e ângulos, desempenham um papel importante na exploração de pensamentos funcionais intrinsecamente não-visuais, um

objetivo importante em um processo de design. Para os autores os desenhos servem como um “interface perceptual” através do qual se pode descobrir relações funcionais não-visuais subjacentes às características visuais, enriquecendo a percepção (SUWA e TVERSKY,1997, p.402).

O esquema de Suwa & Tversky (1997) foi uma das primeiras tentativas de conceber uma taxonomia geral para o conteúdo dos processos cognitivos de designers e arquitetos. As principais categorias na classificação do conteúdo utilizando a técnica de análise de protocolo são as informações visuais e as informações não-visuais. As informações visuais foram baseadas no “o que” versus “onde” como distinção entre cognição visual e espacial. As informações não-visuais foram classificadas em “pensamentos funcionais” e “conhecimento”. O significado dessa classificação é que isso poderia tornar-se a base para examinar as dependências inerentes entre pedaços de informação pertencentes a diferentes categorias (Figura 2).

O raciocínio visual dessa forma é visto como resultado de uma proposta de estudos sobre a visão de mundo (externo e interno) a partir de experiências do designer e dentro do qual ele(a) julga e toma decisões em seu processo criativo. De acordo com Tversky (2005), os processos visuais envolvem informação armazenada, ou seja, atuam na capacidade de generalizar o evento perceptual, a fim de mapeá-lo para uma estrutura de conhecimento já armazenado na memória.

Em continuidade às pesquisas utilizamos a análise de protocolo verbal concorrente e, eventualmente, retrospectivo sobre o raciocínio visual em design executado por Suwa, Gero & Purcell (1998) e, para cada segmento (categorias de informação), foram codificadas as ações cognitivas de designers, arquitetos e engenheiros em quatro categorias: física, perceptiva, funcional e conceitual que correspondem aos níveis em que a informação de entrada é considerada para ser processada na cognição humana.

Figura 2 – Categorias das ações cognitivas e suas descrições aplicadas ao desenho à mão livre



Fonte: da autora, adaptado de Suwa, Gero e Purcell (1998).

De acordo com as pesquisas apresentadas, a ciência cognitiva apoia a proposição de que as informações de entrada em processos cognitivos humanos é processado primeiro sensorialmente, em seguida, perceptualmente e depois semanticamente. Ações físicas correspondem ao nível sensorial, as ações perceptivas para perceptiva, e ao mesmo tempo funcional e conceitual para o nível semântico (SUWA, GERO & PURCELL, 1998).

Os níveis de processamento de informação tem uma dependência inerente uns sobre os outros. Uma ação de design codificado para um nível superior deve ser inerentemente dependente de outras ações codificados em níveis mais baixos. De acordo com esta noção, quando codificadas as ações dos designers nas quatro categorias, temos ao mesmo tempo as relações entre essas ações, isto é, que as ações são dependentes, ou sugeridas por, ou desencadeadas por outras as ações. Podemos dizer que essas afirmações apresentam paralelo com a abordagem modular defendida inicialmente por Noam Chomsky, em sua teoria transformacional (ou gerativa ou generativa), em 1957, na qual desenvolve sua concepção inatista da linguagem e posteriormente aprimorada por Jerry Fodor em sua teoria da modularidade da mente, em 1983 (CANDIOTTO, 2008).

Jerry Fodor rejeita as explicações que entendem a percepção geral, a memória e o julgamento como “processos horizontais” ou “em série” e afirma que os processos mentais são mais bem pensados como módulos independentes ou “encapsulados”, funcionando cada um com regras próprias e processos próprios em “módulos verticais”, como a linguagem e a análise visual, cada um com seu modo de operação característico. Por sua vez estes módulos estão ligados a um “processador central” que tem acesso às informações de todos os outros módulos e que opera de forma “flexível” para tomar decisões e resolver problemas por meio dos vários *inputs* que recebe, permitindo que se construam hipóteses (crenças) de como o mundo é (CANDIOTTO, 2008).

A contribuição que Suwa, Gero & Purcell (1998) deram ao esquema inicial de categorias das ações cognitivas durante o processo do desenho à mão livre proposto por Suwa e Tversky (1997) tomou por base o conceito sobre os níveis de processamento de informação na cognição humana como uma referência na obtenção da maior categorização desse esquema. Através da repetição do processo a fim de definir um conjunto de categorias orientadas por teorias e, em seguida, testá-lo nos exemplos, finalizaram essa revisão culminando no esquema de codificação na forma atual (SUWA, GERO E PURCELL, 1998) que ora apresentamos.

Como em métodos anteriores de análise de protocolo fizeram, Suwa, Gero & Purcell (1998) segmentaram protocolos verbais inteiros em pequenas unidades. Uma forma de segmentação é dividir protocolos baseados em eventos de verbalização (como pausas, entonações), bem como marcadores sintáticos para frases completas e sentenças, no qual, pausas ou marcadores sintáticos sinalizam o início de um novo segmento. Outra maneira é dividir os protocolos com base na **intenção do sujeito**.

Uma mudança na intenção do sujeito ou o conteúdo de seus pensamentos ou ações sinaliza o início de um novo segmento. Consequentemente, um único segmento, por vezes, consiste em uma sentença e, às vezes, em muitas. Essa última abordagem foi utilizada por Suwa, Purcell & Gero (1998) partindo da pesquisa de Goldschmidt (1991 apud SUWA, GERO & PURCELL, 1998) que definiu um segmento, no que ela chama de “movimento de design”, como “um ato de raciocínio que apresenta uma proposta coerente referente a uma entidade que está sendo projetada”. A segmentação dos conteúdos coletados em registros audiovisuais para a realização dessa pesquisa adota essa abordagem devido à sua adequação

ao estudo sobre a relação entre teorias de experiência material e o raciocínio visual em ambiente digital.

Por sua vez, identificaram que uma ação de design em qualquer dessas categorias podem ocorrer em um segmento pela primeira vez, no início da atividade de design ou pode ser um segmento revisitado de um segmento anterior. Por essa razão, codificaram para cada ação de design em um segmento, essa informação, chamada de “índice”. Existem três índices; “novo”, “contínuo” e “revisitado”. Uma representação específica, que atende a um recurso específico, pensada em uma função específica, configura um objetivo específico ou recupera uma parte específica do conhecimento pela primeira vez desde que iniciou a atividade de design, essa ação é codificada como “nova”. Se continua do segmento imediatamente anterior, então a ação é codificada como “contínua” ou se, por sua vez, volta a uma ação feita, mas não contínua, é codificada como “revisitada”.

Por exemplo, na categoria física as ações cognitivas têm relação direta para as representações físicas durante o processo do esboço categorizadas as ações de desenhar, olhar ou mover essas representações. Se um designer faz uma nova representação, a ação D correspondente é “nova” (índice “n”, ver a Figura 3). Se o designer traçar as linhas de um elemento previamente desenhado em um mesmo local, a ação D correspondente é “contínua” ou “revisitada”, dependendo se a representação original foi feita no segmento imediatamente anterior ou em um segmento anterior. Se notar pela primeira vez uma relação espacial entre dois elementos que foram descritos antes, sua atenção para a relação é “nova”, enquanto a inspeção dos dois elementos é “revisitada”. Se o designer trabalhou em uma representação por várias vezes, e acaba de descrever uma certa forma para ele, a representação é uma ação D “nova” e sua atenção para a nova forma é um “nova” P-ação, pertencendo portanto à categoria perceptual (SUWA, GERO & PURCELL, 1998).

Na categoria perceptual (Figura 4) as ações de atenção a características visuais/espaciais dos elementos na representação vão apresentar os mesmos índices (“nova”, “contínua” e “revisitada”) que as demais categorias física e funcional. As subclasses dessa categoria analisa as características dos elementos representados (forma, tamanho e texturas) e as relações entre esses elementos, utilizando por princípio a teoria da Gestalt. Por exemplo, O tipo **Psg** é uma ação de descobrir uma forma emergindo entre as representações. Em outras palavras, é a percepção da inversão figura-fundo, ou seja, refere-se à tendência do sistema

visual para simplificar uma cena com um objeto principal que nós estamos olhando (a figura) e tudo o que forma o fundo.

As categorias funcional e conceitual (Figura 5) são explicitadas da seguinte forma: A categoria funcional refere-se a ações associadas a informações não-visuais que descrevem o que os elementos e suas características visuoespaciais são capazes de realizar. Não são determinadas no aparecimento dos elementos representados e/ou nas suas características visuoespaciais, mas sim, como algo que os designers associam à informação visual. Por exemplo, quando tentam determinar o fluxo de pessoas pelos elementos criados, construindo representações que facilitem acesso ou que provoque sensações como “fascinação” ou “expectativa”. Nesse exemplo, sua atenção para o fluxo de pessoas seria codificada como a primeira subclasse de ação funcional e a sensação de “fascínio” ou “expectativa” como a segunda subclasse. A categoria conceitual refere-se a ações cognitivas que não são sugeridas diretamente por representações físicas ou características visuoespaciais dos elementos. O primeiro tipo é o do tipo preferencial (gostar-não gostar) ou estético (bonito-feio, bom-mau, e assim sobre) como avaliação de ações-P ou ações-F. Em síntese, a categoria funcional é uma ação para associar características visuoespaciais de elementos com reações psicossomáticas e/ou psicológicas de pessoas. Em contraste, a categoria conceitual é uma ação para fazer um julgamento subjetivo de acordo com o padrão do designer, além de identificar as metas (ação-G) definidas pelo designer para a execução do projeto e do conhecimento recuperado (ação-K) para atingi-las.

Como continuidade aos estudos Lee et al. (2015) pesquisaram sobre a relação entre criatividade, estudos cognitivos e design paramétrico e, em 2011, desenvolveram um *framework* de avaliação da criatividade (Figura 6) que envolve desde o processo de design até o resultado do projeto, a partir de um *background* teórico no qual estabelecem critérios e variáveis analisadas para esse fim (LEE, GU e SHERRATT, 2011).

Nesse *background* teórico, design paramétrico é uma técnica para o processo criativo de base computacional cuja abordagem é baseada em conhecimento que usa variações em projeto baseadas em regras e raciocínio. O uso de regras no método de design computacional tem sido uma questão crucial no projeto nesse ambiente que lida com inteligência artificial e criatividade digital. Diferente da sua origem na matemática, com o parâmetro os designers podem expressar e explorar ideias variadas sem serem apoiados por suas próprias habilidades de desenho, pois esta abordagem oferece variações criativas e gera múltiplas ideias indicando

uma forma de pensamento divergente que evoca a criatividade. No entanto, o perigo do design paramétrico reside no fato de que as variações podem ser muito abstratas e podem fazer sentido virtualmente e ser de impossível execução concreta (LEE, GU e SHERRATT, 2011).

Figura 3 – Categoria física do raciocínio visual

FÍSICA				
Refere-se a ações que têm relevância direta para representações físicas				
Categorias: D-ação (desenhar / fazer representação); L-ação (olhar para representações existentes); M-ação (Mover lápis ou mãos, os movimentos não finalizam como representações físicas)				
Exemplos: linhas, círculos, setas, palavras				
ID	Categoria	Índice	Dependente de	Descrição
D_{rf}	D-ação	n	c ou r L-ação	Revisar a forma, tamanho ou textura de uma representação.
D_c	D-ação	n	Nada	Criar uma nova representação.
D_{ts}	D-ação	r ou c	Nada	Traçar uma representação na mesma folha de papel.
D_{td}	D-ação	r ou c	c ou r L-ação	Traçar uma representação em uma nova folha de papel.
D_{sy}	D-ação	n	n , c ou r P-ação	Representar um símbolo que representa uma relação.
D_{wo}	D-ação	n	n , c ou r (F- ou P-) ação	Escrever sentenças ou palavras que expressam ideias.
L	L-ação	r ou c	Nada	Olhar para uma representação anterior.
M_{rf}	M-ação	n	n , c ou r P-ação	Mover um lápis, atendendo a relações ou recursos.
M_{od}	M-ação	n	c ou r L-ação	Mover um lápis sobre uma representação anterior.
M_a	M-ação	n , c ou r	c ou r L-ação	Mover uma representação contra a folha abaixo.
M_{ut}	M-ação	- *	- *	Usar ferramentas.
M_{ge}	M-ação	- *	- *	Gestos com mãos.
Os índices n , c ou r significam, respectivamente, 'nova', 'continua' ou 'revisitada'. * Impossível definir pelo esquema de codificação segundo Suwa, Purcell e Gero (1998). Os autores relatam essa dificuldade em função da utilização nessa pesquisa da análise de protocolo retrospectiva.				

Fonte: elaborada pela autora, adaptado de Suwa, Gero e Purcell (1998).

Figura 4 – Categoria perceptual do raciocínio visual

PERCEPTUAL				
Refere-se a ações de atenção a características visuo-espaciais dos elementos descritos no desenho.				
Categoria P-ação divide-se em três subclasses: 1) Características visuais de elementos: formas, tamanhos e texturas. 2) Relações espaciais entre os elementos, tais como: proximidade, afastamento, alinhamento, cruzamento, conexão etc. 3) Organizações e comparações entre mais de um elemento, tais como: elementos do agrupamento, a semelhança / uniformidade e a diferença/contraste das características visuais dos elementos.				
ID	Categoria	Índice	Dependente de	Descrição
P_{sg}	P-ação	n	Nada	Descobrir um espaço emergindo entre as representações.
P_{fn}	P-ação	n	n D-ação	Atender às características de uma nova representação.
P_{fnp}	P-ação	n	n P-ação	Atender às características de uma nova relação ou P_{sg} .
P_{fp}	P-ação	n	c ou r (L-, D- ou P-) ação	Descobrir uma nova característica de uma representação existente de P_{csg} ou de P_{rsg} .
P_{rp}	P-ação	n	Duas c ou r (L-, D- ou P-) ação	Descobrir uma relação espacial ou organizacional.
P_{mp}	P-ação	n	n (D- ou P-) ação e c ou r (L-, D- ou P-) ação	Criar ou atender para uma nova relação entre uma nova representação e uma existente.
P_m	P-ação	n	Duas n (D- ou P-) ação	Criar ou atender para uma nova relação entre duas novas representações ou P_{sg} .
P_{cf}	P-ação	c	c (L-, D- ou P-) ação	Continuamente atender para uma característica.
P_{cr}	P-ação	c	Duas c (L-, D- ou P-) ação	Continuamente atender para uma relação.
P_{csg}	P-ação	c	Nada	Continuamente atender para um espaço emergindo entre as representações.
P_{rf}	P-ação	r	c ou r (L-, D- ou P-) ação	Relembrar uma característica de uma representação.
P_{rr}	P-ação	r	Duas c ou r (L-, D- ou P-) ação	Relembrar uma relação espacial ou organizacional.
P_{rsg}	P-ação	r	Nada	Relembrar um espaço emergindo entre as representações.
P_{ipr}	P-ação	r	n (D- ou P-) ação e c ou r (L-, D- ou P-) ação	Implementar uma relação mencionada anteriormente, dando novas representações ou características.
Os índices n , c ou r significam , respectivamente, 'nova', 'continua' ou 'revisitada'.				

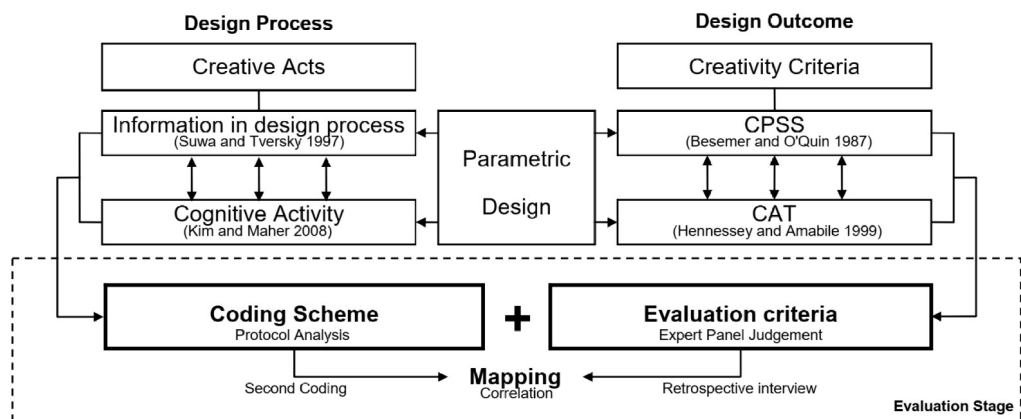
Fonte: elaborada pela autora, adaptado de Suwa, Gero e Purcell (1998).

Figura 5 – Categorias funcional e conceitual do raciocínio visual

FUNCIONAL				
Refere-se a ações associadas a informações não-visuais que descrevem o que os elementos e suas características visuo-espaciais são capazes de realizar.				
Categoria F-ação consiste em duas subclasses: 1) Refere-se às questões de interações entre artefatos projetados e pessoas, ou entre artefatos projetados e o entorno dos recursos naturais. 2) Reações psicossomáticas ou psicológicas das pessoas quando elas interagem com os artefatos desenhados. As ações funcionais não são, na verdade, determinadas no aparecimento dos elementos representados e / ou nas suas características visuo-espaciais, mas algo com o qual os designers associam à informação visual.				
ID	Categoria	Índice	Dependente de	Descrição
F_{np}	F-ação	n	Nada	Imaginar um função independentemente das representações.
F_n	F-ação	n	n (P-, D- ou L-) ação	Associar uma nova representação, característica ou relação com uma nova função.
F_{re-i}	F-ação	n	c ou r (L-, D- ou P-) ação	Re-interpretação*.
F_{cp}	F-ação	c	Nada	Continuamente imaginar uma função independentemente de representações.
F_c	F-ação	c	c (L-, D- ou P-) ação	Continuamente imaginar uma função.
F_r	F-ação	r	c ou r (L-, D- ou P-) ação	Lembrar uma função.
F_{rp}	F-ação	r	Nada	Lembrar uma função independentemente das representações.
F_i	F-ação	c ou r	n (P-, D- ou L-) ação	Implementar uma função explorada anteriormente criando uma nova representação, característica ou relação.
Os índices n , c ou r significam, respectivamente, 'nova', 'contínua' ou 'revisitada'.				
* A reinterpretação está entre ações importantes de design. É uma nova F-ação que ocorre por ser sugerida por uma P-ação, D-ação ou L-ação cujo índice é revisitado ou contínuo.				
CONCEITUAL				
Refere-se às ações cognitivas que não são diretamente sugeridos por representações físicas ou funções visuo-espaciais de elementos.				
Existem três tipos de ação: E-ação - É a ação para fazer julgamentos subjetivos de acordo com a própria norma do designer. É a preferência do designer de gostar – não gostar ou sua avaliação estética (belo-feio, bom-mau, e assim por diante); G-ação - Estabelecer metas. A meta é, por vezes, originada em uma forma <i>bottom-up</i> , desencadeada pelas P-ações ou F-ações; K-ação - recuperação do conhecimento da memória. Nela o conhecimento é recuperado e, em seguida, usado para o raciocínio.				
ID	Categoria	Índice	Dependente de	Descrição
-	E-ação	-	(P- ou F-) ação	Fazer um julgamento subjetivo de acordo com o padrão do designer. E-ação é uma ação cognitiva superior a ser distinguida da segunda classe de F-ação.
-	G-ação	-	Surge de baixo para cima desencadeada por (K-, P-, F- ou D-) ações	Dividir o problema atual em subproblemas para realizar uma meta existente. Uma vez estabelecida a meta, ela, por sua vez, dá origem a outras ações de maneira descendente. Pode contribuir para o nascimento de outros objetivos, acionar a recuperação de conhecimento ou motivar F-, P- ou ações físicas.
-	K-ação	-	-	Recuperar e aplicar o conhecimento envolve a produção de novas informações ou objetivos de uma maneira descendente. Divide-se em raciocínio direto no qual o conhecimento é aplicado para desenhar novas informações a partir de informações existentes e raciocínio retroativo, no qual o conhecimento é aplicado para dividir um problema em subproblemas, estabelecendo, assim, sub-objetivos sob uma meta existente.
Embora Suwa, Purcell e Gero (1998) tenham identificado alguns tipos de ações G, não obtiveram nas pesquisas realizadas um conjunto completo desses tipos. Assim justificam pelo fato de não encontrarem um número suficiente de casos de estabelecimento de metas nos protocolos devido a um problema de ambigüidade na codificação de metas em função do uso de verbalização retrospectiva. No que diz respeito às E-ações e K-ações, não foram capazes de classificar sistematicamente seus tipos utilizando esse esquema de codificação.				

Fonte: elaborada pela autora, adaptado de Suwa, Gero & Purcell (1998).

Figura 6 – Quadro conceitual para avaliação de criatividade em design paramétrico



Fonte: LEE, GU e SHERRATT (2011).

A partir dessa situação o uso de restrições definem as relações entre os elementos geométricos que devem ser mantidos ao gerar variações e configuram os atributos dos parâmetros. As restrições no método de design tradicional podem inibir a criatividade, enquanto o design paramétrico usa as restrições de forma positiva. O pensamento divergente gera variações para uma variedade de respostas com os parâmetros, enquanto o pensamento convergente identifica uma solução útil ou apropriada para a resposta certa a uma pergunta com as restrições no design paramétrico (LEE, GU e SHERRATT, 2011).

Para Lee, Gu e Sherratt (2011) “o processo cognitivo na pesquisa em design e criatividade é uma questão importante, quer gere um produto criativo ou não”. As teorias argumentam que a cognição criativa é mais do que a resolução de problemas e enfatizam que processos seletivos e avaliativos são partes importantes do processo criativo, bem como a "mudança ontológica", metáfora que pode mudar a interpretação de uma compreensão de um conceito para uma nova perspectiva. Analogia refere-se ao conceito de metáfora na cognição criativa e é uma das questões emergentes na atividade de design. Esses modelos de processos cognitivos desempenham um papel importante na facilitação da criatividade em várias áreas de conhecimento, incluindo o design.

Nessa pesquisa mantiveram o foco em abordagens cognitivas e de confluência que considera a criatividade como a confluência de conhecimentos e habilidades relevantes para o design, para a criatividade, a motivação intrínseca e o ambiente social (AMABILE, 1983; HENNESSEY E AMABILE, 1999 apud LEE, GU E SHERRATT, 2011). Amabile (1983 apud LEE, GU E SHERRATT, 2011) propôs a técnica de avaliação consensual (CAT) usada na avaliação da criatividade artística e verbal formada por painel de especialistas e tem sido usado consistentemente em campos de pesquisa como educação, artes, negócios, propaganda, etc.

As várias versões do CAT tem várias dimensões de critérios como a criatividade, as dimensões técnicas e estéticas. A análise da confiabilidade inter-juizes na classificação dos julgamentos em cada dimensão está relacionada à validade de constructo. A análise fatorial nas várias dimensões do julgamento, incluindo várias dimensões subjetivas, deve ser feita para determinar o grau de independência entre uma e outra dimensão. O CPSS permitiu que os juizes classificassem os resultados criativos em três dimensões: novidade, resolução e elaboração e síntese. O CPSS possui 70 subescalas bipolares. O CAT e o CPSS têm

dimensões semelhantes de critérios de avaliação e recursos complementares para medir a criatividade. Esses critérios de avaliação estão presentes na Figura 6.

Lee, Gu e Sherratt (2011) justificam que o uso da abordagem cognitiva e da abordagem da confluência podem ter algumas limitações na exploração da criatividade em design. Ao utilizarem ambas as abordagens para desenvolver uma estrutura de avaliação, buscaram superar os limites de pesquisa anteriores. A abordagem cognitiva é usada para explorar atividades criativas no processo de design. A abordagem da confluência seria personalizada para medir a criatividade dos resultados do projeto. O mapeamento entre as atividades cognitivas e a avaliação dos resultados fornece um passo de nível mais alto para explorar a criatividade do design no desenho paramétrico. Essa abordagem mista ofereceu a base para o desenvolvimento de uma estrutura conceitual para avaliar a criatividade no design paramétrico.

Em 2012, Lee et al. publicaram um estudo piloto, baseado no *framework* apresentado na Figura 6, com três participantes cujo experimento envolvia um projeto conceitual de geração de formas, contendo cinco requisitos de projeto específicos: um edifício alto (i) que teria duas áreas funcionais principais de escritórios e um hotel; (ii) ter uma área máxima de 2.500 metros quadrados (50m x 50m) por piso; (iii) ter mais de 40 andares; (iv) refletir transformações de forças estruturais usando dados externos (opcional); e (v) ser um marco regional designado. Os participantes foram instruídos a “pensar em voz alta” ou fornecer um comentário em execução de suas ações e pensamentos. Após cada sessão, participaram de uma entrevista pós-experimento gravada com pesquisadores, para relatar e explicar seus pensamentos e atividades retrospectivas em termos de seus protocolos de reflexão, enquanto assistiam ao vídeo gravado. Além disso, quatro questões específicas para descrever suas experiências e preferências sobre a criatividade em ambientes de design paramétrico foram colocadas. Cada participante usou um ambiente de projeto paramétrico diferente: *Grasshopper*, *Maya Script Editor (SE)* e *Python*.

Os participantes receberam uma hora para realizar a tarefa e foram gravados em vídeo utilizando ferramentas de modelagem paramétrica de sua escolha. Além disso, como a criação de *scripts* paramétricos poderia ser muito técnica para os projetistas e a restrição de tempo poderia ser uma fonte potencial de estresse para os participantes e limitar seu design, todos os participantes foram informados de que poderiam continuar se fosse necessário mais tempo.

Argumentaram para esse estudo que embora uma profusão de soluções de projeto paramétrico tenha sido construída e amplamente ilustrada em revistas de arquitetura, os estudos de atividades e saídas de projetos paramétricos são relativamente incipientes. Como consequência a compreensão dos aspectos gerativos e evolutivos do design paramétrico e do papel da criatividade – do ponto de vista de um processo ou produto – é limitada. A investigação teve como objetivo explorar essa lacuna de conhecimento.

A estrutura para avaliar a criatividade no design paramétrico foi baseada no trabalho chave de Rhodes (1961 apud Lee et al. 2012). Rhodes pretendia lidar com uma abordagem cognitiva do processo de design e uma abordagem de confluência para projetar produtos. Essa abordagem classifica as vertentes da criatividade em quatro perspectivas – conhecidas como os quatro Ps da criatividade: pessoa, processo, pressão (meio ambiente) e produto. Essa conceituação de criatividade reconhece que os ambientes de design são influenciados por contextos físicos e sociais que podem afetar o processo de design criativo, a qualidade do produto de design e os níveis de criatividade pessoal.

A avaliação do processo de design criativo nesse estudo usou a análise de protocolo e a avaliação dos resultados do projeto que adota uma abordagem de avaliação especializada baseada na Técnica de Avaliação Consensual (CAT) já mencionada.

Como resultado mostraram que as atividades cognitivas subjacentes do processo criativo podem ser descritas pelo esquema de codificação e identificadas através de análise de protocolo. Também demonstraram que as saídas do projeto paramétrico podem ser formalmente avaliadas usando o CAT. Um processo de mapeamento através da análise de correlação foi usado para identificar as relações entre os padrões cognitivos dos projetistas durante o processo de projeto e os escores de avaliação do produto. As evidências preliminares mostraram que a abordagem combinada de produto e de processo de design foi capaz de revelar as condições que potencialmente aumentam a criatividade no design paramétrico.

Segundo os autores, embora apresente limitações na generalização dos resultados, a pesquisa destacou que o design “orientado à busca por solução” é dominante no design paramétrico e a alteração de parâmetros ou regras existentes, como atividade algorítmica, está relacionada à produção potencial de resultados criativos. A “mudança de parâmetros” é uma atividade importante para apoiar a criatividade. No “projeto paramétrico”, as regras são geralmente consideradas como ferramentas de programação gráfica que carregam restrições,

enquanto os parâmetros estão relacionados à geração de alternativas e à reconstrução do processo de design. Isto implica que o projeto baseado em design paramétrico fornece ferramentas que podem apoiar melhor o pensamento divergente, bem como fornecer processos de reconstrução e de restrição, que aumentam a criatividade (LEE et al, 2012).

A “avaliação de geometrias ou primitivas existentes” (Figura 7) também foi revelada como outra atividade dominante no design paramétrico. E chegam a supor que atividades de avaliação mais frequentes refinam potencialmente a solução de design. Os resultados da análise de correlação também dão suporte a esse esquema de avaliação de primitivas como uma das atividades mais essenciais que apoiam a criatividade no design paramétrico.

Em estudo mais recente sobre ações cognitivas através das categorias do raciocínio visual, Lee et al. (2015) estudaram a relação entre design paramétrico e criatividade comparando os processos cognitivos de um pequeno grupo de designers “experientes” e “novatos” (cerca de um ano de formados) com os resultados de uma avaliação independente dos níveis de criatividade visíveis nos trabalhos realizados. Para o experimento selecionaram três níveis de Suwa, Gero e Purcell (1998) quanto ao esquema de codificação (física, perceptual e conceitual) como sendo mais adequados para um ambiente de design paramétrico uma vez que consideram que o projeto em ambientes paramétricos envolve atividades geométricas e algorítmicas, um fator que foi usado para informar os níveis físico e perceptivo no esquema de codificação.

O estudo comparativo focou nas três relações teorizadas descritas anteriormente neste artigo: geometria versus uso de algoritmo; processos orientados a problemas versus processos orientados a soluções; especialistas versus novatos. Estes resultados implicam que os novatos estão em clara desvantagem quando envolvidos nos aspectos gerativos do design paramétrico. Os designers novatos usaram “tentativa e erro” ou “raciocínio inverso” ao progredir no design, enquanto um especialista adotou uma estratégia para progredir no design, desenvolvendo e aplicando regras a partir dos estados iniciais do problema; um comportamento que é reconhecido como uma estratégia de “trabalho para frente” que potencialmente apoia a criatividade no design paramétrico. Esses resultados mostram que os processos de design paramétrico podem variar ao adotar as abordagens geométrica versus algorítmica, bem como os processos orientados a problemas versus processos orientados a soluções. No geral, os designers especialistas tendem a alcançar pontuações de classificação muito mais altas na avaliação da criatividade, independentemente da abordagem e processo

específicos que adotaram. Uma variação do esquema de codificação desenvolvido por Gero e McNeill (1998) foi então usado para caracterizar o nível conceitual de desenho paramétrico e para o nível conceitual do esquema de codificação (algoritmo).

Utilizando as seções dos métodos consideradas mais apropriadas para o ambiente de estudo relacionado à pesquisa, apresentamos, na Figura 7, um quadro que integra as categorias taxonômicas tanto no que se refere às pesquisas sobre o raciocínio visual no desenho à mão livre proposto por Suwa, Gero & Purcell (1998) quanto no design em ambiente computacional por Lee et al. (2015) a fim de explorar os elementos da materialidade em laboratório de fabricação digital e sua relação com as categorias taxonômicas de ações cognitivas, um estudo ainda não executado com esse método.

Figura 7 – Visão integrada dos esquemas de codificação para explorar o raciocínio visual na representação em design

taxonomia das ações cognitivas associadas ao raciocínio visual na representação em design					
desenho à mão livre (Suwa, Purcell e Gero, 1998)		categoria / nível	modelagem paramétrica (Lee et al., 2015)		
subclasses	descrição		categoria	subclasses	descrição
D-ação	fazer representações e.g. linhas, círculos, setas, palavras.	físico	geometria	G-Geometria G-Mudança	criar geometrias sem um algoritmo mudar geometrias existentes
L-ação	ver representações anteriores		algoritmo	A-Parâmetro A-Mudar parâmetro A-Regra A-Mudar regra A-Referência	criar parâmetros iniciais mudar parâmetros existentes criar regras iniciais mudar regras existentes recuperar ou obter parâmetros
M-ação	outras ações físicas e.g. mover um lápis, mover elementos, gestos.				
P-ação	atender para características visuais dos elementos e.g. formas, tamanhos, texturas. atender para relações espaciais entre elementos e.g. proximidade, alinhamento, intersecção. organizar ou comparar elementos e.g. agrupamento, similaridade, contraste .	perceptual	geometria algoritmo	P-Geometria P-Algoritmo	atender para geometrias existentes atender para algoritmos existentes
F-ação	explorar as questões de interações entre artefatos e pessoas / natureza e.g. funções, circulação de pessoas, visualizações, condições de iluminação. considerar reações psicológicas das pessoas e.g. fascinação, motivação, alegria.	funcional			
E-ação	fazer avaliações estéticas e preferenciais e.g. gostar-não gostar, bom-ruim, bonito-feio.	conceitual	orientado ao problema	F-meta inicial F-Sub-objetivos de geometria F-Sub-objetivos de algoritmos	introduzir novas ideias (ou metas) com base em um brief de projeto. introduzir novas ideias geométricas. introduzir novas ideias algorítmicas.
G-ação	estabelecer metas.		orientado à solução	G- Geração	fazer variações.
K-ação	recuperar conhecimento.		avaliação da solução	E- Geometria E-Parâmetro E-Regra E-Referências	avaliar primitivas ou geometrias existentes. avaliar parâmetros existentes. avaliar regras existentes. avaliar referências existentes.

Fonte: elaborado pela autora, adaptado de Lee et al. (2015) e Suwa, Gero e Purcell (1998).

Esse esquema de codificação proposto na pesquisa por meio de categorias do raciocínio visual pretende objetivar o subjetivo por meio da análise da atividade de design em ambiente digital durante o processo de concepção, representação e fabricação de artefato e sua articulação na relação da análise de protocolo verbal concorrente e/ou retrospectivo com a execução da modelagem do artefato e preparação para o uso da tecnologia de fabricação digital enquanto um modelo contemporâneo de prática de design verificado por Oxman (2001) como transferência tecnológica no sentido educacional em cenários onde a prática profissional aproxima o ensino à realidade do designer atuante no mercado (SCHÖN; WIGGINS, 1992 apud OXMAN, 2001).

Como parte da pesquisa discutimos o papel das técnicas para o processo criativo e tecnologias de ambiente digital envolvidas na representação para o design com as mudanças que ocorrem nesse contexto e possíveis paradigmas para um estudo centrado no designer especialista (MANZINI, 2015) e que difere do contexto *maker* (enquanto não especialista), como sujeito criador, produtor e, ao mesmo tempo, usuário em interação ampliada com os ambientes computacionais no século XXI principalmente com o crescente uso de computadores associados a técnicas criativas para gerar novas formas, como elemento de inovação, o advento dos Fab Labs, em 2001, e de laboratórios acadêmicos de fabricação digital, impulsionados por essa iniciativa, e que se ajustam enquanto modelo de prática contemporânea de produção voltada ao projeto.

2.2 Criar e produzir em design no século XXI

As pesquisas anteriormente relatadas apresentam a criatividade como elemento central para a compreensão do papel da representação em design a partir do estudo das ações cognitivas dos sujeitos de pesquisa durante esse processo. Em nosso ponto de vista, o caráter interdisciplinar do design que envolve o conhecimento em áreas como, por exemplo, a psicologia cognitiva (através do uso de métodos da caixa transparente) e a tecnologia para solução de problemas por meio do projeto deve progredir no sentido de conduzir pesquisas para a compreensão de como design e criatividade, enquanto elementos indissociáveis em uma relação recíproca e inequívoca de existência, atuam sob e sobre determinado contexto, nesse caso a produção material viabilizada por espaços de acesso às tecnologias para fabricação digital.

Sem dúvida, a questão acima leva-nos a patamares de conhecimento bem abrangentes e o que se quer dizer aqui é que a essência do design não se perde da visão do projeto que envolve o estudo da natureza comunicativa entre todas as coisas que existem — entre elas, os artefatos⁷ - para que novos evoluam da análise, desenvolvimento e síntese dessa relação ampliada por processos criativos.

Quando pensamos no significado do design em um contexto situado entre criatividade e tecnologia, admite-se o mutualismo obrigatório representado pelo quadro de configuração desses elementos na representação de artefatos de design no ambiente digital cada vez mais presente durante o processo do projeto enquanto interface entre a ideia e a sua materialidade em um cenário cada vez mais amplo e difuso da mediação para a proposição de objetos do cotidiano projetados com valores pertinentes à função/uso individual e coletivo e à visualidade atribuída a eles.

Portanto, trazemos como hipótese que a criatividade é uma condição na qual os atributos inerentes ao conhecimento sobre o design podem ser identificados e estudados tornando possível entender como ambientes tecnológicos influenciam decisões de projeto e com os resultados obtidos em pesquisa refutamos a tese do mero caráter instrumental desses ambientes para a produção de artefatos.

A inserção dos computadores e das máquinas numéricas para fabricação como suportes educacionais para o uso da tecnologia voltada para o design ainda se configura como um grande desafio para sua inserção à área em questão, pois uma vez defendido que o papel da reflexão crítica deve operar para além do desenvolvimento de competências e habilidades operativas, acredita-se que é a partir dessa reflexão que ampliamos pesquisas e avançamos em mudanças significativas de paradigmas.

Os ambientes computacionais para criar e produzir artefatos de design são vistos como espaços de solução para lidar com a complexidade inerente ao projeto, uma vez que nos permite utilizar técnicas e tecnologias computacionais que auxiliam o processo criativo à medida que permite ao designer romper com o paradigma de dependência da produção em escala industrial evoluindo para a possibilidade do processo da fabricação pessoal. No entanto, esses elementos não são redutores de complexidade, ao contrário, a aprofundamos cada vez mais porque amplia-se no fenômeno do hibridismo.

⁷ Para Bunge (1985a apud CUPANI, 2004), um artefato é o elemento resultante de uma atividade consistente na produção de algo artificial.

O hibridismo nesse contexto, pode ser dito, como o resultado de características que condicionam a complexidade dos fenômenos em que todo híbrido transita pela metalinguagem de entes com características distintas e que em certo ponto não se limita a distinções porque surge de duas ou mais linguagens: a) objetiva, do código técnico (racional lógico); b) subjetiva, da decisão humana dentro do seu contexto de intenção no uso de métodos e processos para criar e produzir. Podemos dizer que esses se constituem em espaços gerativos de metalinguagem que estabelecem função e sentido a artefatos gerados a partir de herança híbrida, entre pessoas e máquinas, códigos visuais/tácteis e códigos binários e/ou quânticos. Essa mistura pode ser vista como resultante da convivência entre designers, novatos e especialistas, e máquinas, que geram novas máquinas, novos híbridos não humanos e humanos ampliando os níveis de complexidade.

Entre esses ambientes que amplificam essa possibilidade de condição híbrida de existência das coisas citamos um dos objetos de estudo dessa pesquisa, o projeto Fab Lab, acrônimo do termo *fabrication laboratory*, que tem se desenvolvido, internacionalmente, estabelecendo uma rede mundial de compartilhamento de experiências e conhecimentos práticos em CAD/CAM (tecnologias para fabricação) e eletrônica digital. Neil Gershenfeld (2005), junto a outros professores, propôs, em 1998, um curso semestral denominado “Como fazer (quase) qualquer coisa”, inicialmente voltado a um pequeno grupo de alunos e cujo objetivo era promover habilidades práticas na utilização de máquinas que gerariam “outras” máquinas, permitindo dessa forma a disseminação da proposta da fabricação pessoal aplicada ao contexto do mundo real, principalmente voltado à pesquisa.

A resposta ao curso suplantou as expectativas uma vez que a sua procura superou o número esperado de alunos, não sendo o perfil somente de alunos da engenharia como também arquitetos e artistas. Como relata Gershenfeld (2005), “o grande interesse por parte dos alunos com pouca experiência técnica foi apenas a primeira surpresa”⁸, a motivação pela qual queriam participar do curso não era voltada somente para a pesquisa, publicar um artigo, registrar uma patente ou comercializar um produto, mas pelo desejo de fazer coisas e usar suas invenções (GERSHENFELD, 2005).

Surgiu, após o curso, a organização do conceito do projeto Fab Lab proposto por Gershenfeld, então professor e diretor do laboratório interdisciplinar do *Center for Bits and*

8 Tradução nossa.

*Atoms*⁹ (CBA) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) *Media Lab*, nos EUA. Gershenfeld (2005) em seu livro intitulado “*FAB The Coming Revolution on Your Desktop - from Personal Computers to Personal Fabrication*” apresenta alguns projetos desenvolvidos em alguns países por intermédio de Fab Labs implantados a partir da parceria entre universidades locais e o *Center for Bits and Atoms* (CBA) do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) *Media Lab*.

Através da criação de uma organização não governamental denominada Fab Foundation¹⁰, em 2009, estabelecem um modelo de gestão estratégica de conhecimento e divulgação do projeto atuando nos eixos educacional, social e empresarial. Desta forma torna-se, simultaneamente, uma rede de produção, um campus de educação técnica distribuída e um laboratório de pesquisa distribuído que trabalha para divulgar e implementar a fabricação digital, inventar a próxima geração de máquinas para a fabricação digital e estimular o contexto da fabricação pessoal.

O projeto Fab Lab utiliza a internet como seu principal meio de atender a essa perspectiva do conhecimento distribuído orientando os laboratórios de fabricação digital que almejam participar dessa rede quanto a sua necessidade de um padrão tipológico de máquinas de comando numérico, de baixo custo, capazes de produzir estruturas bidimensionais e tridimensionais e pode envolver a utilização de componentes eletrônicos e de tecnologias aditivas e subtrativas. Para esses laboratórios não somente os recursos tecnológicos precisam estar disponíveis aos seus usuários como também devem seguir os princípios de funcionamento através de uma Fab Charter¹¹ que, por sua vez, regem os Fab Labs enquanto marca global de uma rede de laboratórios locais.

Segundo Eychenne & Neves, os fundamentos de ações dos Fab Labs “visam promover inovação através da experimentação e reavaliação de métodos e processos na criação de produtos e serviços” (2013, p. 13). Por isso a proposta de uma tipologia tem por objetivo tornar replicáveis projetos coletivos¹² gerados em diferentes partes do mundo e gerar incentivo à invenção ao oferecer acesso a recursos operacionais e técnicos enquanto mantém disponível

9 *Center for Bits and Atoms* (CBA) compreende quinze ou mais professores de todo campus do MIT: físicos, químicos, biólogos, matemáticos e engenheiros mecânicos e elétricos, que não se enquadram na separação artificial de ciência da computação da ciência física.

10 Informações disponíveis em <http://www.fabfoundation.org/index.php/about-fab-foundation/index.html>.

11 Informações disponíveis em <http://www.fabfoundation.org/index.php/the-fab-charter/index.html>.

12 Projetos e tutoriais disponíveis em <http://fabacademy.org/>

a documentação do projeto contendo os processos e técnicas utilizadas para que outros usuários possam aprender com cada experiência realizada.

Em 2014, a rede¹³ Fab Lab contava com um pouco mais de trezentos laboratórios localizados em vários países. Em 2017, o número de laboratórios gira em torno de mil e duzentos com dados ainda não totalmente atualizados, ou seja, uma média de crescimento no número de laboratórios em torno de 250% nesses três anos. No Brasil, em 2014, faziam parte sete (7) laboratórios e, em 2017, estavam registrados na plataforma do projeto quarenta (40) Fab Labs, ou seja, um aumento em torno de 470% nesse período. Atualmente, em fevereiro de 2019, constavam em cadastro na rede Fab Lab setenta e três (73) laboratórios no Brasil, ou seja, um aumento em torno de 82,50% entre 2017 e 2019, no entanto, esses não são números absolutos, pois seria necessário um levantamento dos laboratórios em atividade.

Tal informação só pôde ser disponibilizada em função do estudo sobre o estado da arte dos Fab Labs no início dessa pesquisa, em 2014, pois a plataforma web¹⁴ não apresenta dados parciais (e.g. ano a ano) sobre os laboratórios de fabricação digital que passaram a ser credenciados, somente o quantitativo por país e o total global no momento em que o site da rede *Fab Lab Foundation* é acessado. Apesar de cada laboratório apresentar uma descrição sobre seu funcionamento, localização e equipe, também há dificuldades em identificar em qual categoria cada Fab Lab credenciado se enquadra, bem como o período de ingresso na rede Fab Lab, pois alguns endereços na internet ou estão desatualizados ou não existem mais nos domínios informados.

Não existe um padrão para dispor essas informações online e esses laboratórios na maioria das vezes não descrevem suas categorias de implantação que podem ser distintas e, segundo a proposta¹⁵ da Fab Foundation, ou são **acadêmicos**, geralmente criados por universidades ou centros de ensino, ou **profissionais** que dirigem, principalmente, seus serviços a um público de empresas, inovadores e *startups* ou são Fab Labs **públicos**, abertos realmente a todos, em lugares totalmente acessíveis e cuja finalidade é dar acesso às máquinas digitais, às práticas e à cultura do movimento *maker* e da fabricação digital (EYCHENNE & NEVES, 2013).

Apesar da dificuldade em acessar alguns dados sobre quais Fab Labs estão associados a uma determinada categoria e tornar mais laborioso reunir informações sobre cada modelo de

13 Dados disponíveis em <https://www.Fab-Labs.io/labs>, último acesso em 17 de novembro de 2017.

14 Idem.

15 Informações disponíveis em <http://fabfoundation.org/index.php/sample-program/index.html>.

gestão aplicado nesses ambientes de produção podemos incluir, além dos Fab Labs, ambientes como *Hacker Spaces*, *Tech Shops* ou *Maker Spaces* sendo que esse último não tem referência a qualquer modelo de gestão estratégica ou financeira e funciona como um ambiente coletivo de máquinas e ferramentas para a produção de bens físicos. Por essa razão que, em sua tese de doutoramento, Heloísa Neves (2014) argumenta que “todo Fab Lab ou *Tech Shop* pode ser um *Maker Space*, mas nem todo *Maker Space* é um Fab Lab ou um *Tech Shop*” (NEVES, 2014).

Em pesquisa recente sobre o estudo tipológico desses ambientes de produção de artefatos físicos apresentada por Costa e Pelegrini (2017) foram mapeados, entre os meses de abril e setembro de 2016, cinquenta e oito (58) ambientes de produção de artefatos físicos entre Fab Labs, Maker Spaces e laboratórios de fabricação digital, instalados e em funcionamento, em 24 cidades no Brasil. Esclarecem que os números apresentados podem não ser absolutos devido à dificuldade em obter dados precisos sobre laboratórios hospedados em Instituições de Ensino Superior (IES) através das páginas institucionais porque “são poucas as instituições que possuem uma listagem com todos os laboratórios existentes dificultando a obtenção de informações sobre a existência dos mesmos” (COSTA E PELEGRINI, 2017).

Para as pesquisadoras a tipologia que divide os laboratórios em três (3) grupos se baseia no modo de fundação e gestão desses laboratórios, mas “não possibilita a caracterização quanto aos objetivos, intenções e orientação” (COSTA E PELEGRINI, 2017), pois existem grupos emergentes que não se enquadram nas tipologias existentes e que buscam diferentes modelos econômicos, de gestão e jurídicos sustentáveis que consolidem seus objetivos e ações.

O cenário crescente de implantação desses ambientes, não somente no Brasil como em outros países, se apresenta como oportunidade para avaliar esses lugares de experiências para fabricação digital não somente como espaços de participação social e aprendizado coletivo. Esses espaços podem ser vistos, também, como potencial de pesquisa sobre a singularidade material que se expressa no planejamento criativo de designers que atuam em liberdade de produção dos seus próprios artefatos e independentes (ou em intercâmbio) da execução fabril de seus projetos através da indústria. Essa, sem dúvida, seria uma demanda de difícil execução em função da pulverização da informação sobre esses ambientes, o que não deixaria de ser uma oportunidade para pesquisa científica.

Em publicação recente, Ramella e Manzo (2018), por meio de análise de métodos mistos e estatístico, buscaram estabelecer uma visão geral desse “novo fenômeno empírico ainda comparativamente pouco estudado – Fab Labs” e os apresenta, inicialmente, em um debate sobre economia de compartilhamento, desenvolvimento local e inovação aberta no continente europeu. Em seu trabalho indicam que para dar conta desta difusão geográfica diferencial, determinados “fatores contextuais” precisam ser considerados, tais como os diversos níveis e modelos de desenvolvimento e urbanização, não apenas em termos dos dois lados do Atlântico (Europa e Estados Unidos), mas também dentro do próprio continente antigo. Também fatores de agenciamento devem ser levados em conta, como a presença de atores específicos de diferentes esferas socioinstitucionais, que estavam à disposição para dar vida a esses laboratórios digitais.

Apontam que, inicialmente, a expansão desses laboratórios foi lenta, apesar de, em apenas um ano, terem trinta e dois (32) no mundo, mas houve apenas algumas adições até 2010, quando totalizou quarenta e cinco (45) laboratórios. Em 2016, observa-se um crescimento exponencial desses laboratórios totalizando seiscentos e oitenta e seis (686) no mundo todo. Ramella e Manzo (2018) colocam como elemento de atenção o fato de que quase metade deles, 331, estarem localizados na União Europeia, número muito maior do que nos Estados Unidos (119), onde o fenômeno se originou.

Os Fab Labs, considerando suas múltiplas atividades (treinamento, promoção da fabricação digital, colaboração e inovação aberta), podem ser classificados como membros de pleno direito na categoria de bens coletivos, tendo um papel no desenvolvimento local em termos sociais e inovação econômica. Isso porque podem criar oportunidades educacionais e inovadoras em setores relativamente menos explorados, ou fomentar relações interpessoais entre *makers*, fortalecendo a identidade da sociedade local e sua própria capacidade de inovar (RAMELLA e MANZO, 2018). São reconhecidos pela Comissão Europeia como “uma plataforma social para a inovação, destinada a estimular a aprendizagem, a criatividade e a colaboração entre pares, oferecendo assim novas soluções às necessidades das comunidades locais” (Comissão Europeia, 2013a, apud Ramella e Manzo, 2018).

Com um conjunto de dados coletados da rede Fab Lab apresentam, por meio de análise estatística, que o fenômeno Fab Lab é bastante concentrado do ponto de vista territorial. “Enquanto 84 países têm apenas um Fab Lab, em 15 países existem mais de 10 deles. A

grande maioria – cerca de dois terços – está localizada em duas áreas geopolíticas: os Estados Unidos e a União Europeia”. (RAMELLA E MANZO, 2018).

Para Ramella e Manzo (2018), a distribuição geográfica do Fab Labs imediatamente destaca sua relação com os níveis de desenvolvimento: 80% estão em países de alta renda, onde vivem 20% da população mundial. Os 20% restantes, no entanto, estão localizados em países de renda média e baixa, onde os outros 80% da população mundial vivem. Além disso, considerando a densidade do fenômeno – o número de Fab Labs por milhão de habitantes – para os autores, há uma clara correlação com: (a) o PIB, renda per capita, (b) a proporção da população vivendo nas cidades, (c) o número de pesquisadores, (d) os gastos com Pesquisa e Desenvolvimento e (e) o nível de uso da Internet pela população. Esses fatores, por sua vez, alavancados por mudanças tecnológicas e organizacionais que estão ocorrendo no setor produtivo muitas vezes chamado de Indústria 4.0 – digitalização / automação de fabricação, diversificação de produtos, comércio online e inovação aberta. (RAMELLA, 2016).

Considerada a extensão geográfica do Brasil e a sua heterogeneidade social e econômica, um estudo como o apresentado pode elucidar, em parte, a concentração de laboratórios de fabricação digital no Sudeste e no Sul do país. E é por onde essa pesquisa se inicia quando tomamos conhecimento, em 2013, sobre o projeto da Rede Pronto 3D com a prof. Dra. Regiane Pupo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), cuja experiência e empenho para a compreensão e consolidação desses ambientes foi tema de sua tese de doutoramento e continuidade de seu trabalho à frente do laboratório acadêmico de fabricação digital da UFSC, Pronto 3D.

2.2.1 Laboratórios de Fabricação Digital PRONTO 3D, o estudo de caso

A cadeia produtiva da Indústria Criativa “é composta pelos ciclos de criação, produção e distribuição de bens e serviços que usam a criatividade e capital intelectual como insumos primários” (UNCTAD, 2008)¹⁶. O termo “Indústria Criativa” bem como o conceito apresentado sobre sua cadeia produtiva foi adotado no Brasil através de um plano de política pública que teve como uma de suas iniciativas a criação da Secretaria de Economia Criativa (SEC) pelo Ministério da Cultura no Brasil (MinC) como fator estratégico para o desenvolvimento econômico fundado na inclusão social, na sustentabilidade, na inovação e na

¹⁶ Painel sobre indústria criativa e desenvolvimento, UNCTAD XII, 2008. Disponível em https://unctad.org/en/Docs/tdxiibpd4_en.pdf. Acesso em agosto de 2017.

diversidade cultural brasileira a partir do “Plano da Secretaria da Economia Criativa”¹⁷ apresentado no biênio 2011-2014.

Apesar da relação dos segmentos da Indústria Criativa ainda não ser um consenso a determinação desses setores e a metodologia utilizada no Brasil para o seu mapeamento tem por base os estudos do Departamento de Cultura, Mídia e Esportes (DCMS) do Reino Unido (1998)¹⁸ até os dias atuais. De acordo com as determinações da DCMS (1998) os setores considerados criativos são: Publicidade, **Arquitetura**, Artes, Artesanato, **Design**, Cinema, Moda, Música, Artes Cênicas, Indústria Editorial, P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), Software, Softwares interativos para lazer (Games), Rádio e TV.

Mapeamentos já publicados com análises da Indústria Criativa no Brasil mostraram que em 2015 a participação do setor criativo no PIB nacional foi em média de 2,64%, sendo que a participação do PIB criativo se concentrou em quatro estados brasileiros: São Paulo (3,9%), Rio de Janeiro (3,7%), Distrito Federal (3,1%) e Santa Catarina (2,3%) (FIRJAN, 2016)¹⁹.

Ainda a partir do mapeamento realizado pela Firjan (2016) dentre as 27 unidades da Federação, 18 mantiveram ou aumentaram a participação do PIB Criativo no período 2013-2015, o que consolida a Indústria Criativa como área estratégica, com visão disseminada por todo o país. À medida que a criatividade e o conhecimento são reconhecidos como matérias primas também é cada vez maior a necessidade da inovação do produto e desenvolvimento de patentes, a ampliação da inteligência de mercado e a maior adequação dos produtos às experiências do consumidor que impulsionam os movimentos dessas áreas, refletindo o esforço da indústria para otimizar seus processos e obter vantagens competitivas em um cenário econômico adverso. Nesse sentido os setores de tecnologia e design são percebidos como fortes impulsionadores da Indústria Criativa.

Os dados apresentados mostram a importância de uma agenda de desenvolvimento que tem como motores a inovação e a educação baseado no modelo de tríplice hélice do Sistema de Inovação no qual os principais agentes são governo, academia e indústria privada

17 Plano da Secretaria da Economia Criativa: políticas, diretrizes e ações, 2011 – 2014 Brasília, Ministério da Cultura, 2012. 156 p. Disponível em <http://cultura.gov.br/documents/10913/636523/PLANO+DA+SECRETARIA+DA+ECONOMIA+CRIATIVA/81dd57b6-e43b-43ec-93cf-2a29be1dd071>. Acesso em agosto de 2017.

18 Creatives Industries Mapping Documents (1998). Disponível em <https://www.gov.uk/government/publications/creative-industries-mapping-documents-1998>. Acesso em agosto de 2017.

19 Mapeamento da Indústria Criativa no Brasil entre 2013 e 2015. Disponível em <http://www.firjan.com.br/economiacriativa/pages/default.aspx>. Acesso em agosto de 2017.

(ETZKOWITZ, 2001) onde se configura uma inovação que não ocorre de forma isolada, mas a partir da integração do papel das universidades, órgãos do governo, empresas privadas, instituições de pesquisa e de financiamento como os principais agentes do Sistema de Inovação (PELAEZ; SZMRECSÁNYI 2006, p. 417).

A motivação para delinear esse cenário sobre o contexto da indústria criativa no Brasil, na qual as áreas de arquitetura e design encontram-se inseridas, deveu-se às entrevistas não estruturadas (ou abertas) conduzidas durante a etapa pré experimento nos locais definidos para o estudo. Essa foi considerada uma etapa importante, pois seu objetivo foi mapear a gênese da experiência na construção da estrutura em rede dos laboratórios Pronto 3D, tanto física quanto de conhecimento, que serviriam de base para os dados a serem coletados em campo. Outro ponto considerado é se poderiam existir questões sobre variáveis do ambiente que pudessem alterar os dados de coleta sobre o estudo da relação entre o raciocínio visual e a experiência material (ou heurísticas da materialidade) durante o processo de concepção e fabricação de um artefato em ambiente digital.

Optar pela entrevista não estruturada é um desafio e ao mesmo tempo uma técnica geradora de muitas possibilidades e tornou-se um ponto importante para o estudo exploratório proposto, uma vez que a entrevistada decidiu pela forma de construir a resposta, possibilitando à pesquisa identificar as características a serem exploradas em um tema ainda pouco pesquisado ao proporcionar uma legitimidade de fala e memória durante a construção da narrativa de experiência pessoal, com o mínimo de interferência possível (CRESWELL, 2007).

A entrevista foi conduzida como uma conversa informal, sendo que perguntas gerais nortearam essa etapa com a pesquisadora e professora Regiane Pupo do Departamento de Expressão Gráfica da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), em setembro de 2017, uma das idealizadoras do Pronto 3D na UFSC, sendo as perguntas: Como surgiu a proposta da rede Pronto 3D e de que maneira está constituída? De que forma as técnicas para o processo criativo, como o design paramétrico, ingressam em componentes curriculares associadas à fabricação digital? Suas respostas foram gravadas e transcritas para, em seguida, ser apresentadas as transcrições identificadas com o objetivo da pesquisa.

As entrevistas com os gestores do laboratório acadêmico de fabricação digital Pronto 3D/ SATC, na cidade de Criciúma/SC, em fevereiro de 2018, não foram gravadas, mas foram registradas como observações de campo, o mesmo ocorrendo com a responsável técnica do

laboratório Pronto 3D/Unochapecó, na cidade de Chapecó/SC e participante do experimento de pesquisa em entrevista anterior a este, também em fevereiro de 2018. De forma espontânea relataram as atividades já realizadas no laboratório Pronto 3D como espaço de fabricação e os desafios e respostas dos laboratórios no contexto do ensino e suas expectativas presentes e futuras. As perguntas gerais foram as mesmas e se mantiveram em uma possibilidade de entrevista anterior ao experimento em si, com o cuidado necessário para não afetar o funcionamento do ambiente.

A entrevista gravada, analisada e com algumas partes transcritas nessa pesquisa com a pesquisadora e professora Regiane Pupo durou cerca de 41 minutos e apresenta o momento importante para o surgimento dos laboratórios acadêmicos de fabricação digital em Santa Catarina, que se constituem enquanto Rede Pronto 3D cujo projeto contou com apoio da FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina e da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, em 2013. Foi em novembro de 2011, em um evento realizado em parceria com a UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, a Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina e a ELISAVA – *Barcelona School of Design and Engineering*, denominado “Road Show” (PUPO, 2014), que a Rede Pronto 3D deu seus primeiros passos.

Em seu relato sobre esse evento que deu origem ao projeto dos laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D, narra que a ideia veio em 2011 quando ingressou na UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina – vindo da experiência de montar, junto com a professora Dra. Gabriela Celani, o laboratório LAPAC e junto com o professor Dr. José Duarte, em Portugal, o laboratório de fabricação digital do Instituto Superior Técnico de Lisboa. Ainda não havia um laboratório nesse sentido na UFSC e, em suas palavras, “a meta era essa”.

A iniciativa de proposta de uma rede de laboratórios Pronto 3D atuando em instituições de ensino localizadas em áreas estratégicas no Estado de Santa Catarina, segundo professora Regiane Pupo, partiu das agências de fomento ao projeto, onde a intenção do governo do Estado era de disseminar a tecnologia e transformar o Estado de Santa Catarina em um polo tecnológico de referência aplicado primeiramente ao design e arquitetura, uma evidência da importância dos fatores de agenciamento colocados por Ramella e Manzo (2018), nos quais atuaram academia, governo e indústria. Esse efeito sinérgico de um objetivo comum entre atores socioinstitucionais é um elemento importante a considerar para a

proposição de projetos como esse que envolve tecnologia e a formação de indivíduos para uma indústria em transformação.

Retomando a entrevista com a professora Regiane Pupo sobre o evento denominado “*Roadshow e Workshop – Design e Fabricação Digital*” (Figura 8) que aconteceu em 2011, o formato do evento era para escolher os polos da rede, em suas palavras, “justamente para conhecer a realidade de cada lugar do Estado”, visto que havia chegado recentemente em Santa Catarina e não conhecia a região. Ela percorreu de carro 3.500 km sozinha, sendo recebida por diversos lugares do Estado. O extremo foi Chapecó e em cada lugar havia uma abrangência de faculdades de arquitetura e design que estavam interessados nesse conhecimento, sendo previamente agendadas as visitas em cada local. Havia um módulo de palestra presencial com uma hora e meia de duração sobre fabricação digital e de como inserir a fabricação no processo de projeto, fruto da sua tese de doutoramento, defendida em 2009, e depois o momento era aberto a perguntas. Depois o professor Affonso Orcioli, de ELISAVA/Espanha, entrava via Skype com uma palestra falando sobre a realidade do tema em Barcelona, na Espanha.

O evento aconteceu em universidades e faculdades interessadas no tema nas cidades de Balneário Camboriú, Itajaí, Joinville, Jaraguá, Blumenau, Criciúma, Lages, Chapecó, Xanxerê até pegar um pouco o Rio Grande do Sul, em Erechim.

Figura 8 – Banner do evento “Roadshow e Workshop” sobre design e fabricação digital – UFSC/Brasil e ELISAVA/Espanha.



Fonte: fotografia no Pronto 3D/UFSC, arquivo pessoal.

Foi finalizado em Florianópolis/SC com um *workshop* de cinquenta (50) horas, uma semana inteira, com as pessoas que participaram do evento e tinham apresentado interesse nessa informação. O *workshop* foi totalmente presencial e inseriu o uso de tecnologias como corte a laser e CNC, mais a modelagem paramétrica utilizando o *Grasshopper*. O tema era luminárias e todas foram parametrizadas, talvez a primeira iniciativa do uso conjunto da modelagem paramétrica e da fabricação digital no Estado, voltados para a área da arquitetura e design, segundo a entrevistada.

A rede Pronto 3D não existia ainda, o evento relatado foi concomitante ao envio do projeto para a FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina e da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, juntamente com professor Luiz Salomão Gomez, também da UFSC. Após a aprovação do projeto, em 2013, e da condição

colocada pelos agentes de financiamento para se estabelecer uma rede de laboratórios é que foram escolhidos os polos.

Perguntamos à professora Regiane Pupo como foram configuradas as parcerias da rede Pronto 3D, ao que respondeu que foi mais por conhecer alguns alunos de regiões como Chapecó, que frequentam a UFSC, e levaram também em consideração a estrutura do local e o perfil das pessoas que atuariam como gestores do laboratório de fabricação digital, para ela, o mais importante.

“Um Fab Lab e uma rede é importante você colocar, claro, os equipamentos, mas muito mais importante é a capacitação das pessoas e a curiosidade e o envolvimento dessas pessoas dentro de um laboratório desses. Não adianta nada ter as máquinas todas se as pessoas não estão envolvidas, não estão interessadas e se elas não estão em uma mesma sintonia de um Fab Lab que é uma coisa rápida, dinâmica”.

(Regiane Pupo, entrevista em setembro de 2017)

Segundo o relato, o objetivo da rede é que fosse polvilhada em pontos estratégicos do Estado, as cidades escolhidas têm uma abrangência, um entorno. Na rede há protocolos de uso e a ideia em que haja um site compartilhado pra todos – “ainda não está no ideal”, diz – e que ele seja um repositório de artigos sobre materialização de todo mundo, de toda a rede, “isso está em andamento”. O objetivo é que tenha o compartilhamento *opensource* de produtos desenvolvidos em cada polo e um programa de capacitação da rede, uma atualização que envolva bolsistas, professores e gestores que podem ou não ser coordenadores de curso também.

A rede Pronto 3D – Laboratórios de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D – é constituída por uma rede de laboratórios de prototipagem rápida e fabricação digital que tem como objetivo a estruturação e capacitação de centros acadêmicos estrategicamente localizados no estado de Santa Catarina. Atende aos cursos de Design, Arquitetura, Engenharias, bem como todas as áreas que envolvam criação, desenvolvimento e produção de modelos, protótipos, maquetes e produtos em escala real, auxiliando nas diferentes etapas do processo de projeto (PUPO, 2014).

Atualmente nas cidades de Lages, Criciúma, Chapecó e Florianópolis, todos os centros contam com tecnologias aditivas e subtrativas de produção automatizada, atuando em ensino, pesquisa e extensão. Os laboratórios estão instalados nas seguintes instituições:

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, em Florianópolis; Universidade Comunitária da Região de Chapecó (Unochapecó), em Chapecó; Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC), em Criciúma e Universidade do Planalto Catarinense, (UNIPLAC), em Lages. Como mencionado anteriormente, o laboratório acadêmico de fabricação digital Pronto 3D, em Lages, não participou da pesquisa por questões de orçamento.

Há uma diferença na estrutura da rede entre as instituições públicas e particulares envolvidas, por exemplo, no Pronto 3D/Unochapecó, em Chapecó, existe um técnico exclusivo para o laboratório, no Pronto 3D/UFSC, em Florianópolis, não tem. O Pronto 3D/UFSC tem os bolsistas que atuam com os gestores do laboratório, mas a professora considera que mesmo assim, perante a estrutura que se tem e às vezes muita dificuldade financeira, o Pronto 3D na UFSC conseguiu e consegue realizar os projetos e conclui: “claro, isso se dá não vou dizer única e exclusivamente, mas em grande parte, pelo envolvimento dos alunos”.

Foi possível observar essa diferença de ‘habitat’ entre as instituições pesquisadas. No Pronto 3D/UFSC, a intensa presença de estudantes, bolsistas e não bolsistas, executando projetos pessoais ou vinculados a disciplinas de cursos no laboratório, nem sempre do design ou arquitetura, foi um diferencial em relação às demais instituições, onde a dependência do estímulo em trabalhos vinculados a disciplinas e participação dos professores/gestores era a tônica para sua utilização pelos estudantes dos laboratórios. Importante salientar é que um fator a considerar é a diferença de perfil discente entre uma instituição pública e privada, que também carece de estudo e análise de características particulares para a compreensão do fenômeno onde a fabricação pessoal é incentivada pelo empreendedorismo e busca pela inovação.

O Pronto 3D/SATC, em Criciúma, localizado em instituição particular também opera com bolsistas na área de design e de manutenção industrial, sendo que os professores/gestores do laboratório atuam ativamente na sua operacionalização e manutenção, dispondo de orçamento da instituição para compra de peças de reposição e estoque. Essas mesmas condições orçamentárias para a manutenção das máquinas são disponibilizadas ao Pronto 3D/Unochapecó. O fator orçamentário para laboratórios localizados em instituições públicas de ensino possui particularidades culturais e administrativas às quais não buscamos responder na pesquisa, sem dúvida, há necessidade de estudos aprofundados também sobre esse fenômeno.

Dentre os laboratórios da rede, o único até o momento que participa como laboratório credenciado do *Fab Lab Foundation* é o Pronto 3D da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Sob a gestão do Curso de Design da UFSC, o laboratório localizado no Campus da Trindade, em Florianópolis, além de possuir as tecnologias aditivas e subtrativas de produção como os demais laboratórios da rede Pronto 3D, conta com um laboratório móvel (Figura 9), adaptado em veículo que tem por objetivo a expansão do conhecimento sobre a fabricação digital extramuros da universidade.

Figura 9 – Participação no Projeto Tamar/SC, em setembro de 2018.



Fonte: montagem de imagens disponíveis em <https://www.facebook.com/Pronto3d/>

Isso se deve a algumas características das atividades e princípios de funcionamento exigidos para ser um Fab Lab credenciado. O ponto mais importante é a abertura ao público, uma vez que um Fab Lab “tem como objetivo democratizar o acesso às ferramentas e máquinas para permitir a invenção e as expressões pessoais” (EYCHENNE & NEVES, 2013, p. 15). Ou seja, além de permitir aos estudantes da instituição a realização de projetos na prática, deve ser um espaço transdisciplinar e aberto ao exterior.

Essa abertura se configura em cursos direcionados a crianças e jovens chamado ProntoKids (Figura 10), sendo um espaço colaborativo, eficiente nas suas condições que

aceita desafios para projetos com outras áreas de conhecimento atuando em cooperação e troca de conhecimento através de *workshops* e na divulgação desse princípio colaborativo e aberto a troca de experiências e conhecimento (Figura 10).

Sendo o Pronto 3D/UFSC (Figura 11) a gênese da rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital em Santa Catarina foi importante conhecer, através da entrevista com a professora Regiane Pupo o processo organizacional desses espaços que compartilham, segundo ela, um DNA. A partir de um projeto para estudo da marca, diretrizes foram traçadas e são compartilhadas pela rede:

“Nosso DNA tem cinco (5) pontas, é um lugar colaborativo, não só interno de cada laboratório, mas da rede, ele tem que ser. Ele é um espaço lúdico, não é divertido, é lúdico, ele é um espaço em que há um trabalho sério, mas ele é agradável, não é um aborrecimento vir aqui, as pessoas gostam de estar aqui. Versátil, tem coisa que a gente não faz, outro dia uma menina veio querer fazer uma bicicleta. Temos que dar um jeito, eu não tenho um equipamento de solda, eu não tenho uma câmara de pintura, por exemplo, o espaço é restrito. Mas a gente vai pro plano B, vamos montar a câmara ali fora, vamos procurar solda, então ele tem que ser versátil, a primeira vez que chega o projeto nunca é não, isso eu não faço, vamos pensar, a gente tem o que a gente pode buscar ir atrás. É eficiente dentro das nossas condições, sim. Ontem na hora que você saiu daqui veio o pessoal da astronomia, querendo fazer um relógio com aquele globo, tem um nome, não sei, mas, claro, nunca pensei que eu faria uma coisa dessa, mas vamos fazer. Eu já vi, já dei umas dicas, já vi o material, dessa conversa já saiu um outro trabalho para a sala de aula deles que a gente também pode colaborar, e dali foi indo e a gente já vai abrir um projeto de extensão. E criativo, então, o que acontece aqui. Essas duas luminárias aqui (mostra as luminárias) são de um bolsista, esse aqui não é o trabalho dele, ele ficou o ano todo cuidando da laser, e ele foi usando a criatividade dele, aquela ânsia de produzir design de produto e ele fez uma linha de luminárias. Não mandei ele fazer isso aqui, então, altamente criativo, essa é uma delas, tem várias, tem outras ali. Não foi fácil, é uma coisa difícil de fazer, ele deu um acabamento, tem um requinte das formas, e não foi assim de primeira que já saiu essa aqui. Teve todo um processo, usando a tecnologia como aliada, como ferramenta, mas a criação foi dele (mostra outras luminárias feitas). Ele, na verdade, para fazer isso aqui, usou a tecnologia como aliada à criatividade. Esses são os 5 pontos que falei.”

(Regiane Pupo, entrevista em setembro de 2017)

Os desafios no processo de formação de estudantes no uso das tecnologias para fabricação digital também foi uma pauta discutida durante a entrevista. Não somente conhecer as técnicas e tecnologias em ambiente digital, em seu ponto de vista, são fatores importantes, também saber aonde usar qual delas e em qual momento do processo. Mostra uma embalagem, onde foi utilizada a máquina de corte a laser, uma introdução à tecnologia, mas o início do processo começa no desenho, depois foi utilizado papel rascunho para que fosse feito à mão, em tamanho menor, até estar certo de que é o que estava previsto no projeto, o uso do tato, o manuseio do produto até chegar à parte final, o corte a laser. Ou seja, há a introdução das tecnologias na grade curricular como uma disciplina normal.

Figura 10 – ProntoKids, oficina adaptativa de recursos lúdicos acessíveis (setembro e outubro de 2018) / Brinquedos de madeira (CNC) / Workshop aberto ao público / Marca Pronto 3D/UFSC.



Fonte: montagem de imagens disponíveis em <https://www.facebook.com/Pronto3d/>

No design de produto elas estão atreladas ao projeto. Cita como exemplo o projeto de embalagem que tem disciplinas associadas (fundamentos da embalagem, metodologias etc.). Primeiro essas disciplinas dão base ao que é o projeto e depois, no meio do semestre pra frente, todas as quatro (4) disciplinas se unem num projeto só.

Nesse projeto não entra impressão 3D (tecnologia aditiva), entra já o que é direcionado para embalagem, corte a laser (tecnologia subtrativa) e *vacuum forming* (Figura 12). Quando os estudantes estão encaminhados a fazer o projeto final essas disciplinas associadas vão se aliar ao projeto e virar uma única disciplina (projeto integrado). Então, no caso da inserção da fabricação digital no curso de design há o projeto de embalagem e em mais três projetos que são projetos de média, de alta e de altíssima complexidade com a disciplina de fabricação digital associada. De altíssima complexidade eles têm a fabricação digital associada a robótica denominada *smart design* que culmina em produto. Nas palavras da professora Regiane Pupo “o design de produto está totalmente envolvido com essas tecnologias”.

Figura 11 – Fachada e parte interna do Pronto 3D/UFSC.



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

Uma vez que o Pronto 3D/UFSC não tem à sua disposição um técnico de laboratório existe um programa de capacitação que envolve bolsistas e/ou estagiários (maioria dos cursos de design e arquitetura) e gestores de laboratório. As atribuições de atividades em laboratório

só são realizadas após uma capacitação que é dada ou pelo gestor de laboratório ou, de preferência, pelos bolsistas e estagiários que estão se desligando do laboratório, em um processo de transferência de conhecimento entre os estudantes. Existem capacitações pontuais sobre impressora 3D, software, CNC e corte a laser (Figura 13), mas, mesmo assim, próximo do término do semestre ocorre um evento que se chama “Tardes no Pronto”. É um evento interno com a duração de uma semana em que cada um dos bolsistas e/ou estagiários transferem o que aprendeu para os outros que trabalham no laboratório em outra tecnologia. Isso elimina a relação professor-aluno e são colegas que estão trabalhando juntos e repassando o conhecimento adquirido. Uma capacitação bem pontual entre todos que ficaram o semestre inteiro trabalhando e aprendendo no Pronto 3D.

Figura 12 – *vacuum forming*, tecnologia formativa concebida e fabricada no próprio Pronto 3D/UFSC



Fonte: edição de imagem de arquivo pessoal.

Os laboratórios acadêmicos de fabricação digital da rede Pronto 3D/Unochapecó, em Chapecó e Pronto 3D/SATC, em Criciúma, também em Santa Catarina, ainda não ingressaram na certificação Fab Lab Foundation, isto porque as dimensões exigidas para a certificação preveem as características apresentadas e executadas pelo Pronto 3D/UFSC dessa abertura ao público e ações que ampliem o acesso contínuo ao conhecimento nesses espaços. No entanto, a inserção da fabricação digital em disciplinas e no contexto interno acadêmico das universidades acontecem justamente por compartilharem da mesma estrutura de maquinários para fabricação digital financiada pelo projeto da rede Pronto 3D.

Figura 13 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/UFSC (tecnologias aditivas e subtrativas)



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

O Pronto 3D/Unochapecó atende aos cursos de design e arquitetura e a dinâmica de utilização do ambiente é através de disciplinas que atuam como agentes impulsionadores de atividades no laboratório. Ao tempo dessa pesquisa não havia bolsistas ou estagiários atuando no laboratório de fabricação digital da instituição que conta com um gestor e uma técnica em

laboratório, formada em arquitetura pela própria instituição e que é responsável não somente pelas máquinas, também pela finalização de arquivos para execução dos trabalhos das disciplinas dos cursos.

As tecnologias para fabricação digital são as mesmas disponibilizadas no Pronto 3D/UFSC, máquina de corte a laser e Router CNC (tecnologias subtrativas), impressora 3D de filamento e também disponibilizam uma impressora 3D que utiliza resina como matéria-prima (Figura 14), mas devido ao custo desse material ser mais elevado do que a impressora 3D de filamento é pouco usada pelos estudantes. Isso porque para utilizarem as máquinas, mesmo em disciplinas, é cobrada uma pequena taxa que inclui o tempo de uso de máquinas e de material que por sua vez é revertida para a manutenção e compra de insumos para o laboratório.

Figura 14 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/Unochapecó (tecnologias aditivas e subtrativas)



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

O laboratório não somente atende a demandas dos cursos, como também atua em auxílio à própria instituição na elaboração de produtos e serviços como na Figura 15, um *stand* para eventos, fabricado no Pronto 3D/Unochapecó. Na Figura 16 apresentamos alguns resultados de criação e fabricação de produtos realizados na instituição por estudantes no curso de design e arquitetura e no escritório de design composto por estudantes da instituição.

O Pronto 3D/SATC (Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina) atua em um campus de educação e tecnologia e atende onze (11) cursos de graduação aos quais se integram engenharias e o curso design (Figura 17). O laboratório Pronto 3D/ SATC atua com três gestores, Jovani Castelan, Anderson Daleffe e Daniel Fritzen, professores dos cursos de engenharia da instituição e dois (2) bolsistas, uma aluna na área de design e um aluno na área de manutenção industrial. A dinâmica de utilização do ambiente também ocorre através de disciplinas que atuam como agentes das atividades no laboratório e em atividades em parceria com empresas e empreendedores locais.

Figura 15 – Stand para eventos da Unochapecó fabricado no Pronto 3D/Unochapecó.



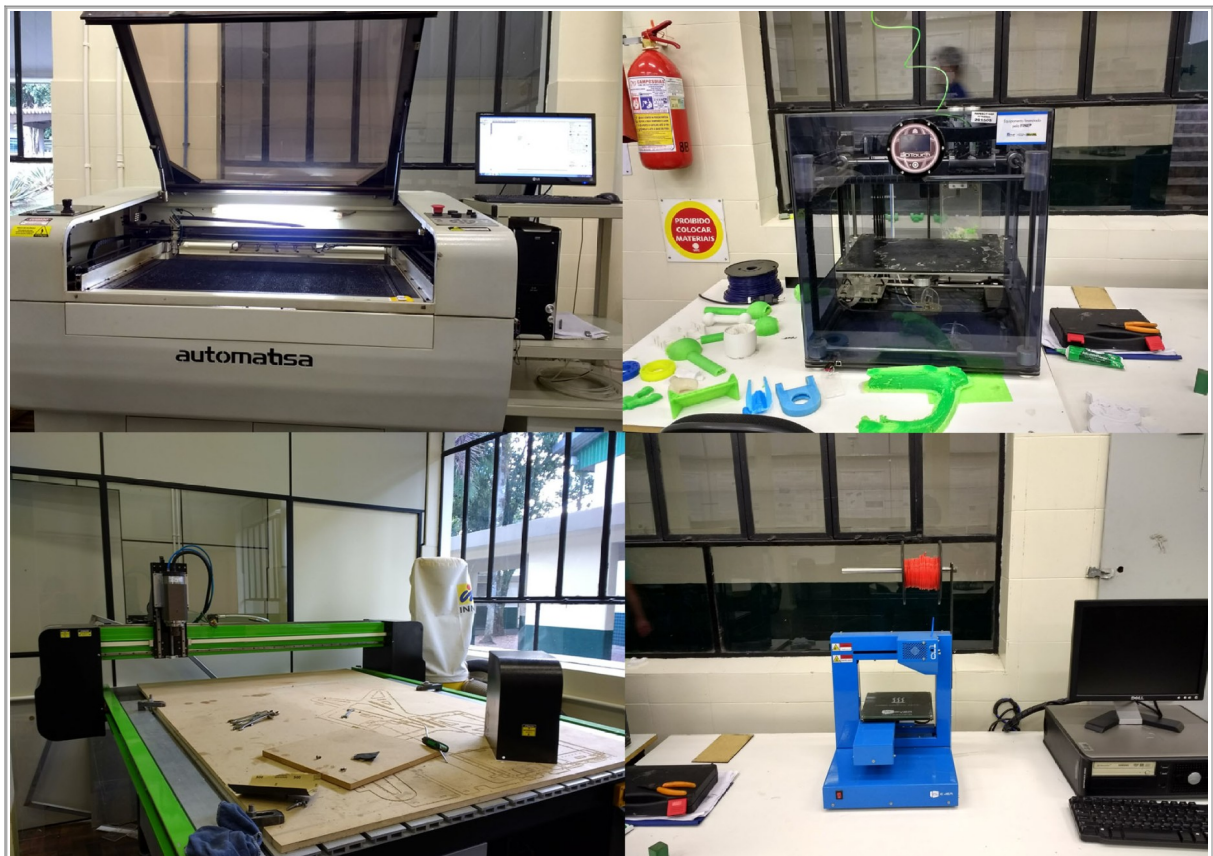
Fonte: imagem disponível em <https://www.facebook.com/PRONTO3DCHAPECO/>

Figura 16 – Protótipos e produtos fabricados por alunos dos cursos de design e arquitetura e do Escritório de design.



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

Figura 17 – Tecnologias para fabricação digital do Pronto 3D/SACT (tecnologias aditivas e subtrativas)



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

Em breve diálogo com a coordenação do curso de design, em fevereiro de 2018, a inserção ao contexto acadêmico da fabricação digital ainda é um cenário que está sendo implementado, uma vez que a vocação do curso no contexto e necessidades regionais atende a uma demanda muito grande pelo design gráfico. Como medida adotada pela gestão do laboratório para auxiliar o curso de design, uma vez que as engenharias já atuam amplamente na utilização do ambiente associando-o às disciplinas, está a promoção de bolsa de estudo aos alunos para aplicação das tecnologias de fabricação digital no desenvolvimento de produtos sob demanda, atuando como orientadores, professores do próprio curso de design.

A escolha desses “ambientes configurados” por padrões de acesso às tecnologias e de conhecimento compartilhado sobre os processos de fabricação digital foi um fator determinante para a proposição da pesquisa. Mesmo enquanto uma rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital, as instituições particulares e pública, por enquanto a única da rede com certificação Fab Lab vinculada ao Pronto 3D atendem estudantes de design e arquitetura em cursos que tem seus próprios componentes curriculares e as suas vocações locais e, podemos dizer que, nesse contexto, a expectativa por uma amostra não padronizada em função dessa característica poderia ser propícia a identificar um conjunto de dados relevantes sobre as ações cognitivas dos participantes da pesquisa através de registros audiovisuais e verbalização concorrente das ações vinculadas ao processo do projeto.

Com o objetivo de definir os argumentos usados na pesquisa e que caracterizam os processos para concepção e fabricação de artefatos foi realizada uma análise bibliográfica de pesquisas sobre as técnicas para o processo criativo voltado ao projeto na era digital e as tecnologias para fabricação pelo viés do fenômeno Fab Lab, inscrito na gênese da rede Pronto 3D enquanto laboratórios acadêmicos para fabricação digital a partir de um estudo de cenário pertinente a esses temas.

2.2.2 Técnicas para o processo criativo e tecnologias para a fabricação como ambiente digital para inovação social e pedagógica em design

As técnicas para o processo criativo e as tecnologias para fabricação no ambiente digital descritos na pesquisa são elementos importantes para a compreensão sobre o que analisamos sobre criar e produzir em design no século XXI, visto que são poucos os estudos sobre uma visão integrada entre esses elementos.

Mencionamos, por exemplo, como técnica para o processo criativo, o design paramétrico, cujo estudo comparativo realizado por Lee et al. (2015) buscou avaliar o nível de criatividade entre a modelagem geométrica em um contexto tradicional que tem no designer um “usuário” de ferramenta de software tridimensional (3D) e a modelagem paramétrica no qual o designer usa variações em projeto baseadas em regras e raciocínio pelo uso da programação computacional a fim de gerar padrões visuais.

As tecnologias para fabricação no ambiente digital dizem respeito às máquinas que possibilitam a produção de artefatos com princípios de funcionamento e de restrições quanto ao uso de material e dimensões que são as tecnologias aditivas (impressoras 3D), subtrativas (Router CNC, máquinas de corte a laser etc) e formativas (e.g. *vacuum forming*).

Primeiro, em nenhuma das situações, sejam as técnicas, sejam as tecnologias, enquanto mencionadas como possibilidades taxonômicas, ou na linguagem da ciência da computação, os softwares e hardwares que fazem parte desse sistema voltado ao design no ambiente digital podem ser chamados de “novas tecnologias”. São tecnologias empregadas há algumas décadas que em função do um alto custo de aquisição eram reservadas à indústria e que a partir de novas perspectivas com o movimento do pensamento científico, filosófico e econômico²⁰ ampliado pela importância da democratização do conhecimento pelo acesso a tecnologias como forma de gerar conhecimento e acelerar as análises sobre um mundo em constante transformação e cada vez mais complexo, que possibilitaram sua difusão para fabricação pessoal a custos menores e técnicas que foram impulsionadas por avanços tecnológicos específicos como o aumento do processamento e armazenamento computacional. Uma sinergia sistêmica em que algumas tecnologias, como a impressão 3D, tem seu próprio ritmo de desenvolvimento em detrimento das demais que fazem parte do ambiente de fabricação digital. Essa característica deve-se bastante ao contexto *opensource* em que essa tecnologia está inserida. Ao mesmo tempo que possibilita um desenvolvimento rápido para aplicações e uso de materiais, enquanto estrutura aberta, dificulta a existência de padrões para configuração.

Para esse fim foi realizado uma análise de cenário que, segundo Carvalho (2009), é uma metodologia que permite entender o ambiente sobre o tema proposto e como a mesmo se desenvolve ao longo do tempo. Essa análise se deu a partir de estudo bibliométrico, que Vanti (2002) define como conjunto de métodos de pesquisa utilizados para mapear a estrutura do

20 Web 2.0 – Cauda longa – Prosumidores (produtores/consumidores) – Indústria 4.0.

conhecimento em um campo científico através de uma abordagem quantitativa e estatística de diversos dados bibliográficos.

Para definir os termos descritos nesse tópico de artigos indexados na base de dados Scopus primeiro foi necessário identificar o que foi produzido de conhecimento pela comunidade científica sobre os temas e avaliar as principais tendências de pesquisa sobre as técnicas para o processo criativo e as tecnologias envolvidas na fabricação em ambiente digital, mais precisamente relacionado ao Fab Lab, voltado ao design em seus aspectos conceituais e descritivos.

Os resultados foram selecionados com base em critérios direcionados a qualidade acadêmica apresentada pela produção dos autores e dos periódicos e pela repercussão causada pelo artigo em termos de citações e, ainda, pelo alinhamento dele aos temas propostos com o objetivo de categorizar o que de fato é relevante e que consiga representar o estado da arte dos temas abordados nesse ponto da pesquisa (Tabela 1).

Por sua vez esses dados também serviram como diretrizes à elaboração do **questionário** aplicado na pesquisa e apresentado na metodologia em relação às técnicas para o processo criativo e as tecnologias para fabricação em ambiente digital, enquanto definições aplicadas ao projeto e com maior probabilidade de serem conhecidas pelos participantes da pesquisa com o objetivo de observar se alguma das técnicas seria utilizada para o experimento proposto pela pesquisa.

As técnicas voltadas ao processo criativo com sistemas CAD apresentam pesquisas que visam compreender como a inovação em produtos pode ser impulsionada em um mundo saturado em produção material como respostas à indústria de mercado a demandas muitas vezes ainda difusas e com relativa distância de aplicação pela não naturalização da linguagem computacional no cotidiano do projeto e ainda a pouca, mas em vias, inserção desse conhecimento durante o processo de formação acadêmica ao nível de graduação, no Brasil.

Tabela 1 – Estudo bibliométrico das técnicas aplicadas ao processo criativo e tecnologias para fabricação digital pelo contexto Fab Lab.

1. Identificação da fonte de pesquisa.	Base de Dados Scopus
2. Definição de termos de busca (strings) e operadores.	(“ <i>parametric design</i> ”; “ <i>shape grammar</i> ”; “ <i>genetic algorithm</i> ”) AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”; “Fab Lab” AND “ <i>design</i> ”
3. Extração de dados.	Filtros (strings de busca): “ <i>shape grammar</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados: 07 artigos e 15 <i>conference papers</i> encontrados.
	Filtros (strings de busca): “ <i>parametric design</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados: 07 artigos e 10 <i>conference papers</i> encontrados.
	Filtros (strings de busca): “ <i>genetic algorithm</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados: 11 artigos e 38 <i>conference papers</i> encontrados.
	Filtros (strings de busca): “Fab Lab” AND “ <i>design</i> ”. Resultados: 41 artigos e 33 <i>conference papers</i> encontrados.
4. Seleção de artigos e <i>conference papers</i> revisados por pares.	CrITÉRIOS de avaliação qualitativa a partir de: a) Número de citações (>3) com eliminação de autorreferência. b) Fator de Impacto na área de publicação > 1 (valor considerado acima da expectativa de citações). c) Área de conhecimento e pertinência ao tema estudado. d) Período de citação: 2012 a 2016.
5. Síntese dos dados.	Filtros (strings de busca): “ <i>shape grammar</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados de acordo com critérios de avaliação: 03 artigos e 01 <i>conference papers</i> selecionados.
	Filtros (strings de busca): “ <i>parametric design</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados de acordo com critérios de avaliação: 01 artigo e 02 <i>conference papers</i> selecionados.
	Filtros (strings de busca): “ <i>genetic algorithm</i> ” AND “ <i>creativity</i> ” AND “ <i>design</i> ”. Resultados de acordo com critérios de avaliação: 04 artigos e 04 <i>conference papers</i> selecionados.
	Filtros (strings de busca): “Fab Lab” AND “ <i>design</i> ”. Resultados: 04 artigos e 07 <i>conference papers</i> selecionados.

Fonte: elaborada pela autora

Quanto ao que foi caracterizado na pesquisa como **técnicas para o processo criativo em design** foi necessário realizar, de forma preliminar, um estudo bibliográfico devido à ausência de conceitos objetivos e pacíficos quanto ao assunto, isso porque esse foi um dos primeiros problemas encontrados sobre a definição dos termos de busca na base de dados. Foi um aspecto importante, pois o conhecimento sobre essas técnicas ingressou no questionário aplicado aos participantes e foi de fundamental importância que os conceitos utilizados pudessem ser claramente identificados por eles para servir de análise, além de nos ajudar a compreender esse cenário na perspectiva de ambiente digital voltado ao projeto.

Mitchell (2008) foi um dos poucos autores encontrados que faz referência a essas técnicas enquanto linguagens de “combinação gramatical das partes” de uma forma a partir de um repertório vocabular formal (MITCHELL, 2008, p. 143). A linguagem gramatical das formas é associada a regras que podem usar uma abordagem com exemplos de seu uso correto ou incorreto ou uma abordagem com regras prescritivas aplicadas de tal modo que “resulta em um conjunto infinito de possibilidades de projetos que podem ser explorados”. Na visão do autor, o aprimoramento do método como uma estrutura vocabular da forma orientada por regras de composição pode resultar em uma “poderosa técnica para a definição de universos de objetos de estrutura similar” (MITCHELL, 2008, p. 146).

Mitchell (2008) identifica enquanto técnica para composição visual que pode ser suportado por sistemas computacionais a Gramática da Forma (*Shape Grammar*) cujas regras especificam subformas de uma composição em desenvolvimento que podem ser substituídas por outras utilizando identificadores para controlar a aplicação das regras e determinar as situações finais, sem dimensões precisas, uma vez que o processo de exploração do projeto é guiado pelo conhecimento do arquiteto sobre como combinar formas.

No prefácio à edição consultada, a professora Gabriela Celani apresenta esse contexto de técnicas discutidas por Mitchell (2008) como uma área de pesquisa que busca desenvolver tanto uma teoria computacional do processo do projeto apoiada nas ciências cognitivas quanto métodos e aplicações que usam meios computacionais para o desenvolvimento do projeto definindo-a como Design Computacional (*Computational Design*).

Ao utilizarmos o termo “*computational design*” como filtro de busca na base de dados identificamos que, atualmente, este conceito se tornou muito amplo e que o termo não se aplica somente ao processo criativo para o projeto voltado às áreas de arquitetura e design, em via de regra, todo processo que tem por base o uso de meios computacionais para solução de

problemas e sua otimização se insere nesse conceito e é aplicado em diversas áreas de conhecimento como biologia, medicina, engenharias e outras.

A partir do levantamento bibliográfico codificado e direcionado às técnicas para o processo criativo em desenvolvimento de projeto nas áreas de arquitetura e design identificamos o termo Design Generativo ou Gerativo (*Generative Design*). Embora haja semelhanças, cada técnica, segundo os autores, parece mais adequada do que outras para atividades específicas de design. As cinco técnicas apresentadas no estudo são:

- Autômato Celular (*Cellular Automata* – **CA**): coleção de células dispostas em uma grade com uma forma específica que evoluem ao longo do tempo de acordo com um conjunto de regras impulsionado pelo estado das células vizinhas. O Jogo da Vida (*Game of Life*) é o exemplo dessa técnica desenvolvida por John H. Conway em 1970, um processo de auto-organização que permite a observação do modo como imagens complexas podem surgir a partir de implementações de regras muito simples.
- Algoritmos Genéticos (*Genetic algorithms* – **GA**): inspirados em processos evolutivos naturais, são algoritmos probabilísticos e foram inicialmente propostos por John Holland em 1975. Consiste em cadeias de caracteres de comprimento fixo ou variável (cromossomos ou genótipos) compostos dos elementos de um determinado alfabeto (alelos). O espaço genotípico é mapeado em outro espaço de busca (fenótipo). O propósito é gerar, a partir de uma população de cromossomos, novos cromossomos com propriedades genéticas superiores às de seus antecedentes. Podemos associar esse princípio a soluções de um problema onde, a partir de um conjunto de soluções atuais, são geradas novas soluções superiores às antecedentes sob algum critério preestabelecido.
- Gramática da Forma (*Shape Grammar* – **SG**): o processo de geração de projeto é basicamente alterar (adicionar, subtrair ou substituir) elementos e definir ou modificar as relações entre esses mesmos elementos por meio de regras para a forma. Desenvolvida no início da década de 70 por George Stiny e James Gips, essa técnica permite que projetos diferentes que compartilham um estilo similar surjam alternando a sequência de regras criadas. Possibilita duas formas de abordagem – uma que restringe as gramáticas e controla as regras da forma para aumentar a previsibilidade dos resultados, um aspecto que requer conhecimento adequado do projeto ao desenvolver suas regras; outra que permite que as formas sejam geradas sem restrição.

Uma pesquisa automatizada e um dispositivo de teste são então aplicados para pesquisar o espaço do projeto, testar e selecionar as soluções desejadas. Esta abordagem pode “começar com um conhecimento inadequado do projeto” enquanto se desenvolve as regras aplicadas (SINGH & GU, 2012, p.188).

- L-Sistema (*L-System* – **LS**) ou Sistema de Lindenmayer: desenvolvido no final da década de 60, são algoritmos matemáticos conhecidos por gerar formas com autossemelhança que exibem as características do crescimento biológico. É um tipo de gramática formal no qual um alfabeto de símbolos são usados para fazer uma cadeia de caracteres, com regras de produção que se expandem a partir de uma sequência inicial denominada “axioma”. Apesar de estabelecer regras como a Gramática da Forma, difere por utilizar *strings* (caracteres) em vez de usar formas geométricas.
- Inteligência de Enxame (*Swarm Intelligence* – **SI**): coleção estruturada de agentes baseados em modelo (ABM) que por sua vez é um sistema pelo qual os comportamentos coletivos de agentes não-autenticados interagem localmente com seu ambiente e fazem com que padrões globais funcionais coerentes surjam. Fornece uma base com a qual é possível explorar solução de problemas coletiva ou distribuída sem controle centralizado ou a provisão de um modelo global apresentando como características a auto-organização e colaboração através de meio físico.

Comparam essas cinco técnicas de design generativo (ou gerativo) e argumentam que a utilização isolada dessas técnicas restringem as oportunidades de exploração de projeto oferecido por uma técnica específica. As técnicas de **SG** e o **LS** são semelhantes e úteis para gerar padrões de forma incremental, especialmente projetos baseados em formas que podem ou não ser restritos, diferentemente da **CA**, que é sempre restrita e sensível ao contexto. O **GA** é baseado em modificações, combinações e outras operações em blocos de construção, bem como no espaço da solução. As operações genéticas podem gerar projetos aleatórios e, portanto, é mais fácil modelar usando essa técnica em comparação ao **SG** ou **LS**, onde a identificação das regras leva tempo, ou seja, por ser um processo iterativo é difícil visualizar as formas emergentes, exigindo muitas vezes testes para identificar as formas terminais desejadas e as regras para produção da forma. **SG** e **LS** tipicamente seguem a filosofia “função segue a forma”, ou seja, uma vez que a forma é gerada, a forma emergente é avaliada (SINGH & GU, 2012).

SG é normalmente usada para gerar formas e composições bidimensionais (2D), layouts de espaço e, em alguns casos, composições 3D. **LS** são tipicamente usados para gerar padrões repetitivos, fractais e formas orgânicas naturais.

Algumas técnicas de design generativo (ou gerativo) são mais adequadas para propósitos específicos de um projeto do que outras. Por exemplo, os **GAs** são usados principalmente para otimização, enquanto que **SG** e **LS** são particularmente adequados para desenvolver formas emergentes e padrões que surgem das repetições e as operações em formas terminais.

Uma técnica não mencionada nesse estudo por Singh & Gu (2012) e que pode ser adequado ao conceito de design generativo proposto pelos autores é o design (ou modelagem) paramétrico (PD), uma vez que é compreendida como a ação de considerar alternativas que se encaixam em certos controles ou limites. Isto é, design paramétrico é definido como um processo de exploração de relações associativas de conceitos geométricos (WOODBURY, 2010) no qual o termo “parâmetros” é usado para descrever os fatores que determinam uma série de variações, levando a uma gama potencialmente infinita de possibilidades sendo geradas (KOLAREVIC, 2003) sendo caracterizada pelo uso de regras e pela geração de múltiplas soluções.

Softwares para criação e definição de parâmetros para o design paramétrico incluem o processamento baseado na linguagem de programação Java, no script Rhino e no script Python, com base na linguagem VB da empresa McNeel. O software *Grasshopper* é exemplo de um ambiente avançado para facilitar o design conceitual e é uma ferramenta relativamente popular na área de arquitetura. O desenvolvimento de ferramentas computacionais associadas a técnicas para o processo criativo por meio de algoritmos, utilizando como princípio a emergência das formas modifica o cenário do processo criativo para o projeto à medida que permitem que o esboço computacional seja “natural”, livre das restrições que as ferramentas de ambientes tridimensionais convencionais para a representação impõem.

No Brasil, ainda são poucos os estudos localizados em bancos de teses e dissertações nas áreas de arquitetura e design sobre essas técnicas para o processo criativo voltado ao projeto, sendo mais encontradas **design paramétrico**, **gramática da forma** e **algoritmo genético**, esta última em função do interesse sobre a biomimética e a biônica aplicada ao projeto e mais intimamente associadas à ciência da computação não sendo foram encontradas

até o momento essas técnicas implementadas no desenvolvimento de aplicativos voltados ao processo criativo em design.

Além do estudo realizado por Singh & Gu (2012) sobre *framework* teórico de técnicas integradas ao processo criativo voltado para o projeto, no estudo bibliométrico foram encontradas pesquisas cuja aplicação dessas técnicas computacionais são utilizadas para o desenvolvimento de jogos, produtos e um único estudo em que ocorre a conjunção da aplicação da técnica da gramática da forma (SG) associada ao processo de fabricação digital, um dos direcionamentos a ser analisado por essa pesquisa.

Guo et al. (2014) desenvolveram um sistema cujo componente chave é chamado “gramática de criaturas”. Segundo os autores, embora grandes avanços tenham sido feitos para auxiliar a modelagem 3D, o apoio da criatividade no processo ainda é um tópico emergente e a livre exploração de alternativas é uma chave característica de ferramentas de apoio à criatividade. Combinaram o sistema L (**LS**) que lida com conexão de elementos 2D e gramática da forma (**SG**) propondo uma edição interativa de regras procedurais explorando níveis mais altos de interações do usuário e permitindo um retorno visual imediato dos resultados.

Amplamente encontrados em histórias em quadrinhos, filmes e jogos de computador, monstros são criaturas imaginárias ou lendárias com estruturas anormais ou deformidades físicas, que inspiram horror ou nojo. Modelar esse tipo de objetos é um grande desafio para os artistas, por causa de suas formas e estruturas bizarras, exigindo criatividade e imaginação principalmente em um cenário onde um grande número de monstros com várias formas e estilos são necessários, o processo de projeto e modelagem se torna ainda mais desafiador.

Os experimentos mostraram que, mesmo começando com um pequeno conjunto de formas de algumas categorias de criaturas comuns (por exemplo, humanóides, criaturas parecidas com pássaros e quadrúpedes), o sistema produziu um grande conjunto de monstros inesperados com diversidade de formas e plausibilidade visual, fornecendo grande suporte para o design criativo do usuário. Através de observação, os pesquisadores identificaram que, durante o processo de modelagem 3D de monstros, os artistas geralmente criam monstros criando primeiro uma criatura regular e depois modificando a estrutura da forma para explorar várias possibilidades para tornar a forma mais e mais anormal. As operações que artistas comumente aplicam foram classificadas em três tipos: (1) aumentar, duplicar ou triplicar uma parte (por exemplo, triplicar o braço de um humanóide; (2) combinar, concatenando dois

torsos juntos (por exemplo, anexando a parte superior de um ser humano ao torso de um cavalo para criar uma criatura semelhante a Centauro); (3) inserir, adicionando um novo tipo de peça à forma atual (por exemplo, adicionando uma asa a um quadrúpede) (GUO et al., 2014).

Pesquisas como as de Guo et al. (2014) sobre suporte à criatividade computacional buscam técnicas para gerar exemplos customizados que permitam ao usuário explorar o espaço de possibilidades. Para modelagem 3D, uma abordagem popular é fornecer sugestões baseadas em dados, adaptadas ao design atual do usuário. O desenvolvimento de sistemas de design baseado em computador coloca designers no centro do processo do projeto para executar tarefas de forma colaborativa com esses sistemas.

Em estudo semelhante, os designers utilizam os designs gerados para inicializar seus processos com mais facilidade e rapidez, como por exemplo, um sistema proposto com base na gramática de formas interativas e no algoritmo de design evolutivo, capaz de aumentar a criatividade e a produtividade da atividade de design (KIELAROVA et al., 2015).

A sinergia humano-computador proposta é ilustrada para área de design de joias, mas é aplicável a outros problemas de design de produtos industriais, segundo os autores. A fonte da diversidade de formas é derivada de operadores genéticos e a preferência subjetiva do designer é usada para avaliação de design. O sistema desenvolvido pode ser integrado a máquinas de modelagem controladas por computador para construir automaticamente artefatos físicos. Como resultado, os projetistas podem iniciar facilmente seu processo de projeto conceitual, obtendo os projetos desejados e os artefatos físicos resultantes em linha (KIELAROVA et al., 2015).

Tais estudos recomendam que um sistema de design eficaz deve fornecer um canal de comunicação entre o designer e o sistema (KIELAROVA et al., 2015), mas ainda se apresentam em fase seminal. Outras técnicas combinadas para o processo criativo de base computacional, além do sistema-L (**LS**) e gramática da forma (**SG**), tem sido estudadas, como os algoritmos genéticos (**GA**) usados originalmente para encontrar soluções para problemas complexos de otimização, por exemplo, para otimizar o design de instrumentos musicais de latão considerando objetivos matemáticos e perceptuais (POIRSON et al., 2007 apud TROIANO & BIRTOLO, 2014). Denominam esse método de *Evolutionary Computation* (EC) que se tornou uma abordagem importante para a exploração e avaliação de soluções de design e, especialmente, de soluções em desenho 2D.

Uma grande dificuldade ao usar **GA** em sistemas automatizados de design é a codificação do genoma (NICAISE E ANTONSSON, 2007 apud TROIANO & BIRTOLO, 2014), que significa a maneira de codificar o fenótipo do indivíduo (estrutura física) e seu genótipo (genoma). A estrutura e as qualidades de cada indivíduo são codificadas em seus genomas. Através da recombinação desses genomas, os indivíduos podem se reproduzir e produzir novos indivíduos (soluções) e através de uma espécie de seleção natural, indivíduos que não estão adaptados ao meio ambiente (cujas propriedades não satisfazem as expectativas) não são selecionados para serem gerados.

A maioria dos sistemas usa uma codificação direta em que as dimensões geométricas e estruturas do objeto de projeto são diretamente representados no genoma. Por exemplo, ao projetar uma garrafa ou ao encontrar um projeto para formas cilíndricas o fenótipo é representado no genoma por uma sequência de parâmetros geométricos, como os raios, comprimentos e posições das peças. Consequentemente, a codificação se torna dependente do contexto (TROIANO & BIRTOLO, 2014).

Outros trabalhos usam estruturas de árvore ou gramáticas da forma para codificar o genoma. Kim e Cho (2000 apud TROIANO & BIRTOLO, 2014) usaram um conjunto pré-definido partes de roupas para encontrar novos designs de moda, re combinando estas partes. Além disso, todos esses sistemas são concebidos para um determinado domínio de design. Implementar esses métodos em novos campos de design é, segundo os autores, um processo difícil e demorado (TROIANO & BIRTOLO, 2014). No entanto, um bom método de design deve ser aplicável, tanto quanto possível, a um grande espectro de situações. O processo de codificação de esboços para aplicação no desenvolvimento de sistemas automatizados de design tem sido o caminho comumente traçado para essas pesquisas que envolvem não somente o estudo de padrões geométricos, mas a sua influência na percepção e avaliação por parte dos designers.

Ainda sobre sistemas baseados em **GA** citamos o algoritmo de otimização baseado em evolução, Galápagos²¹, um aplicativo de otimização integrado ao *Grasshopper* e amplamente utilizado por designers (YI & KIM, 2015). O algoritmo de evolução simulado é um Algoritmo Genético (**GA**) derivado da evolução biológica que usa duas forças principais – mutação e seleção. Yi e Kim (2015) combinaram um programa CAD com essa ferramenta de simulação que calcula horas de luz solar no desempenho de diferentes *layouts* de construção de

21 Disponível em <https://www.grasshopper3d.com/group/galapagos>. Acesso em 15 novembro de 2017.

edificações que puderam ser encontrados de forma rápida e eficiente, fornecendo várias soluções viáveis para o problema de projeto a ser resolvido.

O cenário apresentado da utilização de técnicas para o processo criativo baseado em sistemas computacionais ainda é uma realidade distante em alguns cursos de graduação em arquitetura e design no Brasil. É possível que, através do uso e do desenvolvimento de aplicativos integrados a softwares comumente utilizados por arquitetos e designers, como por exemplo o *Grasshopper*, e voltados à compreensão inicial desses conceitos e sua aplicação na fase conceitual de produtos possamos atingir o efeito sinérgico de inovação à área ainda na graduação. Isso porque a popularidade das técnicas *LS*, *SG* e *GA* é menor se comparadas ao design paramétrico (*PD*) que tem em *plugins* (*Grasshopper*) associados a sistemas de modelagem 3D (e.g. software *Rhinoceros*) um forte aliado na interação humano-computador.

Também a produção de protótipos e de produtos finais é um elemento importante para o processo de avaliação em design. O uso de técnicas para o processo criativo em ambiente computacional (CAD) aliado à fabricação pessoal (*making*) de artefatos ainda é um contexto em construção visto que são poucos os estudos disponíveis sobre o tema uma vez que um dos fatores apresentados está a importância coleta de dados a partir da observação nos processos para concepção, representação e materialização realizados por projetistas experientes como suporte à concepção de interfaces de interação que possibilitem, de forma intuitiva e ampliada, o uso das técnicas computacionais apresentadas como aliadas à atividade de design.

Em artigo publicado em 2015, Gürsoy e Özkar trazem outra definição para *making* em design como um processo computacional no qual a computação pode ser entendida como um processo de raciocínio geral, além do uso de computadores e design é um processo de raciocínio com aspectos que podem ser rastreados através de computação, em particular a computação visual.

No artigo argumentam que os “desenvolvimentos em tecnologias de fabricação digital e ciência de materiais ao longo da última década fomentaram um interesse crescente em materiais, materialização e processos de produção em design” (GÜRSOY & ÖZKAR, 2015, p.30). Nessa configuração para criar e produzir no século XXI o design está associado principalmente à produção de representações abstratas através de desenhos ou modelos a serem materializados posteriormente com uso de sistemas CAD/CAM²².

22 CAD/CAM – *Computer-Aided Design* (Projeto Assistido por Computador) / *Computer-Aided Manufacturing* (Fabricação Assistida por Computador).

À medida que máquinas computacionais disponíveis fornecem novas oportunidades para os designers trabalharem com materiais reais, em escala real, a distinção entre projeto e fabricação, por esse prisma, deve ser reconsiderada em ambientes digitais que se tornam mediadores entre os processos de concepção, representação e materialização já mencionados.

Laboratórios acadêmicos de fabricação digital possuem um potencial pedagógico inegável à possibilidade material quanto ao acesso às tecnologias, mas um Fab Lab pode ser visto como um conceito que visa extrapolar o universo do conhecimento pelo viés da sua aplicação voltada ao bem comum e ao conhecimento em rede a fim de gerar bens e serviços não suportados pela indústria local e impulsionados pelo design através da inovação, fruto de estudos sobre processos direcionados a esse objetivo. As tecnologias em um laboratório acadêmico de fabricação digital nessa concepção devem ingressar numa dimensão maior do que a instrumentalidade técnica, uma distopia comumente compartilhada à ideia de função e à própria imersão irrefletida no cotidiano de uso na era digital.

Para o processo de implantação de um Fab Lab há uma lista recomendada de recursos disponibilizada pela organização *Fab Foundation*²³ que inclui algumas tecnologias para fabricação como um “padrão” (*The Fab Charter*) fornecido para ingressar no *Fab Academy*²⁴, um modelo educacional distribuído localmente em que “estudantes aprendem em grupos de trabalho locais, com colegas, mentores e máquinas, que são então conectados globalmente por compartilhamento de conteúdo e vídeo para aulas interativas” (*Fab Academy*, 2018). Nas informações disponibilizadas na web pela *Fab Foundation* também enfatizam como missão democratizar o acesso às ferramentas e ao conhecimento para educação e invenção incentivando a abordagem de código aberto (*opensource*) como instrumento importante para esse objetivo. A justificativa para um padrão de tecnologias em um Fab Lab reside na necessidade de publicização e replicabilidade dos projetos promovidos pela rede de conhecimento.

A descrição tipológica e fabricantes recomendados de tecnologias usadas bem como os objetivos a serem alcançados por um Fab Lab disponibilizados publicamente na web é uma importante fonte de informações sobre como configurar laboratórios direcionados à materialização para o projeto. O acesso a esse conhecimento auxilia o “*setting*” de tecnologias para a implantação de laboratórios que podem não ter como objetivo se tornar

23 Disponível em <http://www.fabfoundation.org/index.php/the-hardware-and-software/index.html>. Acesso em novembro de 2017.

24 Disponível em <http://fabacademy.org/>. Acesso em novembro de 2017.

parte da rede *Fab Academy* em que parte das atividades desenvolvidas nesses lugares devem promover o conhecimento aberto ao público com participação de equipe multidisciplinar como modelo educacional.

Daí a existência dos laboratórios acadêmicos para fabricação digital que podem fazer parte ou não da rede Fab Lab como no estudo de caso apresentado sobre os laboratórios Pronto 3D em Santa Catarina/Brasil. O Pronto 3D da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) é o único laboratório da rede, até o momento, inserido na plataforma Fab Lab, pois entre suas atividades encontra-se o cerne de modelo educacional aberto apresentado por atividades como o ProntoKids, oficina adaptativa de recursos lúdicos acessíveis, e a participação em ações comunitárias extramuros possibilitadas por um laboratório móvel e em *workshops* promovidos pela instituição de ensino público.

As tecnologias presentes em um laboratório de fabricação digital são definidas na pesquisa como um conjunto de recursos de *hardware* e *firmware*²⁵ que dão suporte à concepção de projetos em laboratórios que incluem equipamentos CAM²⁶ comercialmente disponíveis como máquinas cortadoras a laser, cortadoras de vinil (plotter de corte), fresadoras de controle numérico computadorizado (Routers CNC), impressoras tridimensionais (3D) e também hardware adaptado como máquinas de moldagem a vácuo fabricada sob medida (*vacuum forming*) etc.

Poucos estudos sobre as características das tecnologias aplicadas à materialização são encontrados em bibliografia e em bancos brasileiros de teses sobre o tema como o de Pupo (2009) que fala sobre a dificuldade em definir termos pela falta de consenso entre os autores da área e da diversidade de definições e enfoques encontrados sobre o assunto e, a partir de recorte de definição com autores relevantes à área de pesquisa, utiliza os termos mais usados: Prototipagem Rápida (sobreposição de camadas) e a Fabricação Digital (produção de fôrmas ou peças finais com equipamentos de CNC²⁷) (PUPO, 2009).

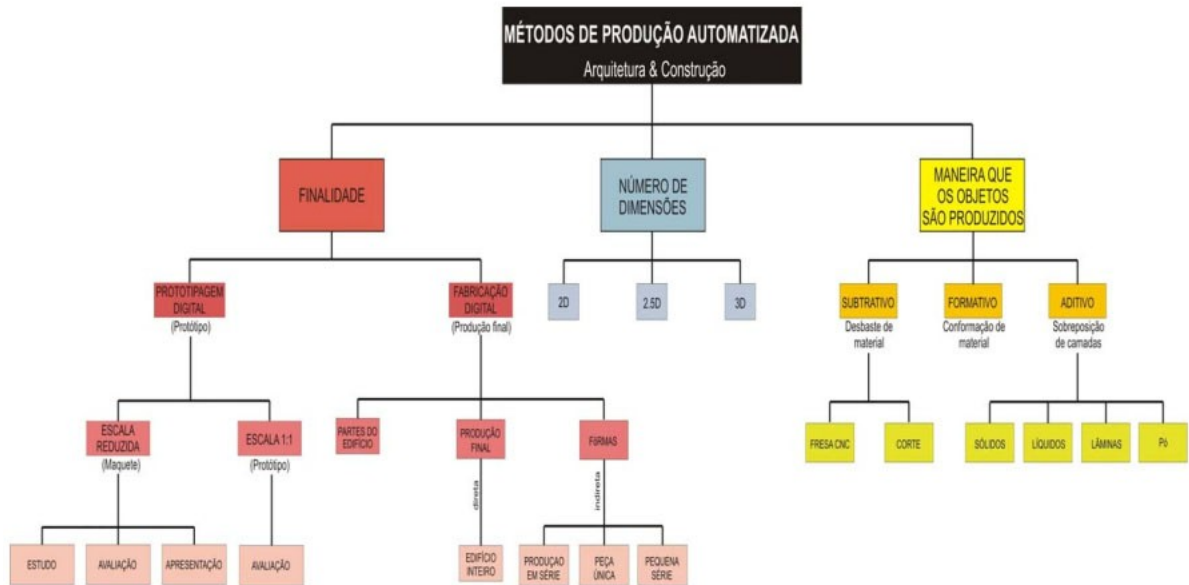
Pupo (2009) apresenta uma categorização dos métodos de produção automatizada que envolve essas tecnologias quanto ao número de dimensões (2D, 2.5D e 3D), quanto à sua finalidade (em escala reduzida e em escala 1:1) e quanto à maneira como os objetos são produzidos com estudo de uso voltado a arquitetura e construção (Figura 18).

25 Conjunto de instruções operacionais que são programadas diretamente no hardware de equipamentos eletrônicos

26 *Computer-Aided Manufacturing* – Fabricação Assistida por Computador.

27 *Computer Numeric Control* – CNC.

Figura 18 – Métodos de produção automatizada para arquitetura e construção



Fonte: PUPO (2009)

Há processos que caracterizam o método de produção quanto ao número de dimensões (Figura 18): em duas dimensões (2D) como as cortadoras de vinil, “que cortam apenas papel ou outros materiais maleáveis e finos”, e as cortadoras a laser, “que trabalham com uma variedade maior de materiais (MDF, acrílico, cortiça, papelão, etc.), em espessuras maiores”; em duas dimensões e meia (2.5 D) com fresas de controle numérico com um eixo que podem “esculpir figuras planas e executar relevos, porém não é capaz de produzir modelos tridimensionais complexos” e em três dimensões (3D) “fresas de três, quatro ou cinco eixos ou um sistema de impressão 3D são considerados efetivamente métodos tridimensionais” (PUPO, 2009, p.58 e 59).

Os métodos de produção quanto à finalidade podem ser por prototipagem em escala reduzida para estudo, avaliação e apresentação com o uso de maquete ou em escala real (1:1) para avaliação do projeto. O método de fabricação digital é direcionado à produção final ou objetos personalizados de peça única ou em série (PUPO, 2009). Essa categorização é bem específica à área de construção automatizada, campo onde amplamente é aplicada a fabricação digital. Estudos dessa natureza aplicado ao design ainda são incipientes. Normalmente encontramos aplicações relacionadas ao método de produção com tecnologias

para fabricação digital em estudo e avaliação de viabilidade de produtos sem menções a resultados de produtos finais voltados ao mercado de consumo.

Quanto à maneira que os objetos são produzidos cada método tem “propriedades e características próprias” (PUPO, 2009, p. 60). O método subtrativo se caracteriza pelo desbaste de material (e.g. Router CNC e corte a laser) e tecnologias como essa apresentam como vantagem a variedade de materiais que pode ser usada em sua forma natural como madeira e poliuretano²⁸ (PUPO, 2009). O método aditivo consiste na sobreposição de camadas de materiais “até que o objeto tridimensional seja formado”, e.g. impressoras 3D (PUPO, 2009, p.66). O método formativo é composto por tecnologias que permitem dobrar e encurvar chapas de diferentes materiais por meio aquecimento a fim de gerar moldes adaptáveis a diferentes formas (e.g. *vacuum forming*).

Os *hardwares* apresentados e que compõem (na maioria das vezes, visto que a inserção de componentes eletrônicos como Arduinos²⁹ já fazem parte do cotidiano de alguns laboratórios com *smart design*³⁰) o conjunto de tecnologias para fabricação em ambiente digital é um subsistema da complexidade que envolve laboratórios acadêmicos de fabricação digital como a rede Pronto 3D. Inseridos em um contexto educacional, as contribuições à pesquisa sobre sistema CAD/CAM à área voltada ao projeto apresenta suas melhores referências de aplicação e reflexão pelo viés do modelo Fab Lab, uma vez que ainda não foram encontrados estudos relacionados a esses espaços especificamente.

Segundo Diez (2012), o que chamamos de “fabricação digital” ainda não existe. A fabricação digital ‘total’ passa pela possibilidade de programar a matéria em escalas que não são visíveis ao olho humano para explorar a eficiência energética, a sobrevivência e evolução das condições dessa sobrevivência enquanto características da motivação humana. A facilidade com que acessamos a informação digital para operar máquinas controladas por computador que executam códigos especificando coordenadas e instruções para subtrair, adicionar ou deformar materiais em diferentes estados físicos está mudando o panorama da geração e compartilhamento de conhecimento (DIEZ, 2012).

28 Polímero usado na fabricação de produtos que contêm espuma em sua composição.

29 Plataforma eletrônica (hardware), usada para gerar projetos eletrônicos interativos que trazem habilidades de computação física para pessoas não especializadas na área.

30 Projetos com sensores inteligentes, dispositivos / sensores portáteis, acessórios para dispositivos móveis inteligentes, roupas e acessórios inteligentes, Internet das coisas (IoT). *Smart Open Lab* é um exemplo desse contexto (<https://smartopenlab.com/>).

“A tecnologia sempre existiu e no passado isso foi chamado de ferramentas (...). Nós moldamos ferramentas, mas ferramentas também nos moldam, nem sempre da maneira que imaginamos ao projetá-las, ou não para o propósito em que foram criadas para servir. Uma ferramenta evolui, modifica e altera seu uso em relação ao usuário e há um forte relacionamento para trás e para frente durante esse processo”. (DIEZ, 2012, p. 458)

A geração e compartilhamento de conhecimento, por sua vez, possibilita uma fonte crescente de invenções que afetam a vida cotidiana das pessoas porque não estão localizados somente em universidades, empresas ou centros de pesquisa, coabitam em uma rede de servidores ligados à web. Essa dinâmica torna possível que um ambiente como o Fab Lab seja um organismo de autorreprodução ao permitir, através do acesso ao conjunto de tecnologias disponíveis, que novas tecnologias sejam produzidas por atores da sociedade que recebem um poder de ação incomparável através da distribuição em massa de conhecimento com base no modelo de inovação aberta altamente empregada em indústrias direcionadas à área de tecnologia (DIEZ, 2012; CAUTELA, PISANO e PIRONTI, 2014).

Pela perspectiva de inovação aberta os designers tornam-se intérpretes de fatores socioculturais que traduzem a visão, a pesquisa e os recursos inovadores propostos pela indústria em modelos viáveis. A relação entre fabricantes e designers que atribuía ao primeiro uma mera função de produção e ao segundo a atividade criativa parece limitar nessa perspectiva a compreensão de que a produção industrial está evoluindo em países desenvolvidos e modificando o papel do projetista no processo. A indústria moderna engloba modelos de autoprodução e uma “cultura de fabricação” onde usuários com diferentes tecnologias, incluindo a impressão 3D (método de produção aditivo), são capazes de fabricar produtos para uso próprio (CAUTELA, PISANO e PIRONTI, 2014).

Obviamente que todo processo de mudança inclui uma série de variáveis que operam de forma sistêmica em conjuntura política, econômica, tecnológica e sociocultural. Por exemplo, o aumento populacional e a diminuição de postos de trabalhos por causa da automação cada vez mais ampla de serviços podem ser considerados fenômenos que estimulam o papel do empreendedorismo de maneira global e os designers nessa nova ordem precisam deixar de ser um fornecedor de conceitos e *insights* criativos para a indústria para se tornar capazes de comercializar suas próprias produções projetadas e “feitas à mão”

(*handcraft*) com suporte de financiamento através de plataformas de *crowdfunding*³¹ e o incentivo à implantação de mentorias para gestão em centros acadêmicos de design para geração de *startups*³² em incubadoras voltadas ao design enquanto modelo de negócios possibilitados pela fabricação pessoal.

Os Fab Labs nesse cenário ajudam a desenvolver e testar protótipos das ideias de produtos que podem ser vendidos comercialmente, no entanto, uma parte importante desse processo ainda está na educação: os Fab Labs realizam *workshops* em escolas e em outros lugares em associação com universidades para educar os usuários sobre o conhecimento e as habilidades técnicas necessárias para serem os empreendedores do futuro. A inovação aberta nesse tipo de organização social opera com a desintegração da cadeia de processos de concepção, conceituação, engenharia, produção e vendas (CAUTELA, PISANO e PIRONTI, 2014).

Um Fab Lab tem como objetivo disponibilizar tecnologias digitais para quem quiser usá-los, aspirando a criar espaços onde diversas pessoas com um interesse comum (especialistas e não especialistas) possam se encontrar, compartilhar e aprender uns com os outros. Geralmente oferecem a oportunidade não apenas para colaboração, mas também para co-criação – definida como qualquer ato de criatividade coletiva, ou seja, compartilhada por duas ou mais pessoas – geralmente associada a ideias de aprendizado em rede e trabalho em código aberto (*opensource*) como já relatado.

Ainda são poucos os estudos acadêmicos que analisam o uso de tecnologias para fabricação digital em *workshops* e o potencial das atividades de co-criação dentro de uma configuração Fab Lab. Uma das poucas pesquisas encontradas sobre Fab Labs mostrou que a maioria desses laboratórios (não houve especificação da tipologia no estudo, se acadêmico, público ou privado) atrai principalmente pessoas com “boa formação educacional” e “interessadas em tecnologia” que buscam um espaço no qual possam “mexer” com tecnologias digitais. (FLEISCHMANN, HIELSCHER e MERRITT, 2016).

Troxler (2010, 2013 apud FLEISCHMANN, HIELSCHER e MERRITT, 2016) diz que esses laboratórios ainda “lutam para definir sua forma e propósito” (TROXLER, 2013, p.181 apud FLEISCHMANN, HIELSCHER e MERRITT, 2016) e que as atividades mais aparentes dentro da rede são baseadas na experimentação para fins de experimentação ou para

31 Plataformas online de financiamento coletivo.

32 Grupo de pessoas à procura de um modelo de negócios repetível e escalável, trabalhando em condições de extrema incerteza.

fazer algo apenas para usar as mais “novas” tecnologias de fabricação aditiva e subtrativa. Para os autores, é importante que os participantes tragam uma variedade de habilidades, entendimentos e disposição para explorar não apenas tecnologias de fabricação digital, mas também seu uso em um contexto de design e que ser capaz de traduzir aspectos em conceitos relacionados à área é tão importante quanto ter o conhecimento técnico ao utilizar os laboratórios como espaços para o pensamento sobre o projeto (FLEISCHMANN, HIELSCHER e MERRITT, 2016).

Nesse ponto, os laboratórios acadêmicos de fabricação digital cuja gênese normalmente é um espelhamento das diretrizes incentivadas pelo fenômeno Fab Lab são locais importantes para a pesquisa sobre a concepção, representação e materialização com conceitos voltados ao design, principalmente se observarmos que um Fab Lab não é um espaço, mas sim, um conceito definido pelo protagonismo dos seus usuários. O desafio nesse aspecto se estabelece em definir o porquê e de que maneira esses espaços podem nos fornecer dados para compreender a experiência material em design com processos digitais para produção denominado na pesquisa de **heurísticas da materialidade**.

2.2.3 Heurísticas da materialidade – Os caminhos dos artefatos em transição em ambiente digital

Definimos como heurísticas da materialidade o conhecimento armazenado pelo indivíduo sobre a própria experiência material (*making* – aprender fazendo “coisas”) recuperada pela memória com o uso de interfaces visuais e tácteis na manipulação incremental da imagem e direcionada ao processo do projeto durante a concepção, representação e fabricação de artefatos.

Esse conceito se apoia em duas abordagens: pela experiência material, através de estudos fenomenológicos que, normalmente, usam a narrativa descritiva como método para apresentar resultados sobre experiências vividas por indivíduos ou comunidades através da observação de um processo, e pela abordagem cognitiva usada para explorar atividades criativas no processo de design já explicitadas nos estudos de Suwa, Gero e Purcell (1998) sobre o raciocínio visual no desenho à mão livre e no design paramétrico (modelagem computacional) com Lee et al. (2015).

Através da análise dos padrões de ações cognitivas entre a representação inerente à atividade de design e o ambiente digital para representação e fabricação de artefatos, um conjunto de conceitos-chave, propomos uma análise de dimensão do processo de produção para mais além do material, alcançando o nível do simbólico de constituição de espaços de interação entre design e tecnologia voltada à criatividade e fabricação em ambiente digital como uma combinação produtiva e dialógica. Esses espaços de interação são estabelecidos “não por atributos recebidos, específicos de uma espécie ou de uma cultura, mas por realização produtiva” (INGOLD, 2015, p.31).

Ingold (2013) amplia o conceito sobre a realidade material e se apropria do termo *making* como uma nova abordagem teórica para a formação das “coisas”. Nesse lugar, as narrativas de uso das “coisas” são convertidas pela tecnologia em estruturas algorítmicas e essas mesmas estruturas são postas novamente em uso em atividades humanas e reincorporadas ao campo de ação definindo a palavra habilidade como a capacidade humana de improvisação e criatividade. A materialidade participa dos próprios processos de geração e regeneração em curso no mundo, dos quais “coisas” são subprodutos impermanentes.

Crítico da cultura material que se concentra nos processos de consumo e não de produção e que toma como ponto de partida um mundo de objetos que, por assim dizer, já se cristalizou a partir dos fluxos de materiais e suas transformações sendo sufocado e acalmado, para Ingold (2015), o mundo material só retorna se colocado fisicamente em movimento e as propriedades dos materiais não podem ser identificadas como atributos fixos e essenciais das coisas, mas sim processuais e relacionais. Não são nem objetivamente determinados nem subjetivamente imaginados, mas praticamente experimentados (INGOLD, 2015).

A mudança dos paradigmas de produção promovida pelo fenômeno Fab Lab através democratização do acesso à prototipagem rápida e fabricação digital apresenta uma passagem possível de uma cultura industrial para uma cultura de experiências. Os valores subjetivos e experimentais da era pós-moderna associados aos objetivos de controle preestabelecidos e de aplicação racional da era moderna tornam-se uma conjuntura de todas as interações e interconexões possíveis de um processo de produção contínuo de globalização, heterogeneidade, pluralismo e multiculturalismo.

Esse movimento paradigmático e ainda difuso quanto ao seu futuro no Brasil remete-nos à história da teoria dirigida para uma tecnologia alternativa proposta por Papanek e Sachs (MORAES, 2006). A teoria de Papanek e Sachs obtiveram um maior espaço no Brasil e seus

modelos de desenvolvimento sustentável tornaram-se referência no país, pois redefiniam a própria estratégia de desenvolvimento suscitando questões polêmicas à época como a exclusão da indústria convencional no processo de desenvolvimento tecnológico e no design dos países definidos historicamente como de Terceiro Mundo. Suas ideias evidenciavam a responsabilidade social da indústria e a questão ética do designer e foi levada como instrumento de protesto contra o modelo “colonialista industrial” predominante. No entanto, à época, o produto como resultado final da teoria da tecnologia alternativa apresentou “características de segunda ordem quando confrontado com os artefatos industriais que apresentam maiores qualidades tecnológicas” sendo, por isso, chamado de design póvero (MORAES, 2006, p.115).

Segundo Moraes (2006), outro efeito indesejado ao ser adotado por mais de dez (10) anos esse modelo no Brasil foi a distância da realidade da produção industrial nos moldes da modernização mundial dificultando o ingresso dos novos graduados no mercado de trabalho. Por esses motivos torna-se importante compreender, inicialmente, como a cultura da experiência pela fabricação digital, do aprender fazendo coisas (*making*), se revela ao processo de design, considerando o acesso aos métodos de produção proposto pelo fenômeno Fab Lab e constituído por um padrão tipológico de tecnologia aplicada à materialização de protótipos e de produtos finais, por sua vez presentes em ambientes acadêmicos nas áreas de arquitetura e design.

A análise sobre experiência material através do desenho experimental proposto na pesquisa tem seu fundamento no estudo fenomenológico da produção material e no estudo ontológico da materialidade objetiva centrada em processos de formação do artefato em ambiente digital ao invés do produto final pelos “fluxos e transformações criativas ‘para frente’ enquanto uma reunião improvisada com processos formativos em vez de ‘para trás’ enquanto abdução, a partir de um objeto acabado” (INGOLD, 2012, p.27).

A perspectiva fenomenológica está interessada propriamente na experiência dos sujeitos com os métodos de produção no uso da prototipagem rápida e fabricação digital, nas palavras de Pallasmaa (2013) “a entidade da experiência é percebida como um todo coerente e significativo, constituído por imagens perceptíveis e memoráveis”. Pela perspectiva ontológica tenta reconhecer os processos implicados na causação de uma experiência em ambiente digital através das categorias sobre o raciocínio visual em ações cognitivas identificadas durante a atividade de design para a produção de artefatos à medida que “o

sentido da visão pode incorporar e até mesmo reforçar outras modalidades sensoriais; o ingrediente tátil inconsciente que existe na visão é particularmente importante” (PALLASMAA, 2011, p.25).

Pelos estudos apresentados, o ambiente digital voltado à expressão criativa e à produção física de artefatos no contexto do projeto está sendo construído como resposta ao que significa criar e produzir em design no século XXI. O processo de democratização de métodos de produção com padrões aproximados aos utilizados na indústria permite a multiplicação infinita do sentido dos artefatos e torna-se, na prática, um tipo de desaparecimento, já que sua fixidez é perdida em nome das múltiplas possibilidades que a contemporaneidade abre com a perda da universalização da permanência e estabilidade desses artefatos em uma sociedade que reclama para si o protagonismo produtivo na era digital.

O cerne dessa mudança para o código binário inserido na relação design e tecnologia é destacada por Bonsiepe (2015) com o deslocamento do uso dos computadores por usuários especialistas para usuários não especialistas como um divisor de águas ao papel do design centrado na indústria. A passagem da matéria, enquanto elemento concreto da ideia por trás dos algoritmos computacionais necessitava de uma comunicação por meio de um sistema de símbolos que se adequasse a usuários que “não fossem cientistas com formação em ciências exatas” (BONSIEPE, 2015, p. 13). Surge desse contexto a persona do usuário tal como a conhecemos e sua relação com o design de interface, a passagem do material para o digital mencionado no título de sua obra (BONSIEPE, 2015).

Seu argumento não versa apenas sobre o surgimento do termo design de interface, “como um meio através do qual as pessoas e o computador se comunicam” (BONSIEPE, 2015, p. 22) e da necessidade de uma nova expertise para o design, preocupada em captar a essência da comunicação no projeto de componentes gráficos (algoritmos visuais) e de regras (convenções) para lidar com esses componentes. Também há reflexões sobre a necessidade do trabalho cognitivo (enquanto forma de aquisição do conhecimento) e organizado que influenciam o design tanto quanto os aspectos perceptivo e estético. Para Bonsiepe (2015) a interface é o acoplamento estrutural³³, ou seja, o espaço heterogêneo da condição de existência entre “corpo, ferramenta (objeto ou signo) e objetivo da ação” (BONSIEPE, 2015, p. 111). Cabe dizer que esse acoplamento não provém de estruturas estáticas e sim das

33 Bonsiepe (2015) se apropria do termo acoplamento estrutural de Maturana & Varela (2001) como forma de resumir a ideia que os indivíduos são sempre influenciados e modificados por aquilo que experimentam.

dinâmicas de interação como uma condição de existência entre esses componentes (INGOLD, 2015).

Na contemporaneidade, gerar regras transformando-as em algoritmos visuais torna-se a essência da criatividade do design no ambiente digital. Daí a sua passagem para a matéria com a fabricação digital disponibilizando tecnologias acessíveis a artistas, arquitetos e designers em uma relação de independência criativa da indústria (KOLAREVIC, 2003). Para Kolaveric (2003) o design concebido como um processo de manipulação de representações da forma através do desenho ou da modelagem computacional é um elemento fundamental para entender o processo de design no ambiente digital. O autor defende que a representação de design, conceito tão central em modelos tradicionais à área de conhecimento, não é mais um conceito válido para entender processos de design digital.

O papel tradicional de “designer como usuário” é estendido para “o designer como um construtor de ferramentas” no design digital. No entanto, argumentamos que essa construção não se opera somente sobre um domínio de linguagem computacional sendo necessária uma reflexão sobre toda materialidade envolvida no processo de design que parte da ideia à fabricação do artefato enquanto sínteses de processos de design.

A ideia do designer “pensando através de seu desenho” era central para o processo de concepção em design durante muito tempo. O design concebido como um processo de manipulação de representações formais, por meio de desenho ou modelagem, tem sido fundamental para a compreensão do projeto. Este princípio de geração é um processo que leva ao “surgimento da forma” e está atualmente impulsionando a mudança da “criação de formas” para a “descoberta de formas” (KOLAREVIC, 2003). Outro aspecto fundamental que deve ser reconsiderado, segundo o autor, é o novo papel atualmente reconhecido como uma nova habilidade que caracteriza o designer em ambiente digital, no entanto, o domínio preconizado da linguagem técnica voltada à expressão criativa está sujeito a realidades locais de formação educacional e de acesso à tecnologia.

Forma e matéria são elementos constitutivos de um pensar e de uma maneira de fazer que são indissociáveis no processo de criação em uma atividade de design. Existem formas que valorizam a matéria, assim como existem materiais que valorizam a forma. Para além do elemento material, um conjunto de conhecimentos vinculam a produção de artefatos ao mundo da percepção, da representação e de valores dos agentes nesse processo, o que

evidencia a necessidade em entender como o humano é afetado pelo ambiente em termos dos elementos formais e materiais que compõe o processo criativo nessas condições.

Apesar de árduo defensor da “conexão entre olhos, mãos e mente”, Pallasmaa (2013) critica as práticas pedagógicas e profissionais na era da informática que, em seu ponto de vista, subestimam essa conexão. A inserção da tecnologia à atividade criativa e produtiva própria ao design precisa estar despida de preconceitos e para isso resgatamos como princípio a crítica projetiva de Feenberg (2003) segundo a qual as tecnologias modernas não podem ser percebidas como puramente instrumentais e desvinculadas do tempo, do ambiente em que funcionam e do usuário que as utiliza. Como diz Feenberg (2003), “a ilusão da tecnologia é a ignorância deste princípio”. Feenberg (2010) defende duas ideias: 1) a democratização do processo de design dos objetos técnicos e 2) a reinvenção dos designs já constituídos. Para o autor o “design técnico” é contingente, um entre outros possíveis, socialmente determinado e não neutro a valores tornando os objetos um constructo social.

Portanto, as interações da ação técnica a partir desse princípio de relação são efeitos colaterais causais da tecnologia que gera as mudanças de seu significado no tempo, no ambiente e no usuário. Nessa perspectiva o conhecimento técnico e a experiência se tornam complementares, mas é a experiência que corrige os erros e simplificações gerando a mudança tecnológica e fechando o círculo do paradoxo da ação: o que vai, volta.

Pela ótica da crítica projetiva de Andrew Feenberg (2003) e a defesa fenomenológica da “conexão entre olhos, mão e mente” de Pallasmaa (2013) estabelecemos o marco para aplicação na pesquisa propondo um desenho experimental associado a métodos que possam avaliar conceitos de design já pesquisados em estudos sobre o raciocínio visual na representação de artefatos e conferir, na sua relação com tecnologias para fabricação, como se dá a reflexão sobre a materialidade, próprio do fenômeno Fab Lab, em laboratórios acadêmicos para fabricação digital.

A metodologia utilizada no desenho experimental, bem como as considerações teóricas apresentadas no capítulo a seguir foram fundamentais para o conceito que denominamos aqui de heurísticas da materialidade. É um conceito que somente pôde ser sintetizado a partir do experimento proposto e da análise de seus resultados que possibilitaram ampliar a interpretação do raciocínio visual ao que chamamos de fluxo da experiência material presente no ambiente de fabricação digital e descrito nesse capítulo.

3 FLUXO DA EXPERIÊNCIA MATERIAL DO DESIGN DO DIGITAL AO MATERIAL

Os métodos utilizados para a construção da pesquisa, fundamentos teóricos, as técnicas utilizadas para coleta de dados e análise de resultados foram baseados na Teoria Fundamentada (ou *Grounded Theory*) a partir da abordagem construtivista de Charmaz (2009). Segundo Charmaz (2009), a abordagem construtivista “refere-se a descobrir como, quando e até que ponto a experiência estudada está inserida em posturas, redes, situações e relações mais amplas e, muitas vezes, ocultas” (CHARMAZ, 2009, p.179).

Suas diretrizes sistemáticas, por serem flexíveis, permitiram uma postura reflexiva em relação ao processo e à produção da pesquisa e foram capazes de fornecer um conjunto de princípios gerais e dispositivos de descoberta nos quais os dados foram construídos por meio de observação, da interação dos participantes de pesquisa com o ambiente estudado a partir do experimento proposto com registros audiovisuais e dos materiais reunidos e analisados através de entrevistas e do estudo bibliográfico sobre o objeto da pesquisa, a experiência material em laboratórios acadêmicos de fabricação digital.

Os dados obtidos pelo uso de análise de protocolo verbal foram transcritos e segmentados por “movimentos de design” (GOLDSCHMIDT & WEIL, 1998) e, por sua vez, categorizados em uma visão integrada dos estudos sobre o raciocínio visual (SUWA, GERO & PURCELL, 1998) no desenho à mão livre e na modelagem computacional (LEE et al., 2015). O tratamento desses dados foi realizado através do software para análise qualitativa conhecido como Nvivo com o objetivo de estudar a relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade em laboratórios de fabricação digital PRONTO 3D em Santa Catarina.

3.1 Metodologia da pesquisa

A metodologia apresenta as estratégias utilizadas para os procedimentos para a coleta de dados ou de informações (entrada) e de tratamento dos resultados através de procedimentos específicos e das informações esperadas (saída). Nesse ponto apresentamos seu delineamento em linhas gerais para, em seguida, aprofundar a análise sobre os procedimentos adotados nessa pesquisa e seus resultados.

Visando explorar as singularidades dos sujeitos de pesquisa no contexto complexo que envolve conhecimentos associados aos estudos cognitivos relacionados às técnicas de modelagem computacional e tecnologias para fabricação digital foi utilizado o método do protocolo verbal *think aloud*³⁴, um dos métodos mais amplamente utilizados para analisar a cognição em design de acordo com estudo bibliométrico realizado por Chai & Xiao (2011) e que consiste em solicitar a um indivíduo que verbalize suas ações enquanto realiza uma tarefa ou resolve um problema (VAN SOMEREN, BARNARD & SANDBERG, 1994).

Esse método se baseia em tamanhos relativamente pequenos de amostras e aplica um esquema muito detalhado e complexo de codificação da verbalização para desenvolver uma vasta gama de informações sobre um processo que está sendo gravado e/ou observado (LEE et al., 2015).

Designado por Cross (2006) como “modos de conhecer do designer” no qual os objetos são uma forma de conhecimento sobre como satisfazer determinados requisitos e/ ou sobre como executar determinadas tarefas, a análise de protocolo verbal busca investigar a natureza da cognição acionada pelo designer.

Para Lloyd et al. (apud COLLINS et al., 2010) a análise de protocolo apresenta algumas limitações como método de pesquisa para investigar a atividade de design – por exemplo, é extremamente frágil na captura de processos de pensamento não verbais, que são tão importantes no trabalho de design. Dorst e Cross (apud COLLINS et al., 2010) concluíram do *Delft Design Protocols Workshop* que a análise de protocolo fornece uma técnica de pesquisa muito importante, mas altamente específica, capturando alguns aspectos do pensamento de design detalhadamente, mas não abrangendo realidades mais amplas do design em seu contexto.

Dois tipos de abordagens de análise de protocolo foram desenvolvidas: concorrente e retrospectiva. Nos protocolos concorrentes, os sujeitos são obrigados a projetar e verbalizar pensamentos simultaneamente, enquanto em protocolos retrospectivos, os sujeitos são solicitados a projetar primeiro e depois reportar retrospectivamente os processos de projeto com ou sem os recursos visuais fornecidos gravações de áudio e vídeo documentando seu próprio processo de projeto (GERO & TANG, 2001).

Normalmente os pesquisadores em design escolhem uma ou outra abordagem a depender dos seus objetivos. Geralmente, os protocolos concorrentes, também chamados de

34 Pensar em voz alta

método *think aloud* (pensar em voz alta), têm sido utilizados ao se concentrar no aspecto de projeto orientado a processos que por sua vez refletem a memória de curto prazo do designer e revelam detalhes de sequências de processos de informação uma visão proposta por Simon (1992 apud GERO & TANG, 2001). Já os protocolos retrospectivos recuperam pistas dos processos cognitivos precedentes e revelam informações parcialmente preservadas na memória de curto prazo e parcialmente armazenadas na memória de longo prazo, preocupando-se com a noção de reflexão na ação proposta por Schön (1995 apud GERO & TANG, 2001).

Segundo Gero & Tang (2001) as características da memória humana podem prejudicar seriamente os resultados, de modo que os dados recuperados da memória de longo prazo podem ter detalhes omitidos ou podem ser gerados pelo raciocínio, e não pela recordação, esse é um aspecto a se considerar ao ser utilizada a abordagem retrospectiva.

Em relação à segmentação dos dados resultantes de uma análise de protocolo verbal, Ericsson e Simon (1993, p. 205) afirmam que “as pistas apropriadas são pausas, entonação e também marcadores sintáticos”. Perry e Krippendorff (2013) observam que Ericsson e Simon (1993 apud Perry e Krippendorff, 2013) ao assumir que esses critérios sejam objetivamente identificáveis não preveem problemas de confiabilidade em relação a essa etapa da análise, bem como não mencionam critérios não-sintáticos, que são importantes na pesquisa sobre design.

Krippendorff (2004) reconhece a dificuldade de alcançar alta confiabilidade ao analisar a matéria textual considerando-a um desafio e sugere que “a complexidade matemática de analisar o texto unitizado variável, enquanto um obstáculo inquestionável para replicar a pesquisa, não é justificativa para criar o cisma metodológico entre as abordagens quantitativa e qualitativa para analisar a matéria textual”.

Nesse mesmo artigo argumenta que o uso de software de análise de texto auxiliado por computador traz uma precisão computável à pesquisa qualitativa que até então não estava disponível para pesquisadores qualitativos tradicionais, como por exemplo, o software Nvivo, utilizado nessa pesquisa, no entanto, ainda há a necessidade de desenvolver instruções de codificação fora desses auxílios de computador que poderiam ser seguidos por vários analistas de texto para produzir dados comparáveis que poderiam lançar luz sobre a confiabilidade dos dados no processo.

Por essa razão, o escopo ora apresentado apresenta os caminhos adotados e revisados das pesquisas sobre raciocínio visual como medida para ampliar a validade e confiabilidade dos dados coletados a partir da lógica da replicabilidade científica, mas atenta às particularidades de um contexto que envolve o local de estudo, a rede de laboratórios acadêmicos Pronto 3D, considerando-o homogêneo quanto ao acesso aos processos digitais de fabricação e heterogêneo quanto ao conhecimento individual (experiência material) sobre as técnicas utilizadas para a modelagem computacional de artefatos por parte dos participantes da pesquisa.

Pesquisas sobre raciocínio visual em ambientes digitais para concepção, representação e fabricação de artefatos ainda são pouco exploradas e por isso mesmo, consideradas significativas para os estudos sobre representação em design ampliando seu campo de estudo para a compreensão da relação entre a materialidade – fluxo dos materiais e suas transformações (INGOLD, 2015) - nos processos de fabricação digital através da análise do raciocínio visual durante o processo do projeto em ambiente digital para concepção de artefatos. O ambiente digital, seja no uso de técnicas para o processo criativo, seja na produção de um artefato, é discutido não pelo ponto de vista instrumental da tecnologia, mas sim como uma forma de pensar que altera a compreensão do design e do designer.

O critério adotado na pesquisa para unificar/ segmentar transcrições de processos de projeto foi definido por Goldschmidt & Weil (1998, p. 90): “um elo entre dois movimentos é estabelecido quando os dois movimentos pertencem ao mesmo assunto, ou intimamente relacionado”, considerado por Perry e Krippendorff (2013, p. 618) “uma ferramenta valiosa para investigar o processo de design” como conceito qualitativo. A análise desses segmentos por sua vez está associada às categorias de raciocínio visual produzidas por Suwa et al. (1998) e Lee et al. (2015) em pesquisas sobre o estudo da criatividade na representação em desenho à mão livre e em design paramétrico e descritas no segundo capítulo.

Portanto, nessa pesquisa, lança-se mão de uma amostra não probabilística e presumivelmente homogênea em termos de conhecimento de design e ao acesso ao ambiente digital para a criação e produção de artefatos apresentadas no estudo de caso no intuito de explorar em profundidade os fenômenos associados ao raciocínio visual e projetivo em participantes de pesquisa que compartilham traços similares em função da experiência pessoal em laboratórios acadêmicos de fabricação digital (SAMPIERI, COLLADO & LUCIO, 2013).

3.1.1 Pré-teste: Definições para a condução da pesquisa

As considerações cognitivas são de grande relevância para esse tipo de trabalho. Desenvolver meios capazes de emular as capacidades cognitivas dos designers participantes para realizar o estudo sobre o raciocínio visual durante o processo de concepção de artefatos a fim de explorar essa interação com o ambiente material dos processos de fabricação digital é um desafio e a necessidade de avaliar essas condições foi de extrema importância.

Através de pesquisas empíricas, pesquisadores puderam observar a maneira como os designers interagem, modificam e alteram classes de representações no design e alguns autores referem-se a esse processo como re-representação, explorando o termo que foi aplicado ao fenômeno cognitivo, bem como às capacidades cognitivas que tornam possíveis analisar estes processos complexos por estar fortemente associado a representações visuais (OXMAN, 1997, 1998; LINSEY et al., 2012).

As ações dos designers são mecanismos de alto nível baseados em heurísticas e suposições aprendidas com a experiência profissional e representar e manipular esse conhecimento tácito em ambientes computacionais continua sendo uma área aberta de pesquisa (BERNAL, HAYMAKER e EASTMAN, 2015). Eastman (2001, p. 6) afirma que a estrutura real que suporta a atividade de design é uma representação interna na mente do projetista e que as representações externas são estruturas auxiliares a essa representação. A formalização de um projeto através de um modelo gerado em sistemas computacionais não corresponde necessariamente à complexidade de todo o projeto.

Cientes dos limites que toda metodologia apresenta, os argumentos para a definição da amostra, instrumentos para a coleta de dados e para sua análise subsequente levou em consideração não somente pesquisas preliminarmente feitas sobre o raciocínio visual durante o processo de projeto em design, como também o que pôde ser observado durante pré-teste executado para a pesquisa considerando os ambientes contemporâneos de design, como os laboratórios acadêmicos de fabricação digital, influenciados por contextos físicos, cognitivos e socioeconômicos.

Há consciência de que métodos adotados como a análise de protocolo verbal continuam em um caráter evolutivo de discussões científicas sobre sua aplicação e ainda não há estudos aprofundados sobre todas as vantagens e desvantagens no uso de análise de protocolo em relação às abordagens adotadas enquanto concorrente (*Think Aloud* – pensar em

voz alta) e retrospectiva, esperamos que, com a pesquisa, possamos também contribuir para esse conhecimento.

Os estudos aplicados com o método do raciocínio visual por Suwa, Gero e Purcell (1998) e Lee et al. (2015) exploraram os dados de ações cognitivas a partir de um problema de design definido pelos pesquisadores e a ser resolvido pelos participantes. Esse aspecto para um estudo de natureza comparativa é de extrema importância, uma vez que seja considerado que tenham a experiência e o conhecimento desejados e consonantes para a realização da atividade de design proposta para estudo. Com foco no ambiente digital para a fabricação, estudo ainda não explorado pelo método do raciocínio visual, as abordagens definidas para o projeto experimental dessa pesquisa levou em consideração eliminar efeitos indesejados que pudessem interferir negativamente nas percepções dos participantes durante o processo.

Questões sobre a definição de um problema de design foram colocadas a partir da perspectiva de Dorst (2003, p.2) em que “o conhecimento sobre a estrutura de problemas de projeto também é importante para aprofundar nossa compreensão do design”. Dorst (2003) considera que encontrando uma maneira de rastrear a estrutura de um problema de projeto torna possível compreender como os designers lidam com esses problemas de forma mais detalhada, pois essa combinação pode ampliar o entendimento sobre o porquê eles tomam as ações que por sua vez estão sendo observadas.

Se a modelagem física, nesse caso, a fabricação digital, é uma maneira pela qual os designers percebem conceitos mentais (CUFF, 1992 apud SASS e OXMAN, 2006), realmente podemos supor que essa relação mediada está menos centrada nas características das tecnologias de fabricação e mais na natureza da modelagem computacional no processo de design como tem sido afirmado? Para compreender essa relação entre as ações cognitivas e a experiência material no processo de design no âmbito de um laboratório de fabricação digital estabelecemos aos participantes da pesquisa um problema de design aberto, segundo Dorst (2003), essa “abertura” de um problema de design é chamada de subdeterminação de problemas de projeto. Distinguem-se duas maneiras em que um problema de projeto é subdeterminado, uma delas é que necessidades, exigências e intenções e estrutura pertencem a mundos conceituais diferentes (MEIJERS, 2000 apud DORST, 2003).

O objetivo em utilizar um problema de design aberto foi de observar, pela ótica do designer, o que foi considerado como um problema de design; as ações tomadas por este para

a sua solução e a escolha para o uso das técnicas e tecnologias do ambiente digital voltado ao processo de concepção, representação e fabricação de artefatos.

Outros elementos ingressam para a adoção um problema aberto de design no pré-teste e que se manteve no experimento propriamente dito e que pôde ser verificado após, a habilidade e conhecimento sobre o que envolve o ambiente digital voltado ao design por parte dos participantes, que definimos como experiência material. A resposta a uma situação específica e a imediata ação apropriada à solução do problema foi de grande relevância para a determinação das características identificadas a partir da amostra envolvida na pesquisa, por essa razão o modelo de problema aberto buscou estabelecer condições tanto para o uso da abordagem retrospectiva quanto concorrente para análise de protocolo verbal.

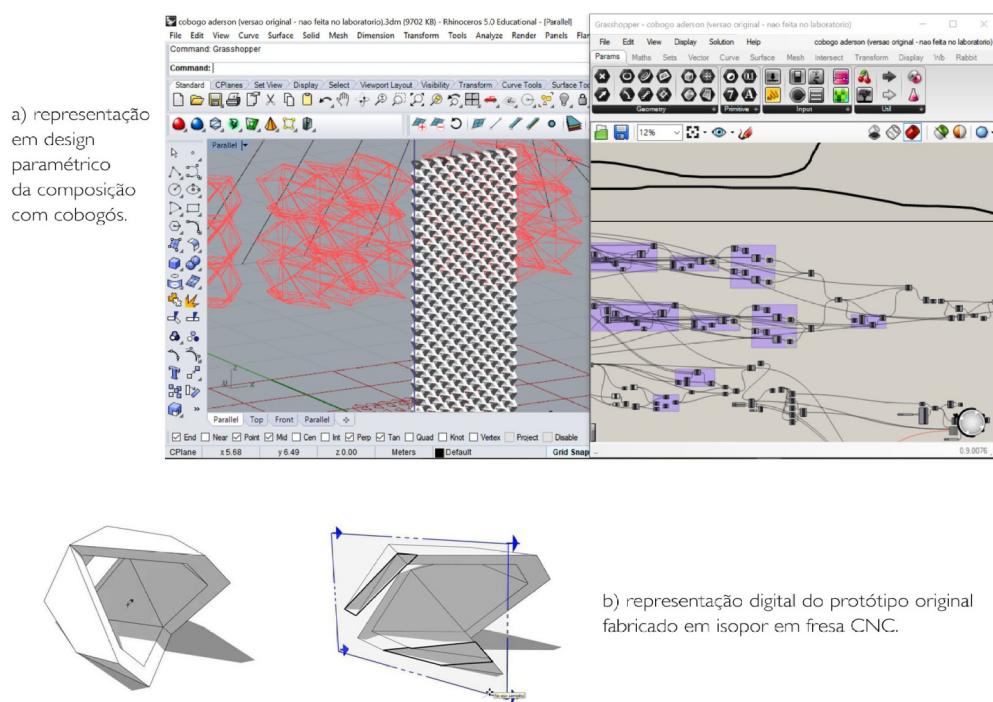
Pelo viés da abordagem retrospectiva, o participante resolveu um problema de design em um determinado momento e sua narrativa, pela memória de longo prazo, evoca pontos-chave do processo e pela abordagem concorrente durante o processo de re-representação do artefato gerado, em memória de curto prazo, que pode gerar uma reflexão sobre novas ações durante o processo de concepção e fabricação em ambiente digital.

Observamos durante a fase pré-teste essas condições. Se colocaram como participantes voluntários dessa etapa dois bolsistas da área de arquitetura e que atuaram em projeto de extensão voltado ao estudo sobre fabricação digital proposto pelo LED – Laboratório de Experiências Digitais – vinculado ao Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Design, na Universidade Federal do Ceará.

O pré-teste foi importante para determinar não somente a análise de protocolo verbal mais adequada ao objetivo da pesquisa. Também foram identificados problemas que poderiam afetar a coleta de dados durante o experimento. Relatamos a seguir as observações que determinaram a metodologia proposta.

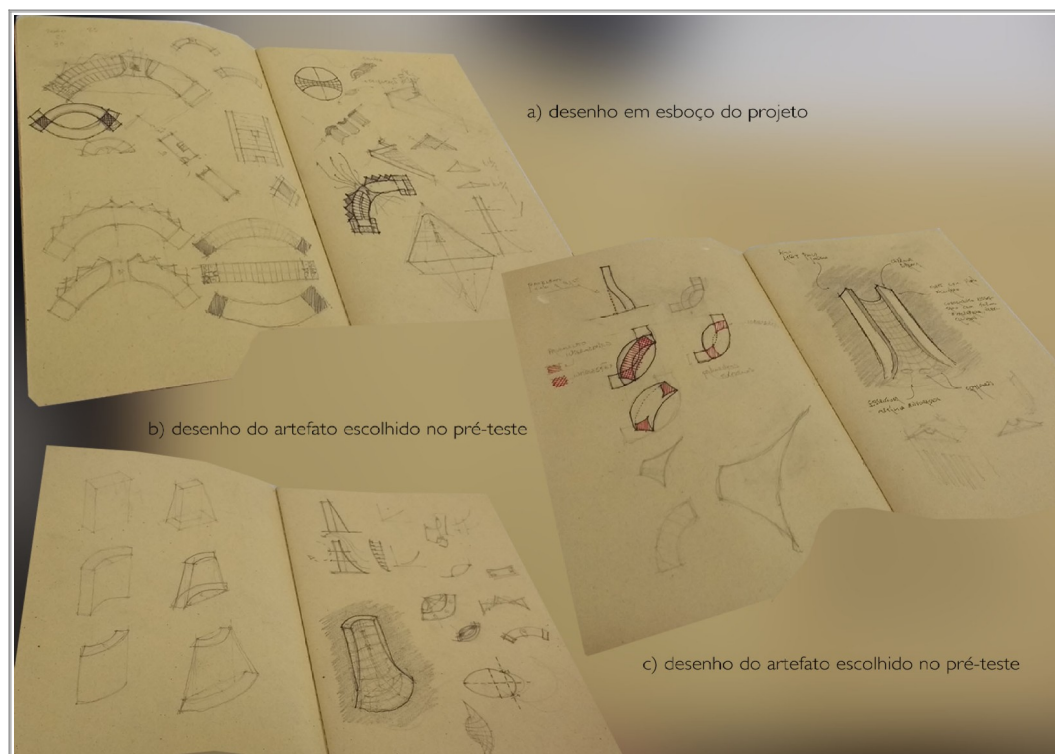
As condições para o problema “aberto” de design dadas aos participantes do pré-teste consistiu na possibilidade de gerar um artefato a partir de uma revisita a um projeto já executado ou de um artefato nunca antes concebido pelo participante em ambiente digital para sua concepção e fabricação. Um dos participantes definiu seu problema a partir de uma revisita a um projeto anteriormente executado, cobogó (Figura 19), e outro participante propôs, a partir de estudos preliminares em desenho à mão livre de um projeto a ser executado (Figura 20), realizar a concepção e fabricação de uma das suas estruturas arquitetônicas.

Figura 19 – Revisita a um projeto já executado em modelagem paramétrica e fabricação digital.



Fonte: imagens cedidas pelo participante da pesquisa.

Figura 20 – Estudos preliminares em desenho à mão livre de estruturas arquitetônicas de projeto nunca executado em modelagem paramétrica e fabricação digital.



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal com imagens cedidas pelo participante da pesquisa.

Não foi determinada nessa fase da pesquisa o uso de qualquer técnica para a concepção dos artefatos gerados. Os participantes decidiram voluntariamente por utilizar a técnica de design paramétrico com o uso dos *softwares Rhinoceros e Grasshopper* para a concepção do artefato. A liberdade na escolha do processo de concepção em ambiente digital, nesse caso, o uso de modelagem geométrica ou modelagem paramétrica foi um critério considerado pelo motivo já exposto anteriormente, ou seja, a pressuposição de uma homogeneidade no conhecimento sobre técnicas para o processo criativo poderia incorrer na inviabilidade da pesquisa, uma vez que são áreas de conhecimento recente e que podem ou não estar presentes em componentes curriculares de ensino em arquitetura e design. Como o foco do experimento estava voltado a conhecer a relação entre o raciocínio visual e a experiência material em ambiente digital, foi mister estabelecer uma zona de conforto cognitivo aos participantes.

O tempo exato para a execução do pré-teste pelos participantes não foi determinado nessa fase, contanto que fossem observadas as regras de utilização do Ateliê e da Oficina digital onde foi realizado o pré-teste e que dispunham de softwares para modelagem computacional e de tecnologias para fabricação digital, respectivamente, nesse último ambiente estava em funcionamento operacional à época somente a máquina de corte a laser (Fresa CNC e impressora 3D estavam inoperantes). Isso porque, normalmente, são espaços utilizados para aulas da graduação dos cursos de design e arquitetura da Universidade Federal do Ceará e seu uso estava condicionado à disponibilidade de horário. Por essa razão o pré-teste foi realizado com os dois participantes ao mesmo tempo.

Para coleta de dados utilizamos software para captura de telas de comando e gravação de áudio durante o processo de concepção do artefato em modelagem computacional e durante o processo de fabricação digital foi realizada a gravação em áudio e vídeo. A partir da análise do pré-teste e observações de campo avaliamos que:

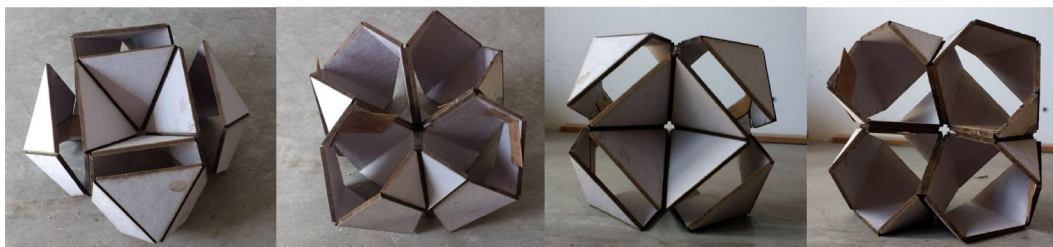
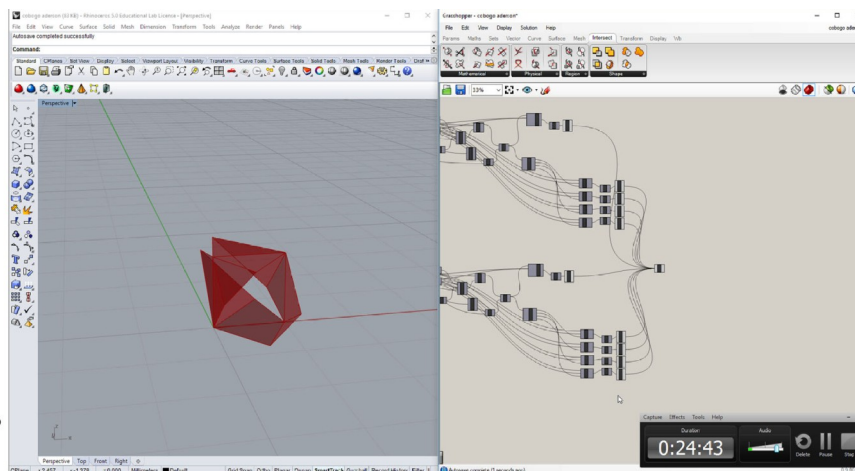
Quanto ao problema de design

Um dos participantes concluiu com êxito o artefato proposto (Figura 21), enquanto que outro participante detectou falhas ao término do processo de fabricação do artefato ao realizar sua avaliação, fato esse que o levaria a resolver alguns problemas identificados exigindo um retorno à modelagem computacional (Figura 22).

Figura 21 – Resultado do pré-teste concluído (modelagem computacional e fabricação digital)

a) modelagem do artefato em design paramétrico com software Rhinoceros e o plugin Grasshopper

b) artefato (protótipo) fabricado com tecnologia subtrativa (corte a laser) e montado.

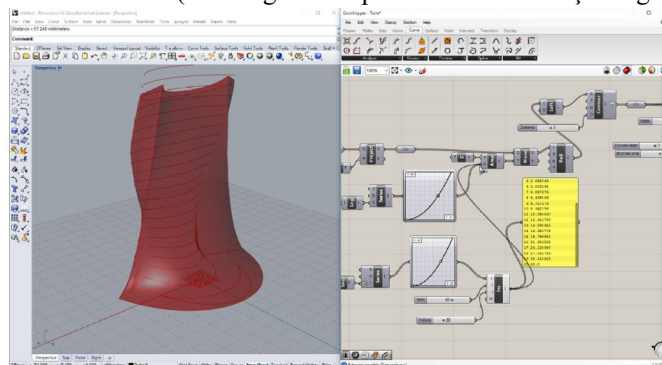


Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal com imagens cedidas pelo participante da pesquisa.

Figura 22 – Resultado do pré-teste não concluído (modelagem computacional e fabricação digital)

a) modelagem do artefato em design paramétrico com software Rhinoceros e o plugin Grasshopper

b) artefato (protótipo) fabricado com tecnologia subtrativa (corte a laser) e não montado.



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal com imagens cedidas pelo participante da pesquisa.

Observamos nesse aspecto que a experiência individual dos participantes em relação aos processos para a concepção e fabricação de artefatos em ambiente digital envolve condições qualitativas dessa experiência que devem ser consideradas, mesmo que atuem em uma zona de conforto cognitivo ao definirem seu problema de projeto. O que se pressupõe como critério o acesso ao conhecimento sobre as técnicas e tecnologias para a fabricação digital não é determinante para a solução do problema. Esse foi um fator que identificou a necessidade em conhecer, através da aplicação de um questionário na fase inicial do experimento o tempo de experiência no ambiente digital e de que forma os participantes interagem com esse conhecimento, se com o uso de modelagem geométrica ou técnicas contemporâneas para o processo criativo (design paramétrico, gramática da forma ou algoritmos genéticos). Outros dados foram solicitados na aplicação do questionário a fim de propiciar uma análise da experiência material a partir da percepção dos participantes em relação ao ambiente em rede propiciado pelos laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D.

Quanto a abordagem de análise de protocolo verbal utilizada

Aspectos foram observados com relação à análise de protocolo verbal. No caso de uso da análise de protocolo verbal retrospectivo, quando houve uma revisita a um projeto já executado, a memória a longo prazo permitiu que fossem apresentados elementos do problema de projeto que foram considerados desafios à sua solução. Quanto a fase modelagem computacional, na verbalização retrospectiva realizada pelo participante, o desafio maior foi estabelecer a espessura das faces do artefato gerado (vide Figura 18), uma vez que seria utilizado como material de fabricação resíduos industriais adicionados ao concreto. Para a execução de um protótipo de análise de viabilidade do projeto foi utilizada tecnologia subtrativa (Router CNC) e como material para desbaste, isopor. Segundo o participante, foi importante esse processo de fabricação digital para analisar o parâmetro de abertura do cobogó adequado ao projeto e que se relacionava ao estudo da espessura das faces na geometria gerada, no entanto, esse projeto não teve execução com material final (concreto + resíduos industriais). O processo para concepção da forma, segundo o participante, partiu do origami e então foi se desenvolvendo com o uso do design paramétrico.

No pré-teste, a modelagem computacional de um projeto já executado permitiu que o tempo gasto para essa fase levasse cerca de vinte e seis minutos (26') enquanto que o tempo de modelagem computacional do projeto não executado durou cerca de cinquenta e dois minutos (1h52'). A análise de protocolo verbal concorrente (*Think Aloud* – pensar em voz alta) nessa fase sofreu interferências uma vez que foi necessária atenção aos dois participantes que executaram a modelagem computacional ao mesmo tempo. Essa foi uma condição inapropriada para essa abordagem.

Para a fabricação digital do protótipo foi utilizada tecnologia subtrativa de corte a laser e uma vez que a espessura de corte dessa tecnologia opera com limites quanto ao tipo de material e somente permite o corte bidimensional (2D), sendo assim, a espessura do protótipo executado não teve variações e foi utilizada como matéria-prima MDF com três (3) mm de espessura.

A partir registro audiovisual do processo de fabricação identificamos que o processo de fabricação em tecnologia subtrativa de corte a laser apresentou praticamente o mesmo tempo de duração, entre dez e quinze minutos para o corte de cada artefato. Ressaltamos que esse é um aspecto que depende muito do tipo de artefato a ser produzido.

O projeto que nunca havia sido executado pelo outro participante não conseguiu ser concluído pelo fato de ter apresentado alguns problemas e o participante reconhecer ser necessário ajuste na modelagem computacional não foi possível uma avaliação final do artefato depois do processo de fabricação digital, visto que não havia mais tempo disponível para retorno ao local onde foi realizada a modelagem computacional.

Com o processo de re-representação de projeto executado, revisita em pré-teste para a pesquisa, foi possível ao final do processo de fabricação digital uma avaliação do artefato após a sua montagem. O participante que realizou a modelagem computacional e a fabricação digital identificou que os problemas gerados pela espessura das faces e que geraram dificuldades na abertura do cobogó no projeto original poderiam ser minimizados em relação a esse parâmetro, mantendo-se o princípio original da concepção do artefato através da ideia originada em origami. Nesse aspecto, se é possível afirmar, a fabricação digital do artefato em tecnologia diversa da utilizada em sua execução primária permitiu uma “descoberta inesperada” (SCHÖN, 1983;1987) em relação à forma do protótipo gerado comparado-o, através da memória a longo prazo, ao artefato original realizado com material anterior (isopor) com uso da tecnologia subtrativa (Router CNC).

Quanto às técnicas para coleta de dados

Identificamos alguns problemas que poderiam ocorrer para o experimento proposto. Uma falha ocasionada pelo software utilizado para captura de telas tornou necessário que o participante do projeto já executado realizasse por duas vezes a modelagem computacional do artefato. Esse fato acarretou em atraso da fase pré-teste, no entanto, não gerou problemas em nível de motivação interferindo na análise de protocolo. Esse acontecimento foi interpretado pelo participante com curiosidade, pois, segundo sua narrativa, realizou a modelagem computacional do mesmo artefato por três vezes e utilizou algoritmos diferentes para cada modelagem paramétrica executada chegando ao mesmo resultado final esperado por ele. Para evitar falhas nessa etapa fundamental do experimento para a pesquisa um equipamento para gravação audiovisual foi adicionado concomitante ao uso de software para captura de telas a fim de registrar o processo de modelagem computacional de cada participante da pesquisa.

3.1.2 Experimento: considerações metodológicas e argumentos

O experimento proposto teve por objetivo auxiliar a articular perguntas para hipóteses explicativas para a relação entre o raciocínio visual via análise de ações cognitivas e a experiência material de projetistas (designers, arquitetos e/ou engenheiros) dentro do processo de concepção e fabricação de artefatos em laboratórios de fabricação digital da rede acadêmica Pronto 3D³⁵ em Santa Catarina, Brasil, nos municípios de Florianópolis, Chapecó e Criciúma. Apresentamos suas definições a partir de definições resultantes do pré-teste e das análises obtidas em entrevistas não estruturadas do estudo de caso e de estudo bibliográfico.

3.1.2.1 Participantes

Nessa fase da pesquisa foram cinco (5) os participantes, entre ex-alunos e alunos bolsistas dos cursos de design, arquitetura e engenharias que atuam nos laboratórios de fabricação digital de cada instituição participante do estudo de caso na rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D em Santa Catarina, Brasil e indicados pelos coordenadores responsáveis por esses laboratórios e posteriormente contactados para

35 Informação em *site* sobre a rede: <http://designproduto.ufsc.br/pronto-3d/>

esclarecimentos sobre o experimento e do contexto geral da pesquisa antes de preencher e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice C).

Ser ex-aluno ou aluno bolsista dos cursos das instituições apresentadas no estudo de caso foi um dos **critérios de inclusão** para participar da pesquisa, bem como o tempo de experiência mínima de um (1) ano nos laboratórios e ser maior de 18 anos. O objetivo foi identificar as ações cognitivas relacionadas à experiência material em uma atividade de design a ser realizada em ambiente digital para a concepção e fabricação de artefatos, a partir de um problema de design proposto pelos participantes e realizada somente com a presença da pesquisadora responsável. Por essa razão colocou-se como **critério de exclusão** os participantes com tempo de experiência nesses laboratórios inferior a um (1) ano, menores de dezoito (18) anos e não vinculados às instituições incluídas no estudo de caso. Esses critérios foram necessários para determinar o tempo para a execução da atividade que buscou não ultrapassar o período de noventa (90) minutos, tempo esse considerado hábil para a realização de uma atividade pouco complexa por indivíduos **com experiência** nesse tipo ambiente, a partir de resultados apresentados na fase pré-teste.

3.1.2.2 Procedimentos para a coleta de dados

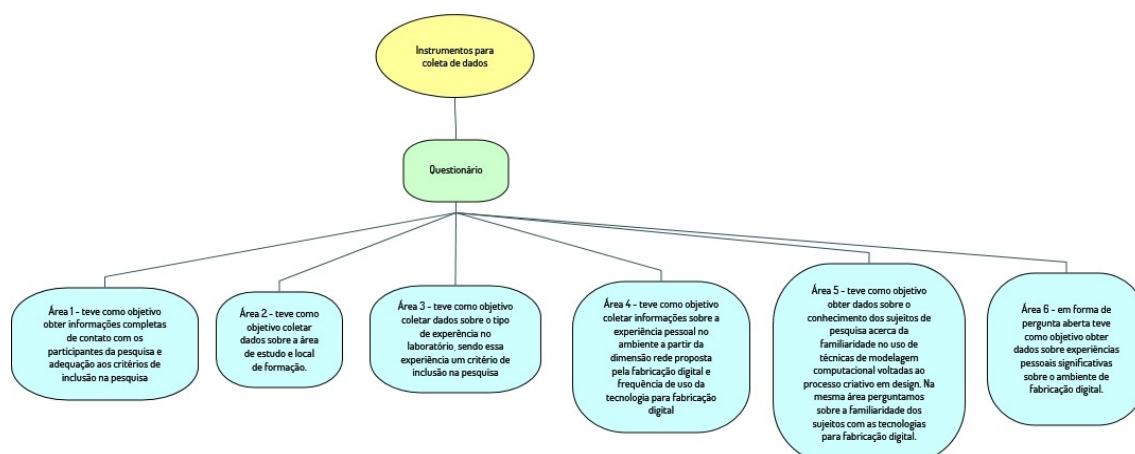
Para o estudo empírico, quatro (4) técnicas foram aplicadas para o levantamento de dados:

- (1) questionário,
- (2) experimento,
- (3) entrevista,
- (4) observação.

Cada uma dessas técnicas apresentou qualidades distintas para se atingir o objetivo da pesquisa. O questionário como método para coletar informações sobre os sujeitos da pesquisa e que teve como objetivo traçar um perfil individual de experiência no uso de técnicas e tecnologias de base computacional para concepção e fabricação de artefatos. Foram coletadas informações de cada indivíduo sobre a formação educacional em laboratórios de fabricação digital, conhecimentos adquiridos, ideias, percepções, crenças e valores dentro desse ambiente (Apêndice A). O conjunto de perguntas não teve como intenção verificar a habilidade do

respondente, mas registrar sua opinião, seus interesses e outros aspectos que pudessem ser identificados em relação ao ambiente em que se encontra inserido (Figura 23).

Figura 23 – Dimensões de análise em questionário aplicado



Fonte: elaborado pela autora em software NVivo

As dimensões para análise de dados coletados foram divididas em seis (6) áreas e seus objetivos gerais para aplicação foram: a) identificar a adequação do perfil de participantes aos critérios de inclusão e exclusão de acordo com a pesquisa; b) conhecer a experiência pessoal e o tipo de conhecimento dos participantes em relação ao ambiente em que estavam inseridos (técnicas para o processo criativo e tecnologias para fabricação digital, atuação das redes de conhecimento pertinentes à área).

Durante o **experimento** os participantes da pesquisa verbalizaram enquanto executavam, individualmente, a modelagem computacional de um artefato a fim de observar situações reais em laboratório e registrar as ações e percepções ante uma atividade definida pelo próprio participante possibilitando tanto a randomização de características dos sujeitos estudados quanto possíveis inferências quanto às unidades de análise a serem verificadas, as categorias do raciocínio visual.

O experimento como uma atividade pessoal e individual para criar um artefato apresentou essa configuração para que, primeiro, a atividade não fosse vinculada pelos participantes a uma verificação de habilidades e, segundo, poder identificar e observar de forma sistemática o ambiente de domínio e conhecimento dos participantes da pesquisa durante a verbalização concorrente.

Sua concepção, sem dúvida, foi um dos elementos mais sensíveis para a metodologia aplicada à pesquisa, pois os dados coletados precisavam da capacidade de atenção e resposta durante a prática da representação do artefato pela modelagem computacional e sua fabricação como experiência material, o mesmo se aplica à necessidade de imersão do pesquisador nesse momento. Para atingir esse objetivo foi necessário realizar um recorte da complexidade das muitas variáveis que envolvem o processo do projeto comum à área do design para limitar o estudo voltado para a representação visual e sua relação com a experiência material para criar e produzir um artefato às ações e percepções dos participantes durante a realização de uma atividade criativa em um ambiente controlado pelas competências cognitivas e condições emocionais de cada indivíduo.

A determinação prévia de um tema ou de um problema como agente para criar um artefato poderia incorrer em desvios do objetivo ou se comportar como elemento de dispersão para a realização da atividade à medida que nem todos os participantes poderiam não ser motivados pela proposta ou estabelecerem limites de conhecimento para a resolução de algum problema proposto, uma vez que eram desconhecidas as experiências dos participantes em relação ao ambiente estudado.

Para a coleta de dados durante a atividade foram seguidos dois (2) protocolos (Tabela 2) que, por sua vez, conduziram as diretrizes da **entrevista** caracterizada pela verbalização retrospectiva e/ou concorrente.

Tabela 2 – Protocolos do Desenho Experimental

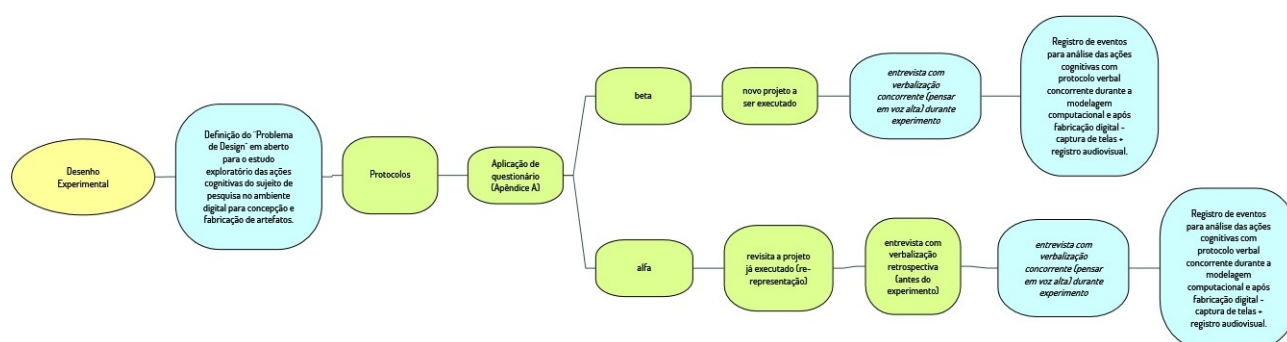
Protocolo α	Protocolo β
Revisita a projeto já executado (re-representação)	Novo projeto a ser executado
Procedimentos	
Questionário	Questionário
Entrevista com verbalização retrospectiva (antes do experimento) ³⁶	-
Entrevista com verbalização concorrente (durante o experimento)	Entrevista com verbalização concorrente (durante experimento)
Observação (durante todo experimento)	Observação (durante todo experimento)

Fonte: elaborada pela autora

³⁶ Com o objetivo de conhecer as experiências vividas ao tempo da execução do projeto.

O protocolo verbal utilizado consistiu na verbalização de cada ação realizada pelo participante da pesquisa, evocando situação de memórias a uma atividade a ser reinterpretada ou uso da memória recente para uma atividade em processo. A função da verbalização tanto concorrente quanto a retrospectiva foi de evocar a consciência durante o ato de projetar a partir narrativa da atividade baseada em: O que estou fazendo? Por que estou fazendo? E como estou fazendo? - no caso da verbalização concorrente (método *Think Aloud*³⁷); O que foi feito? Por que foi feito? Como foi feito? - no caso da verbalização retrospectiva. Essas narrativas serviram para o estudo dos segmentos que foram transcritos, codificados e associados às unidades de análise investigadas sobre o raciocínio visual e apresentadas no desenho experimental da pesquisa (Figura 24).

Figura 24 – Desenho experimental



Fonte: elaborado pela autora em software NVivo

Durante o experimento restringimos a nossa participação a orientações necessárias antes das entrevistas ou para dirimir dúvidas sobre o preenchimento do questionário preliminar ao experimento e entrevista. Enquanto o equipamento para filmagem e gravação de áudio estava sendo instalado para o registro do experimento e entrevista, os voluntários da pesquisa responderam ao questionário. Também evitamos o máximo possível de intervenção durante o experimento a ser realizado, salvo situação em que o participante deixou de verbalizar alguma ação executada.

37 Pensar em voz alta.

O experimento teve registro audiovisual em dois momentos de execução para a coleta de dados:

I—Processo de modelagem computacional acompanhado do uso de software específico para gravar os comandos de tela do computador;

II—Processo de fabricação digital durante a atividade de interação com a tecnologia e na avaliação do resultado final, pelo participante da pesquisa, do artefato gerado.

Por não se tratar de uma pesquisa para avaliação das habilidades, foi dada a informação aos voluntários da pesquisa que esses poderiam realizar a preparação de projeto do artefato em período anterior ao do experimento propriamente dito e agendado com os participantes previamente. No entanto, a modelagem computacional e fabricação digital do artefato seria feita *in loco* para registro da pesquisa, sendo vedada a utilização de arquivos preparados anteriormente para a modelagem e fabricação do artefato. Os resultados dessa informação são apresentados na análise dos dados coletados.

A **observação** sistemática e não participante teve caráter descritivo e seu ponto forte foi poder verificar as ações cognitivas e percepções dos sujeitos de pesquisa no âmbito real dos laboratórios de fabricação digital de maneira mais natural possível, com o mínimo de intervenção durante as atividades executadas pelos participantes. O modelo de anotação encontra-se no Apêndice B. Esse tipo observação também foi utilizada como instrumento nas entrevistas não estruturadas com os gestores e responsáveis pelos Laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D nas unidades da Unochapecó e SATC em um momento anterior ao experimento com os participantes enquanto manifestação espontânea para a apresentação dos laboratórios.

Os participantes também foram informados sobre o tempo para a execução para a concepção e fabricação digital do artefato que não deveria ultrapassar o período de noventa (90) minutos, tempo esse considerado hábil, a partir dos resultados do pré-teste, para a realização de uma atividade pouco complexa por indivíduos **com experiência** nesse tipo ambiente.

O tempo total previsto para aplicação de questionário, entrevista e experimento não foi superior a 120 minutos.

Sobre a análise e interpretação dos dados

O raciocínio visual é visto como resultado de uma proposta de estudos sobre a visão de mundo (externo e interno) a partir de experiências do designer e dentro do qual julga e toma decisões em seu processo criativo (SUWA & TVERSKY, 1997). O esquema de codificação proposto pela análise de protocolo verbal em raciocínio visual apresenta pesquisas que buscam em objetivar o subjetivo e para esse fim esse estudo entre a relação design – cognição – tecnologia precisou estabelecer um marco teórico de base fenomenológica necessário para o que poderíamos definir como materialidade durante o processo de concepção e fabricação em ambiente digital e identificar essa relação nas categorias propostas pelos autores.

A análise e interpretação dos dados coletados pela pesquisa associa a abordagem qualitativa utilizada em todo o processo de elaboração da pesquisa denominada Teoria Fundamentada ou *Grounded Theory* (CHARMAZ, 2009) para realizar a análise de protocolo verbal e sua segmentação em “movimentos de design” relacionando-a às categorias do raciocínio visual e o tratamento desses dados através do software para análise qualitativa conhecido como Nvivo com o objetivo de estudar a relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade em laboratórios de fabricação digital PRONTO 3D em Santa Catarina (Figura 25).

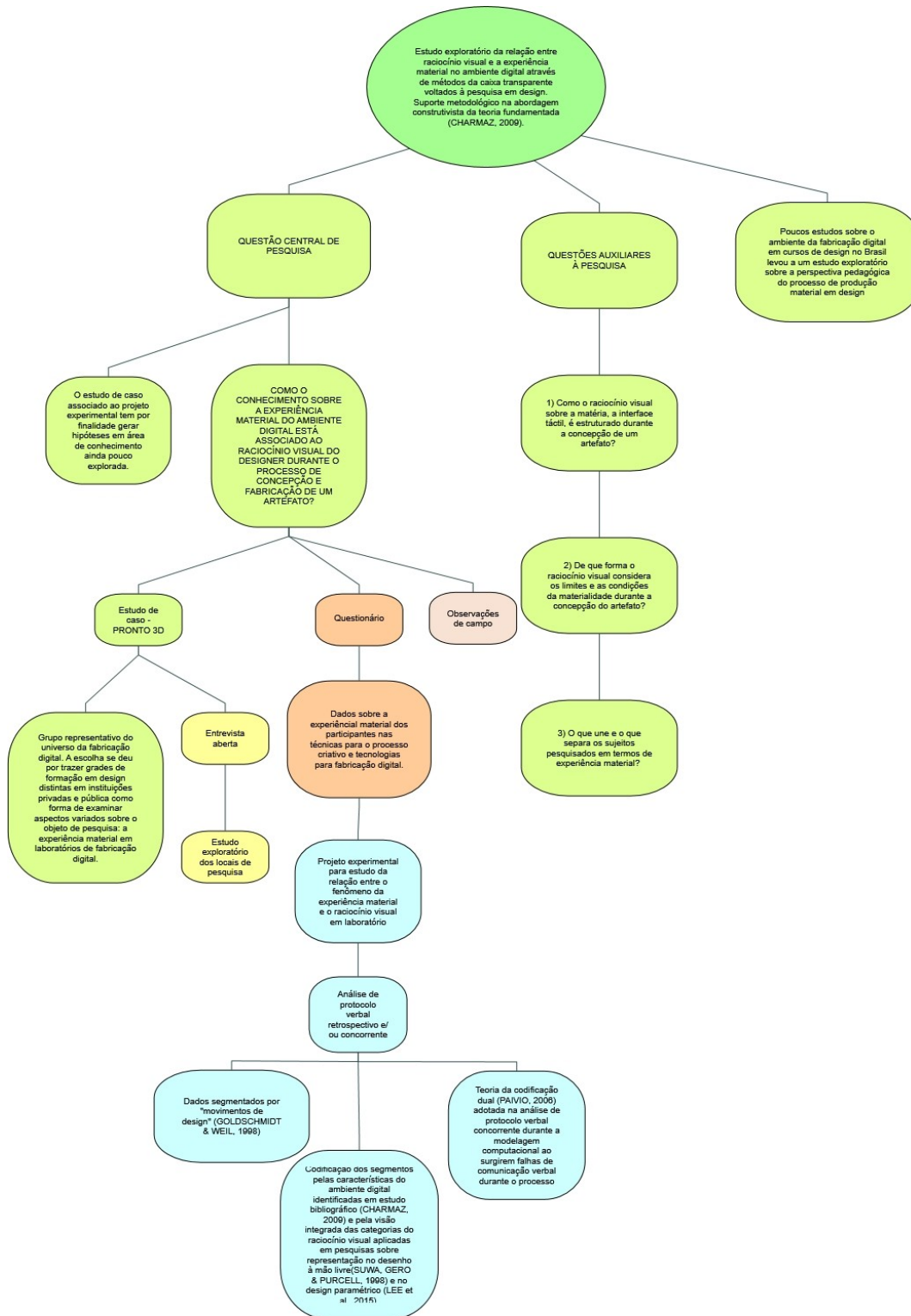
Três tipos de codificação foram utilizadas na pesquisa para o estudo bibliográfico e para análise de protocolo verbal dos dados coletados. A codificação focalizada e a codificação teórica, segundo critérios da teoria fundamentada (CHARMAZ, 2009), e a teoria da codificação dual (PAIVIO, 2006) aplicada aos segmentos extraídos de registros audiovisuais e explicitadas a seguir:

- A codificação focalizada: códigos conceituais que sintetizam e explicam segmentos maiores de dados. Nesse caso, os dados coletados restritos aos registros audiovisuais dos comandos de telas e relacionados à análise de protocolo verbal concorrente desses registros na entrevista durante o processo de concepção e fabricação em ambiente digital, segmentados por “movimentos de design” identificados e codificados pelas categorias do raciocínio visual.
- A codificação teórica: com a função de especificar as relações possíveis entre as categorias identificadas na codificação focalizada e também durante todo o processo

de coleta de dados, na entrevista não estruturada para o estudo exploratório dos locais do estudo de caso, os laboratórios acadêmicos Pronto 3D, no estudo bibliográfico relacionado ao tema da pesquisa, no questionário aplicado antes da entrevista e na observação de campo à medida que novos dados emergiam do processo de análise de dados coletados.

- A codificação dual: adotada para análise de protocolo verbal concorrente durante a modelagem computacional ao surgirem falhas de comunicação verbal durante o processo. Segundo esta teoria, a cognição implica na atividade de dois sistemas distintos e especializados para se representar e processar a informação: a) um sistema verbal para tratar diretamente com a linguagem e; b) um sistema não-verbal, especializado para tratar de eventos e objetos não linguísticos (e.g. sistema visual e tátil). Os dois sistemas podem conter informações diferentes, mesmo para o mesmo conceito, pois segundo Paivio (2006), as representações dos sistemas verbal e não verbal não são necessariamente apenas duas maneiras diferentes de expressar a mesma informação. Esse conceito amplia a teoria geral do processamento de informações utilizada para o raciocínio visual proposto por Suwa, Gero & Purcell (1998), sugerindo o tratamento separado dos subsistemas verbais e visuais da memória.

Figura 25 – Síntese da metodologia aplicada à pesquisa



Fonte: elaborado pela autora em software NVivo

Na análise do protocolo verbal sobre o raciocínio visual em design executado por Suwa, Gero & Purcell (1998) e Lee et al. (2015) para cada segmento (categorias de informação) foram codificadas as ações cognitivas dos participantes em quatro categorias em uma visão integrada dos esquemas de codificação (Figura 7, p. 39) para explorar o raciocínio visual na representação em design em ambiente digital: física, perceptiva, funcional e conceitual que correspondem aos níveis em que a informação de entrada é considerada para ser processada na cognição humana.

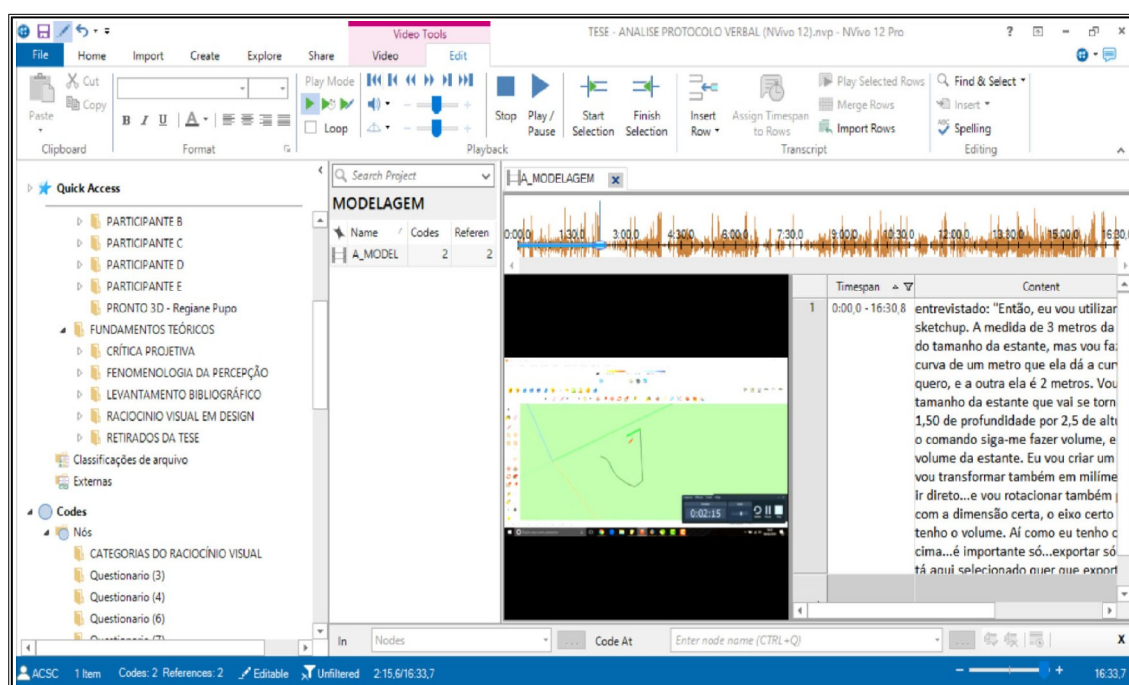
A metodologia empregada nessa pesquisa buscou ampliar o espectro da categoria das ações cognitivas estendendo-a às heurísticas da materialidade que permeiam a relação entre a técnica para a modelagem computacional e a tecnologia de fabricação digital utilizada pelos participantes da pesquisa a fim de conhecer como esses elementos atuam na atividade de design durante o processo de concepção, representação e fabricação de um artefato enquanto projeção consciente do ambiente durante a ação de projetar. O questionário aplicado antes do experimento teve por objetivo capturar a experiência e a percepção do ambiente digital de cada participante como forma de abranger realidades mais amplas da atividade de design em seu contexto, e não apenas voltado a aspectos específicos da cognição humana – esse foi um problema identificado por Dorst e Cross (apud COLLINS et al., 2010) sobre o uso da análise de protocolo verbal. O uso da codificação dual de Paivio (2006) na pesquisa, por sua vez, teve por objetivo ultrapassar a limitação apresentada pela análise de protocolo e identificada por Lloyd et al. (apud COLLINS et al., 2010) como fragilidade na captura de processos de pensamentos não verbais, que são tão importantes quanto os pensamentos verbalizados durante o trabalho de design.

O processo de análise teve como base a transcrição de cada sessão de áudio e vídeo usando software Nvivo e foi segmentada em episódios menores a partir de cada “movimento de design” identificado durante o processo. Essa segmentação serviu tanto para a análise de protocolo verbal quanto para o estudo de fenômenos não previstos na pesquisa sendo codificados. O Nvivo é classificado por Saldaña (2013) como um software CAQDAS – *Computer Assisted Qualitative Data Analysis Software*³⁸ – no qual a formatação dos dados coletados (vídeo, áudio, imagens, transcrições) são codificados em unidades de análise pertinentes aos fenômenos qualitativos observados e armazenados com o objetivo de estabelecer ideias para consideração analítica enquanto o estudo avança (Figura 26).

38 Software de análise de dados qualitativos assistido por computador, T.N.

O uso de estatística descritiva teve por finalidade determinar as frequências absolutas e relativas das ações encontradas nas categorias físicas, perceptuais e conceituais propostas por visão integrada das pesquisas de Suwa, Gero & Purcell (1998) e Lee et al. (2015) no caso do uso de esboços e na modelagem computacional e fabricação digital. O objetivo foi conhecer como se dá a relação entre esses dados a fim de identificar dependências e como se equacionam no contexto do conhecimento sobre o ambiente pelos participantes da pesquisa.

Figura 26 – Captura de tela com dados da pesquisa organizados e codificados para análise em Nvivo.



Fonte: da autora.

3.2 Codificação dos dados no estudo da relação entre raciocínio visual e as heurísticas da materialidade em ambiente digital

A análise e interpretação dos dados coletados em entrevista com uso de protocolo verbal retrospectivo e/ou concorrente durante a modelagem computacional do artefato e ao final da sua produção em fabricação digital foram feitas a partir do processo associado ao método de Análise de Protocolo verbal das categorias do raciocínio visual durante o experimento aplicado à pesquisa. O tratamento dos dados, incluindo questionário aplicado,

transcrição e codificação de entrevistas, foi realizado em software de análise qualitativa conhecido como Nvivo com o objetivo de estudar a relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade identificada em laboratórios de fabricação digital PRONTO 3D em Santa Catarina. A aplicação dos instrumentos utilizados na pesquisa ocorreu durante o mês de fevereiro de 2018.

O uso da estatística descritiva apresenta as informações sobre dados em análise para que se tenha maior compreensão dos fatos que os mesmos representam ao sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores, organizando e descrevendo os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de informações descritivas.

3.2.1 Questionário

Apresentamos os dados coletados e sua análise proveniente do questionário aplicado para a pesquisa dos cinco (5) participantes, entre ex-alunos e alunos bolsistas dos cursos de design, arquitetura e engenharias que atuam nos laboratórios de fabricação digital de cada instituição participante do estudo de caso na rede de laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D em Santa Catarina, Brasil e indicados pelos coordenadores responsáveis por esses laboratórios situados nas cidades de Chapecó, Criciúma e Florianópolis.

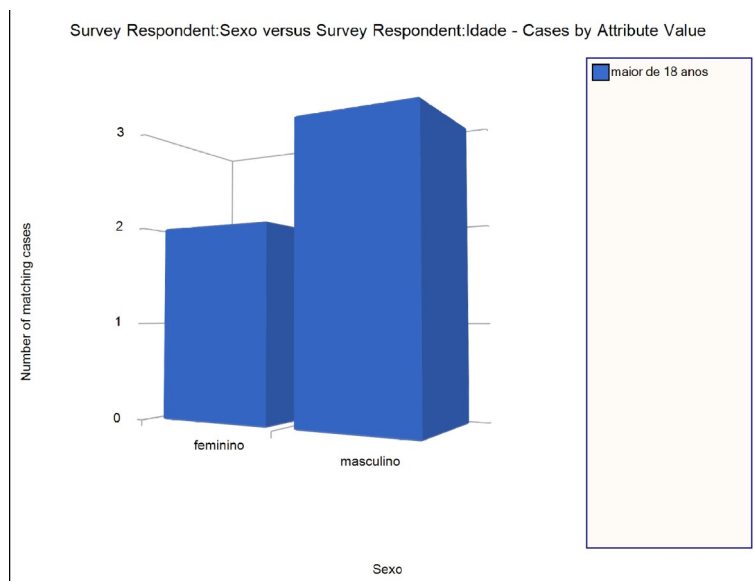
Dividido em cinco (5) áreas, a aplicação de questionário na fase pré experimento e entrevista para análise de protocolo verbal traçou um perfil dos participantes para fins de adequação aos critérios de inclusão e exclusão previstos em Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e pelos objetivos a serem alcançados pela pesquisa. As áreas estão relacionadas aos dados sobre faixa etária e área de formação acadêmica, ao modo de atuação em laboratório de fabricação digital, processos de formação inicial e/ou continuada na área, conhecimento prático no uso de técnicas para o processo criativo e tecnologias para fabricação digital e eventos considerados importantes para a formação pessoal nesse ambiente como forma de aprofundar o estudo de caso proposto pela pesquisa, os laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D, ao conhecer sobre a experiência dos participantes em uma rede de laboratórios que atua em mesma região e com cenários distintos, sendo a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pública e Fab Lab, e as instituições de

ensino privadas a Unochapecó, em Chapecó, e SATC, em Criciúma, que atuam nos cursos de graduação dessas instituições, mas ainda não como Fab Lab.

Com esse instrumento pudemos verificar a adequação dos participantes aos critérios de inclusão e objetivos para participação na pesquisa em relação: a) Área 1: faixa etária para participação na pesquisa, sendo todos os participantes maiores de dezoito (18) anos (Gráfico 1), b) Área 2: adequação de estudo às áreas de graduação, sendo dois (2) participantes da área de design com graduação incompleta (nas instituições de ensino SATC e UFSC), um (1) participante da área de arquitetura e urbanismo com graduação completa (na instituição de ensino Unochapecó) e estudante de Pós-Graduação na mesma área de estudo (na instituição de ensino UFSC), um (1) participante da área de mecânica industrial com graduação incompleta (na instituição de ensino SATC) e um (1) participante da área de engenharia mecânica com graduação incompleta (na instituição de ensino UFSC) (Gráfico 2).

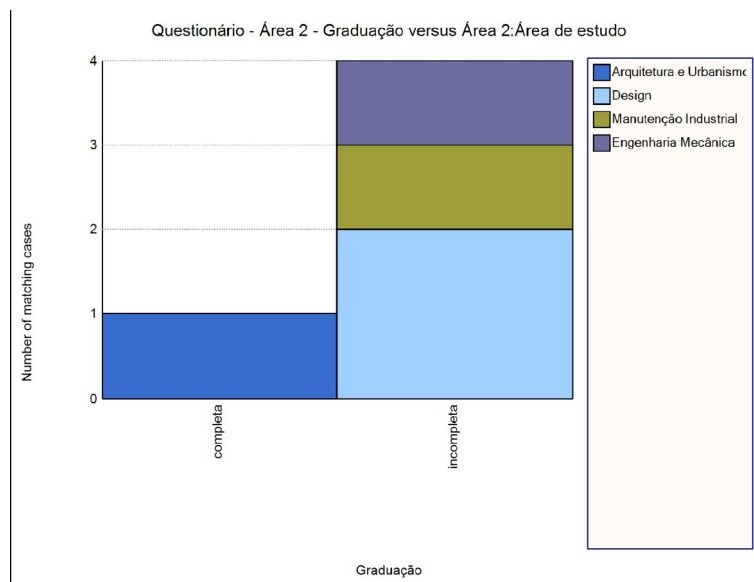
A área 3 do questionário aplicado verificou outro critério exigido para a realização da pesquisa que foi o tempo de experiência mínima de um (1) ano em processos de fabricação digital, complementado pela função que cada participante exerce nos laboratórios acadêmicos Pronto 3D. Como resultados tivemos um (1) participante que atua como técnico vinculado a uma coordenação do laboratório e cinco (5) participantes bolsistas vinculados a respectivos coordenadores de cada laboratório Pronto 3D (Gráfico 3). Quanto ao tempo de experiência os dados encontrados tiveram como valor máximo três (3) anos e mínimo de um (1) ano, atendendo a critérios estabelecidos (Tabela 3).

Gráfico 1 – Área 1: adequação ao TCLE em faixa etária (gráfico gerado pelo software NVivo)



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 2 – Área 2: adequação às áreas de estudo para pesquisa (gráfico gerado pelo software NVivo)



Fonte: elaborado pela autora

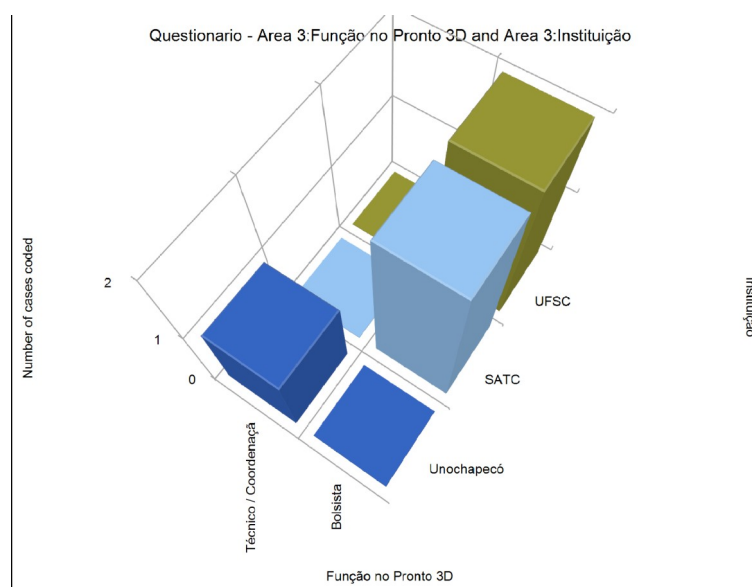
Tabela 3 – Área 3: função e tempo de experiência em Fabricação Digital (FD)

Casos	Função no Pronto 3D	Experiência em FD	Instituição
Participante A	Técnico de Laboratório	2,5 anos	Unochapecó
Participante B	Bolsista	1 ano	SATC
Participante C	Bolsista	1 ano	SATC
Participante D	Bolsista	3 anos	UFSC
Participante E	Bolsista	1 ano e 3 meses*	UFSC

Fonte: elaborada pela autora

* O tempo de experiência foi indicado pelo participante como período externo à sua bolsa de estudos no Pronto 3D onde começou a atuar como bolsista havia uma semana no período da aplicação do questionário e entrevista.

Gráfico 3 – Área 3: adequação à pesquisa na área de atuação no Pronto 3D (gráfico gerado pelo software NVivo)



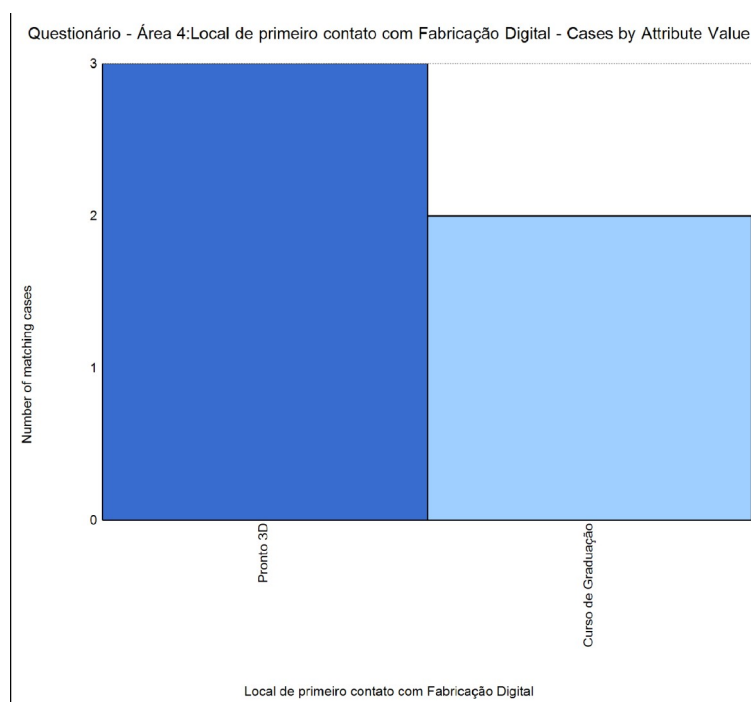
Fonte: elaborado pela autora

As áreas 4, 5 e 6 do questionário tiveram por objetivo conhecer a experiência de cada participante em relação ao uso de técnicas para o processo criativo e da familiaridade com as tecnologias para fabricação digital para compreender como esses elementos se integram ao cotidiano dos laboratórios Pronto 3D e como atua em sua dimensão rede de relacionamentos proposto pelos princípios que regem esses ambientes.

Sessenta por cento (60%) dos participantes responderam que o primeiro contato com fabricação digital aconteceu no Pronto 3D e quarenta por cento (40%) no curso de graduação onde funcionam esses laboratórios (Gráfico 4). Essa informação mostra a importância que a implantação desses laboratórios tiveram na difusão do conhecimento sobre fabricação digital, tornando-se vetor de transformação da experiência pessoal voltada ao processo do projeto vinculada a tecnologias para a produção independente de processos industriais.

Oitenta por cento (80%) desses participantes utilizam todos os dias os laboratórios e a frequência com que utilizam as tecnologias com as quais possuem maior familiaridade permite que explorem características dessas máquinas para a produção de forma mais inovadora do que com outras que possuem menor afinidade. Essa hipótese pôde ser levantada durante a codificação da análise de protocolo em que um dos participantes verbalizou que aprendeu a explorar uma funcionalidade da máquina de corte a laser para gerar texturas no artefato produzido, otimizando o tempo para a concepção do artefato gerado ao não incluir essa ação durante a modelagem geométrica (Tabela 4).

Gráfico 4 – Área 4: local de primeiro contato com fabricação digital (gráfico gerado pelo software NVivo)



Fonte: elaborado pela autora

Tabela 4 – Área 4: formação continuada e percepção em ambiente rede Pronto 3D

Casos	Local de primeiro contato com Fabricação Digital	Participa de grupos ou fóruns de Fabricação Digital	Grupos de discussão e fóruns online	Participa de cursos para formação continuada	Quantos dias por semana realiza atividades no Pronto 3D
Participante A	Pronto 3D	sim	Fab Brasil, Wikihouse e outros	eventos e congressos	todos os dias
Participante B	Pronto 3D	sim	Pinterest	não participa	todos os dias
Participante C	Curso de Graduação	não	-	No curso de graduação	todos os dias
Participante D	Pronto 3D	não	-	Pronto 3D	entre 3 e 4 dias
Participante E	Curso de Graduação	não	-	No curso de graduação	todos os dias

Fonte: elaborado pela autora

Outros dados foram comparados e analisados a partir das informações apresentadas na Tabela 4, provenientes do questionário aplicado e das observações identificadas durante entrevista aberta com os gestores dos laboratórios Pronto 3D no estudo de caso, a percepção pelos participantes da dimensão rede de conhecimento e do processo de formação continuada em fabricação digital.

A imersão cotidiana nas tecnologias para fabricação digital pela maioria dos participantes não é considerada como um processo de formação continuada, ou seja, a experiência pessoal facilitada pelo seu acesso não teve essa percepção pela maioria dos participantes para ser considerada um processo de formação. Ou seja, a percepção da necessidade de um contexto formal no qual o conhecimento é mediado entre professor e aluno foi a hipótese levantada a partir do cruzamento entre as respostas dadas ao questionário e as dinâmicas de funcionamento de laboratório em cada instituição, sendo os cursos de graduação mediadores dessa formação ou a participação em eventos e congressos.

A exceção que se mostra é em relação à resposta do participante D, Pronto 3D da UFSC, que identificou o laboratório como um ambiente de formação continuada. Uma leitura possível dessa evidência é a dinâmica implantada pela gestão desse laboratório denominada de “Tardes no Pronto” da qual participa há 3 anos, um evento interno com a duração de uma semana em que cada um dos bolsistas e/ou estagiários transferem o que aprendeu para os

outros que trabalham no laboratório em outra tecnologia. A relação professor-aluno é eliminada desse contexto e podemos dizer que efetivamente a cultura da experiência encontra um campo profícuo com esse tipo de dinâmica que transforma o ambiente oportunizando o compartilhamento programado de conhecimento entre pares.

Outro aspecto observado nas respostas ao questionário é que a internet, um dos meios em que o projeto Fab Lab aposta como forma de publicização e compartilhamento de conhecimento sobre projetos com o uso da fabricação digital³⁹, ainda não se faz visível para oitenta por cento (80%) dos participantes da pesquisa. Há poucos repositórios abertos (*opensource*) de projetos compartilhados no Brasil com o uso de processos de fabricação digital na web o que pode ser observado como um elemento que afeta a dimensão rede de conhecimento proposto pelo projeto Fab Lab em um contexto mais amplo do que o identificado na pesquisa.

A área 5 do questionário tenta conhecer a familiaridade de cada participante da pesquisa sobre as técnicas para o processo criativo e as tecnologias para a fabricação digital identificada em pesquisas que tem sido desenvolvidas sobre esses temas. Outro objetivo foi observar se as técnicas computacionais conhecidas pelos participantes seriam utilizadas durante o processo de concepção e representação do artefato associada à tecnologia para fabricação digital indicada por eles como de maior familiaridade (Tabela 5).

Pelos dados apresentados na Tabela 5, somente quarenta por cento (40%) dos participantes informou que conhecia e usava com frequência uma das técnicas em ambiente computacional para o processo criativo apresentado no questionário. Esperava-se que, a partir dessa informação, esses participantes (D e E), especificamente, utilizassem a técnica indicada como uso frequente durante a concepção e representação do artefato no desenho experimental, o que não ocorreu na modelagem do artefato.

Todos os participantes da pesquisa utilizaram a modelagem geométrica para o processo de concepção. Os indicadores gerados a partir desse evento podem ser:

a) Indicar o tempo máximo de 120 minutos para a execução do experimento previsto na pesquisa pode ter implicado na necessidade dos participantes D e E conseguirem cumprir essa determinação e utilizar a técnica informada levaria mais tempo do que o percebido pelos participantes;

39 CBA – MIT disponibiliza um repositório para compartilhamento de projetos, ainda com poucos grupos. Disponível em <https://gitlab.cba.mit.edu/explore/projects>, acesso em novembro de 2018. Outro endereço web Fab Lab está disponível em <https://projects.Fab-Labs.io/>, onde são apresentados projetos de Fab Labs certificados com arquivos *opensource*.

b) O uso dessas técnicas ou de seus conceitos para o processo criativo ainda não se tornaram “naturalmente” associadas ao ambiente de fabricação digital. A exceção é a técnica de design paramétrico que tem certa popularidade alcançada pela divulgação em ambiente acadêmico e *workshops*, incentivados pelo Fab Lab, dos softwares Rhinoceros associado ao *plugin* Grasshopper, o que foi evidenciado no pré-teste apresentado na pesquisa.

c) Possibilidade de implementação de sistemas computacionais que possibilitem a exploração de técnicas contemporâneas para o processo criativo que integrados à fabricação pessoal poderiam resultar em ambientes altamente inovadores ao processo de design em que apresentamos argumentos sobre criar e produzir em design no século XXI.

Tabela 5 – Área 5: conhecimento sobre técnicas para o processo criativo e tecnologias para fabricação digital

Casos	Técnica para modelagem computacional					Tecnologias para fabricação digital			
	Gramática da Forma	Design Paramétrico	Algoritmo Genético	Outro técnica	Softwares utilizados para concepção de artefatos	Mais utilizada	Por que?	Menos utilizada	Por que?
Participante A	conhece, mas usa raramente	conhece, mas usa raramente	conhece, mas nunca usou	Modelagem com BIM	Rhinoceros/Grasshopper	Corte a laser e impressora 3D (filamento).	Facilidade de uso e domínio; custo.	Router CNC; impressora 3D (resina)	Principalmente pelo custo do material.
Participante B	não conhece	não conhece	não conhece	modelagem geométrica	Adobe Illustrator	Corte a laser.	A bolsa de estudo é para atender a demanda de uma pesquisa sobre brinquedos para criança nas cores primárias utilizando o Pronto 3D	Router CNC; impressora 3D.	O atendimento à demanda da bolsa é direcionada ao corte a laser.
Participante C	não conhece	não conhece	não conhece	modelagem geométrica	SolidWorks	Router CNC	Mais adaptado ao funcionamento, pois opera com código.	Impressora 3D	Configuração mais complexa para modelagem
Participante D	conhece e usa com frequência	conhece e usa com frequência	não conhece	não preenchido	SolidWorks (GF), Grasshopper (DP)	Corte a laser e Router CNC.	técnicas e usos semelhantes, praticidade e versatilidade. Além disso, são tecnologias que propiciam uma fabricação voltada para o produto final	Impressora 3D	Falta de afinidade com a tecnologia e demora produtiva quando comparada com Router CNC e corte a laser.
Participante E	não conhece	conhece e usa com frequência	conhece, mas usa raramente	não preenchido	Grasshopper (AG), SolidWorks, Rhinoceros (DP)	Impressora 3D	É a tecnologia que escolheu se especializar	Corte a laser	Nunca utilizou.

Fonte: elaborada pela autora

A familiaridade com tecnologia para fabricação digital informada pelos participantes pôde ser verificada nas suas escolhas para a fabricação do artefato gerado durante o experimento. O participante da área de arquitetura e urbanismo usou a tecnologia de corte a laser para a fabricação digital do artefato, bem como os dois participantes da área de design. Utilizou a tecnologia Router CNC o participante da área de mecânica industrial e a impressora 3D o participante da área de engenharia mecânica.

As razões para essas escolhas estão elencadas nas quatro últimas colunas da Tabela 5 que podemos analisar pelas respostas que a impressora 3D é a tecnologia menos utilizada pelos participantes, pois suas percepções sobre essa tecnologia estão balizadas pela complexidade de sua configuração, pela demora no processo de produção e no custo do material de algumas impressoras 3D. Já a tecnologia de corte a laser foi a mais utilizada pelos participantes da pesquisa para a fabricação digital do artefato que, no questionário, falaram sobre sua facilidade de uso, praticidade e a possibilidade de gerar um produto final de forma rápida.

A área 6 do questionário teve por objetivo realizar um levantamento da percepção dos principais eventos que estimularam o conhecimento sobre os processos para fabricação digital nos laboratórios acadêmicos de fabricação digital Pronto 3D a partir de suas experiências pessoais nesse ambiente. Escreveram com poucas palavras sobre suas experiências e a memória de longo prazo foi direcionada para identificar os eventos mais importantes associados aos seus objetivos profissionais. Todos os participantes após a escrita no questionário, voluntariamente, verbalizaram essas experiências de forma a complementar as informações descritas, mas não foram feitos registros de áudio dessas narrativas, isso porque, para um estudo individual, aumentaria o volume de dados, bem como a dificuldade em definir parâmetros para sua análise de conteúdo fugindo ao escopo proposto pela pesquisa.

Esse evento durante a condução do instrumento de pesquisa nos levou a uma reflexão importante sobre alguns elementos que devem ser considerados na aplicação de um questionário quando, na sua elaboração, há uma pergunta aberta e que pode ser considerada importante a ampliação da sua narrativa pela oralidade do ponto de vista dos respondentes. As narrativas sobre a experiência pessoal em ambientes Fab Lab podem servir de importante fonte para estudos futuros, principalmente se tratando de uma análise comparativa entre percepções sobre o ambiente em relação à realidade local onde esse opera.

Mesmo sendo pequena a amostra da pesquisa, realizamos uma análise de *cluster* a partir das respostas fornecidas nesse item pelo questionário na qual foi possível estabelecer uma relação entre o ambiente proporcionado pelo Pronto 3D enquanto vetor de estímulo à formação na área de projeto (produto), de oportunidade de aprendizagem pelo acesso a tecnologias para fabricação (Figura 27).

As frequências encontradas em cada termo escrito pelos participantes não tiveram grandes diferenças em amplitude estatística, entretanto possibilitou representar a percepção de cada indivíduo quanto a relevância desses laboratórios em determinados aspectos, tais como:

1. Importância no processo de formação na área ao terem a percepção que o acesso à fabricação digital é algo que os diferencia de outros estudantes do curso (não foi possível verificar, de forma clara, como identificam a diferença);
2. Desafios à aprendizagem sobre a tecnologia de impressão 3D;
3. Direcionamento ao projeto de produto ao identificar as diversas possibilidades de conformação material associada ao domínio da tecnologia;
4. Facilidade no acesso à compreensão material envolvida no projeto e seu fator motivacional propiciado pela disponibilidade da tecnologia para fabricação digital.

Figura 27 – Área 6: nuvem de palavras com respostas obtidas em “acontecimentos considerados importantes para formação no laboratório” (imagem gerada pelo software NVivo)



Fonte: elaborada pela autora

3.2.2 Análise de protocolo verbal retrospectivo/ concorrente do desenho experimental e a materialização do artefato, resultados da fabricação digital

A partir da análise do protocolo verbal sobre o raciocínio visual em design executado por Suwa, Gero & Purcell (1998) e Lee et al. (2015) para cada segmento (categorias de informação) foram codificadas as ações cognitivas dos participantes da pesquisa em quatro categorias em uma visão integrada dos esquemas de codificação (Figura 7, p. 39) para explorar o raciocínio visual na representação em design no ambiente digital: física, perceptiva, funcional e conceitual que correspondem aos níveis em que a informação de entrada é considerada para ser processada na cognição humana.

Para o processo de análise foi realizada a transcrição de cada sessão gerada em registro audiovisual de cada participante usando software Nvivo que foi, por sua vez, foi segmentada em episódios menores a partir de “movimentos de design” identificados durante o processo de concepção e representação em modelagem computacional. Essa segmentação serviu tanto para a análise de protocolo verbal quanto para o estudo de fenômenos não previstos na pesquisa que foram codificados e analisados.

Registros visuais também foram realizados do processo de materialização dos artefatos a fim de analisar o tempo de execução de cada artefato concebido de acordo com a tecnologia para fabricação digital escolhida pelos participantes da pesquisa e demais fenômenos que poderiam surgir para estudo exploratório.

Exemplificamos o processo de segmentação desenvolvido na pesquisa a partir de “movimentos de design” como “um ato de raciocínio que apresenta uma proposta coerente referente a uma entidade que está sendo projetada” (GOLDSCHMIDT, 1991 apud SUWA, GERO & PURCELL, 1998) associando cada segmentação à categoria do raciocínio visual identificada na visão integrada proposta pela pesquisa. Os movimentos que não foram identificados pela verbalização concorrente realizada pelos participantes aplicamos o processo de codificação dual pelo pensamento não verbal (PAIVIO, 2006) possibilitado por movimentos identificados na gravação de captura de tela do computador dos comandos executados realizada durante o processo de modelagem computacional de todos os participantes (Tabela 6).

Tabela 6 – Exemplo de segmentação e codificação das ações cognitivas

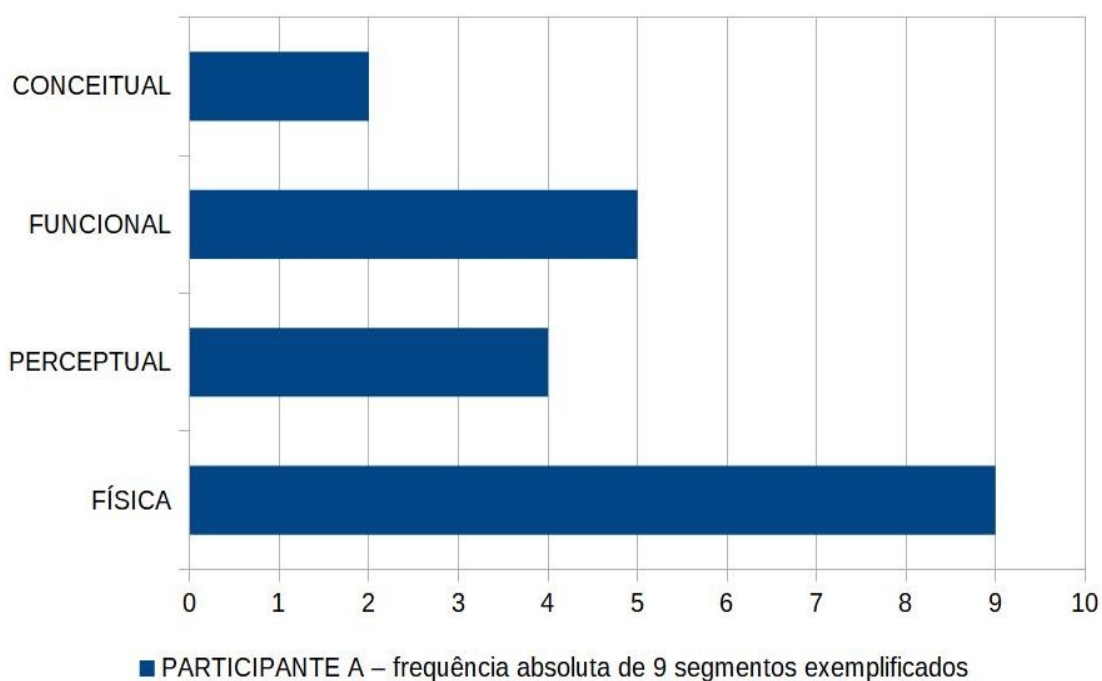
Caso	Segmentos			Categoria do raciocínio visual nas ações cognitivas = frequências			
	Transcrição	Tempo de registro de gravação	Número de segmentos	Física	Perceptual	Funcional (não identificada na pesquisa de Lee et al. (2015), mas identificada com processo de fabricação)	Conceitual
Participante A: softwares utilizados durante a modelagem geométrica: SketchUp, Slicer 360 (AutoDesk) e CorelDraw. Obs.1: o símbolo // divide os segmentos Obs.2: os textos entre parênteses nas transcrições significam codificação não verbal (dual).	“Eu vou (desenhar) uma linha curva aqui no chão, no piso, mais orgânica // e a partir dessa vou usar um comando que dá uma curva de um metro que eu quero (modifica forma) // e a outra de dois metros (modifica forma).”	33”	3	G-Geometria: Dc (cria uma nova representação) = 1; G-Mudança: Drf (revisa a forma) = 2	P-Geometria: Pcf (continuamente atende uma característica) = 2	Fnp (imagina uma função independentemente das representações) = 3* *nesse caso a materialização de geometria complexa como uma curva é a justificativa natural para uso de fabricação digital.	Nada identificado nesse segmento.
	“Eu vou fazer uma estante de três metros, aqui vai ser meu volume, (desenha a linha) //, com cinquenta de profundidade (desenha e movimentação) // por dois e meio de altura, (desenha e movimentação) // e com o comando “siga-me” no sketchup, eu vou fazer o volume” (modifica o desenho).	25”	4	G-Geometria: Dc (cria uma nova representação) = 3; G-Mudança: Drf (revisa a forma) = 2	P-Geometria: Pcf (continuamente atende uma característica) = 2	Frp: Lembra uma função independentemente das representações (fazer volume com comando) = 1	K-ação: recupera e aplica um conhecimento relacionado ao software = 1
	“Eu vou criar um sólido (movimenta objeto na tela) // e vou transformar também em milímetros (usa comando para configurar dimensão) porque fica melhor para já ir direto para a máquina, porque a máquina laser aceita milímetros. Se eu mando em qualquer outra dimensão, em centímetros, metros, ela não aceita, fica fora de escala.”	26”	2	G-Geometria: L-ação (olha a representação) = 1 associado a G-Mudança: Mrf (move o mouse para movimentar objeto na tela).	Nada nesse segmento.	Frp: Lembra uma função independentemente das representações = 1	K-ação: recupera e aplica um conhecimento = 1 *nesse caso recupera um conhecimento em relação à tecnologia para fabricação a ser usada (corte a laser) = heurística da materialidade.
Total		1’24”	9	9	4	5	2

Fonte: elaborada pela autora

Em um tempo de gravação com cerca de um minuto e vinte e quatro segundos (1'24") foram identificados nove (9) segmentos, com um total de vinte (20) ações cognitivas, sendo nove (9) ações relacionadas à categoria física, quatro ações (4) relacionadas à categoria perceptual, cinco ações (5) à categoria funcional e duas (2) ações à categoria conceitual pela qual inferimos que a recuperação de conhecimento sobre tecnologia tanto na fase da modelagem geométrica quanto para tecnologia para fabricação escolhida pelo participante são ações que puderam ser definidas como heurísticas da materialidade que por sua vez estão associadas à categoria conceitual na taxonomia proposta pelos estudos sobre o raciocínio visual.

Para o uso de estatística descritiva, para melhor visualização e análise, os resultados foram tratados como dados discretos, na hipótese de que as subcategorias principais do raciocínio visual conseguiram ser identificadas, em sua maioria, nos segmentos transcritos, e indicados como frequência absoluta observada (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Codificação dos segmentos a partir das categorias gerais do raciocínio visual



Fonte: elaborado pela autora

Ao segmentar e analisar a verbalização concorrente a partir das subcategorias e índices associados ao raciocínio visual um grande volume de dados foram gerados pelos registros audiovisuais mesmo com um número pequeno de participantes da amostra. Sua execução foi extenuante e por vários momentos da análise nos deparamos com o desafio em alcançar alta confiabilidade ao analisar a matéria textual como reconhece Krippendorff (2004). O desafio esteve principalmente em associar corretamente o segmento a algumas subcategorias que algumas vezes podem ocorrer no mesmo segmento analisado como podemos ver na Tabela 6 apresentada. Vinte e seis por cento (26%) dos segmentos não puderam ser categorizados, pois estavam associados a subcategorias cuja inferência não conseguiu ser estabelecida em função de falhas na verbalização concorrente e a impossibilidade de identificação pela codificação dual.

Um problema encontrado durante o processo de transcrição foi o processo de tradução automática disponibilizado pelo tradutor do próprio software Nvivo na versão 12 usado na pesquisa que ainda não é capaz de decodificar, de forma adequada, uma fonte baseada em linguagem natural retornando poucas palavras coerentes. A automação do processo de transcrição de forma confiável possibilitaria uma maior aplicação do método da análise de protocolo verbal ao estudo sobre processos em design uma vez que essa é uma etapa que demanda grande parte do tempo de pesquisa.

Outra limitação do software Nvivo foi quanto ao seu sistema para geração de gráficos. Apesar de facilitar o processo de transcrição e codificação textual não conseguimos gerar alguns gráficos para visualização, não sabemos se pelo grande volume de dados ou outra limitação técnica. A exportação dos dados gerados pela pesquisa na análise de protocolo verbal concorrente foi necessária e a utilização de softwares que trabalham com planilhas com grande volume de dados como o Excel (Microsoft) gerou a informação visual dos resultados apresentados.

A partir do exemplo do método de segmentação e análise da verbalização concorrente apresentada na Tabela 6 podemos visualizar, através do Gráfico 5, que a presença da categoria funcional pôde ser verificada durante a modelagem geométrica diferente do resultado apresentado pelo estudo de Lee et al. (2015) com design paramétrico na concepção conceitual de uma edificação. Duas possibilidades de interpretação dessa ocorrência são elencadas, a primeira é que o artefato gerado não ficou restrito à modelagem computacional como na atividade proposta por Lee et. al (2015). O imperativo de fabricar o artefato levou o

participante a realizar ações cognitivas presentes nas categorias funcional e conceitual para atingir esse propósito. A segunda interpretação possível foi o fato de priorizarmos subcategorias e seus índices em vez de nos determos em categorias gerais como um fator que serviu de maior escrutínio para identificar as ações cognitivas durante a modelagem geométrica.

Mas os dados encontrados e de maior relevância à pesquisa sobre a categoria funcional de ação cognitiva é que a contingência em materializar o artefato direcionou os participantes a considerar, durante a modelagem computacional, processos de design associados à interação das pessoas com os artefatos projetados pelas condições ergonômicas necessárias ao usuário e à circulação de pessoas no espaço, conceitos associados a essa categoria segundo apresentado em estudo por Suwa, Gero e Purcell (1998), um conhecimento altamente associado à atividade de design. O projeto em uma perspectiva conceitual pode proporcionar bons índices de ações cognitivas no processo criativo, mas as ações cognitivas envolvidas para a materialização promovem uma “consciência” sobre os limites da tecnologia aplicada ao projeto associado à criatividade.

As evidências encontradas pelos dados coletados em um trecho muito pequeno de registro audiovisual (menos de dois minutos) exemplificado refletem aproximadamente os dados totais encontrados e analisados durante a pesquisa e serão apresentados nos resultados da pesquisa. A frequência relativa aproximada dos dados nesse exceto está descrita na Tabela 7.

Tabela 7 – Frequência relativa entre as categorias da ação cognitiva identificada (%)

Caso	Categoria Física	Categoria Perceptual	Categoria Funcional	Categoria Conceitual
Participante A	100	44,44	55,56	22,22

Fonte: elaborada pela autora

Os dados coletados, analisados e descritos referem-se aos registros audiovisuais executados durante a fase de modelagem geométrica e de fabricação digital, bem como anotações da observação sistemática durante a realização do desenho experimental. Os registros audiovisuais dos cinco participantes da pesquisa na aplicação do questionário, o processo de fabricação e/ou necessidade de montagem do artefato e vídeos auxiliares em caso

de falha do software para captura de tela totalizaram aproximadamente onze horas e trinta minutos de gravação.

Para fim de análise de protocolo verbal concorrente e/ou retrospectivo foram considerados somente os registros audiovisuais durante a modelagem geométrica do artefato que totalizaram aproximadamente quatro (4) horas e trinta e oito (38) minutos de gravação. Também foram considerados comentários registrados nas gravações de procedimentos na configuração das tecnologias para fabricação selecionada pelos participantes como dados complementares às análises.

Uma vez que o desenho experimental da pesquisa teve como proposta um problema de design aberto, os dados apresentados não são comparativos. Isso porque eram desconhecidas as habilidades e competências dos participantes em relação ao ambiente estudado caracterizando um estudo exploratório em profundidade. Os segmentos de dados e as categorias e subcategorias do raciocínio visual identificado pela verbalização concorrente e, em alguns casos, com o auxílio da codificação dual do pensamento não verbal em falhas de verbalização, teve como objetivo o estudo exploratório para conhecer a relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade que se caracterizou predominantemente na recuperação do conhecimento (K-ação) e metas para o processo de fabricação digital pertencente à categoria conceitual da taxonomia das ações cognitivas proposta por Suwa, Gero e Purcell (1998).

A descrição dos resultados se apresenta por meio de dados quantitativos (estatísticos) e de dados qualitativos relacionados aos fenômenos não previstos por meio dos registros audiovisuais começando pelo total aproximado de segmentos encontrados na análise de protocolo verbal de cada participante da pesquisa baseado em “movimentos de design”.

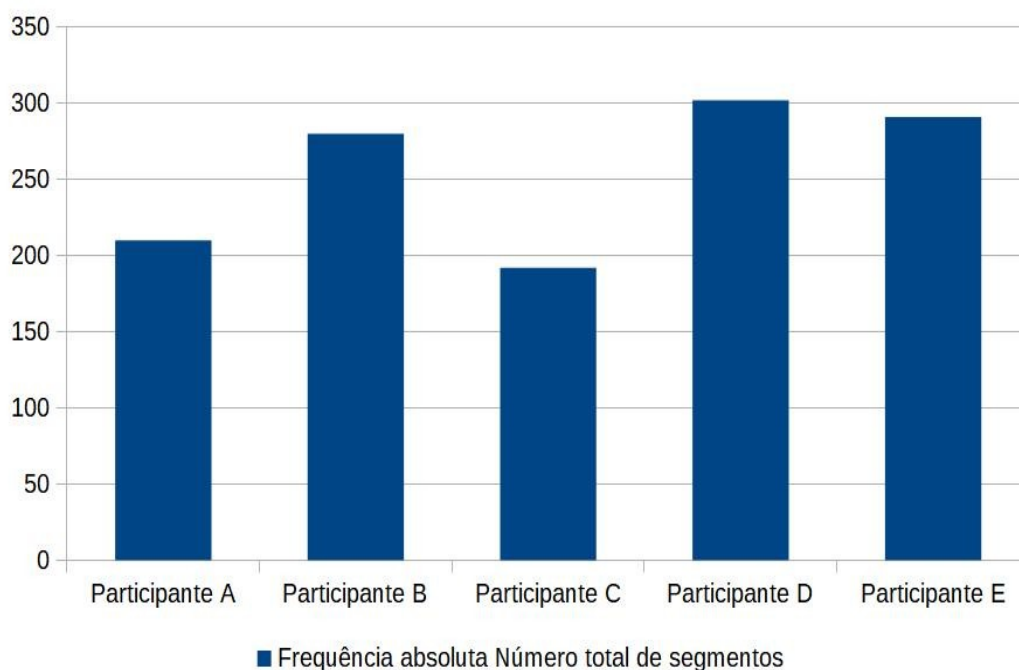
A diferença entre a frequência relativa relacionada à quantidade de segmentos verbais identificados está diretamente associado aos diferentes artefatos propostos pelos participantes da pesquisa. Todos os artefatos podem ser caracterizados como de baixa complexidade (Gráfico 6). A resposta provável para essa evidência pode ser a delimitação de tempo para execução do projeto determinado pelo desenho experimental o que exigiu certa “objetividade” por parte dos participantes da pesquisa. Os “movimentos de design” dependeram essencialmente da morfologia do objeto durante o processo de concepção que condiciona as ações cognitivas necessárias ao processo de modelagem computacional e estão principalmente relacionados à categoria física de ação.

Como já mencionado, as subcategorias verificadas se concentraram principalmente nas categorias física e perceptual (Gráfico 7). As subcategorias funcionais foram identificadas em maior índice nas ações cognitivas dos Participantes A, B e D. As subcategorias conceituais tiveram a menor frequência, mas as evidências encontradas foram relevantes à pesquisa quanto as seguintes características:

a) Foram identificadas como orientadas à solução: as variações da geometria na modelagem computacional dos artefatos atenderam a pré-requisitos para a etapa de materialização do artefato com todos os participantes que utilizaram a tecnologia de corte a laser;

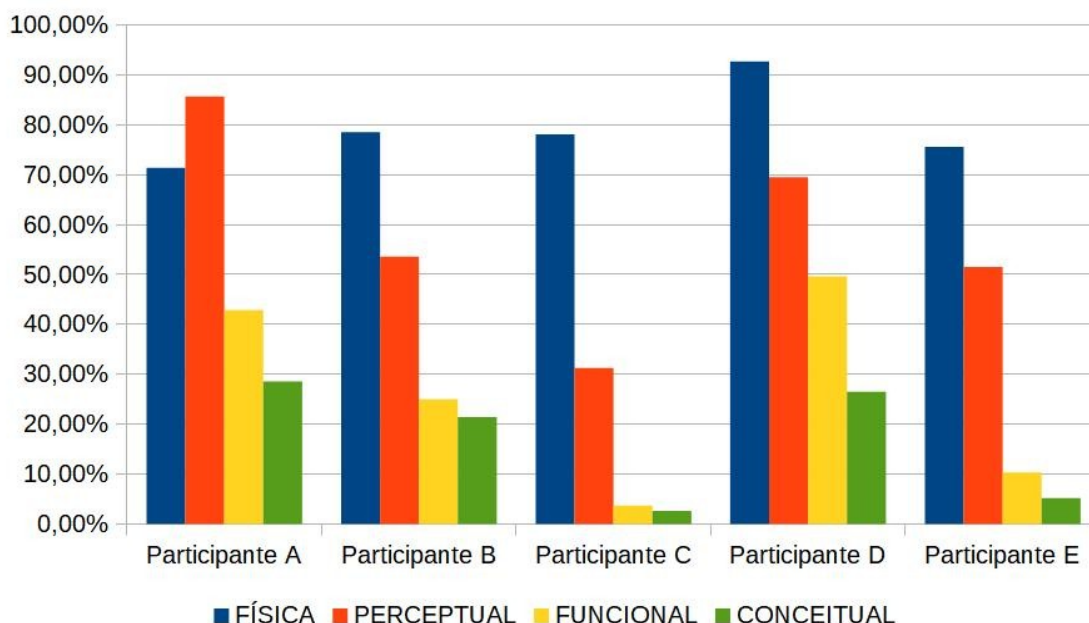
b) A subcategoria conceitual K-ação referente à recuperação de conhecimento está associado ao domínio do sistema usado para modelagem computacional e às ações cognitivas necessárias de configuração para a fabricação digital verbalizada pelos participantes que utilizaram a tecnologia de corte a laser, com exceção das tecnologias usadas pelos participantes C e E.

Gráfico 6 – Frequência absoluta aproximada de segmentos encontrados



Fonte: elaborado pela autora

Gráfico 7 – Frequência relativa das categorias de ação cognitiva por participante



Fonte: elaborado pela autora

Nos resultados dos artefatos que são apresentados a seguir eliminamos o participante C do processo, pois na análise de protocolo verbal dos segmentos pudemos verificar que as subcategorias funcionais e conceituais como a E-ação (fazer avaliações estéticas e preferenciais) não foram identificadas e o artefato apresentou características que ratificam essa inferência. Os participantes C e E preocuparam-se principalmente com características morfológicas que auxiliassem na função do artefato. O participante E também apresentou um índice baixo em relação aos demais participantes, mas um resultado um pouco melhor que o participante C conforme pode ser visto no Gráfico 7. Uma possibilidade de análise é que esses resultados podem estar associados diretamente a ausência de determinados conhecimentos que não são pertinentes à área de formação desses participantes e que, possivelmente, esse pode ser um tipo de informação sobre o raciocínio visual que estabeleça a diferença entre criar e reproduzir um objeto.

Durante a verbalização concorrente identificamos que os participantes B e E haviam executado, de forma prévia, o projeto. Essa era uma ocorrência que estava prevista no desenho experimental, no entanto, praticamente não foi possível recuperar informações pela abordagem retrospectiva sem registro audiovisual do evento a ser apresentado aos participantes como realizado nas pesquisas executadas por Suwa, Gero e Purcell (1998) e Lee et al. (2015). A verbalização em retrospectiva prevista no Protocolo α do desenho

experimental da pesquisa acionada durante o Protocolo β com a verbalização concorrente não conseguiu produzir informações em detalhes específicos.

O participante B somente conseguiu verbalizar em retrospectiva o que identificou de “errado” na concepção pela fabricação do artefato como forma de avaliar o projeto a ser executado em dia posterior. O participante E, de acordo com verbalização retrospectiva, havia previamente executado a modelagem computacional do artefato porque estava há muito tempo sem realizar qualquer tipo de modelagem tridimensional e foi uma maneira de recordar os comandos do software que seria usado.

Entre os artefatos fabricados os participantes A e E tiveram como finalidade a execução de um protótipo para análise de viabilidade para sua produção em uma escala maior e os participantes B e D executaram um produto final. A diferença de tempo de execução em relação às tecnologias para fabricação escolhidas pelos participantes puderam ser associadas à sua percepção apresentada nos resultados do questionário aplicado na pesquisa.

O método de produção com corte a laser teve uma duração, em média, entre oito e dezesseis minutos (8' a 16') a depender do artefato fabricado, enquanto que a impressão 3D levou, em média, quarenta minutos (40') para concluir a fabricação.

As inferências que puderam ser feitas sobre os processos de fabricação digital partiram, em alguns casos, de segmentos codificados durante verbalização concorrente na modelagem e na avaliação física do artefato pelos próprios participantes.

Para o participante A, o protótipo do artefato não foi satisfatório em seu ponto de vista, se tivesse mais tempo para utilizar a técnica de design paramétrico consideraria o resultado mais adequado à sua expectativa, no entanto, sua pouca habilidade na técnica não gerou confiança para sua utilização no tempo previsto pelo desenho experimental (Figura 28).

Ainda de acordo com o participante A, foi importante realizar a avaliação física pelo protótipo, pois como estava pensando em produzir o artefato em escala real com três (3) metros ao encontrar certas dificuldades de encaixe no protótipo executado se questionou como resolveria esse problema em dimensão real.

O artefato produzido pelo participante B partiu de uma demanda cujo resultado buscou aspectos estéticos tanto na relação espacial do artefato com o ambiente como item de decoração quanto aliado aos recursos da tecnologia de fabricação digital. Ao aprender sobre a potencialidade da máquina em gerar texturas associou essa funcionalidade ao artefato final, sem a necessidade dessas ações durante a modelagem computacional do artefato. Associar

essa característica da tecnologia de corte a laser ao processo de projeto reduziu o tempo que poderia ser gasto nessa etapa (Figura 29).

Figura 28 – Protótipo de artefato produzido pelo participante A



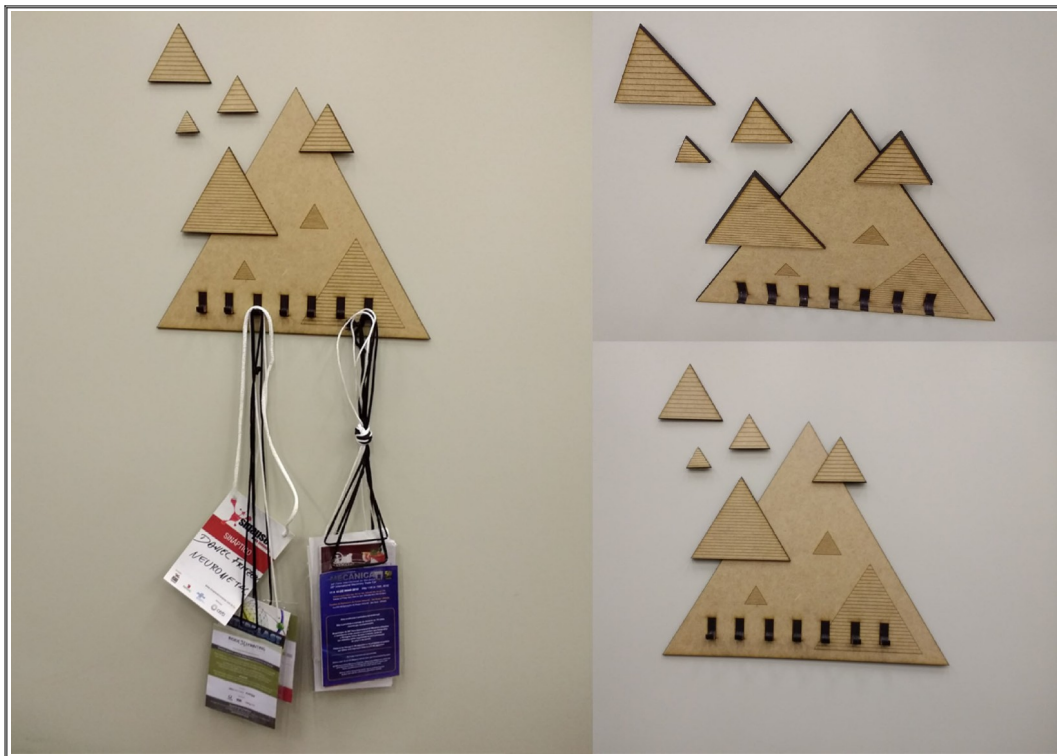
Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal.

Para o participante D, o objetivo foi a produção de uma mesa de trabalho, com aproveitamento de um tampo de vidro existente em sua casa. O protótipo foi gerado em uma escala em que pudesse avaliar os fatores ergonômicos para uso da mesa e aspectos estéticos para aproveitamento do vidro. O resultado final do protótipo apresentou problemas na dimensão das prateleiras, fato esse que ressaltou para o participante da pesquisa a importância do protótipo para avaliar possíveis erros antes de seguir para a produção final do artefato em outra tecnologia para fabricação como a Router CNC (Figura 30).

O participante E, antes do processo de modelagem do artefato, realizou previamente a configuração considerada adequada para o uso da tecnologia de impressão 3D a fim de que o artefato pensado para a produção não apresentasse “falhas para a função a ser desempenhada”. A necessidade de estabelecer os parâmetros ideais de configuração para a impressão do artefato de acordo com sua função se torna fator primordial para o participante

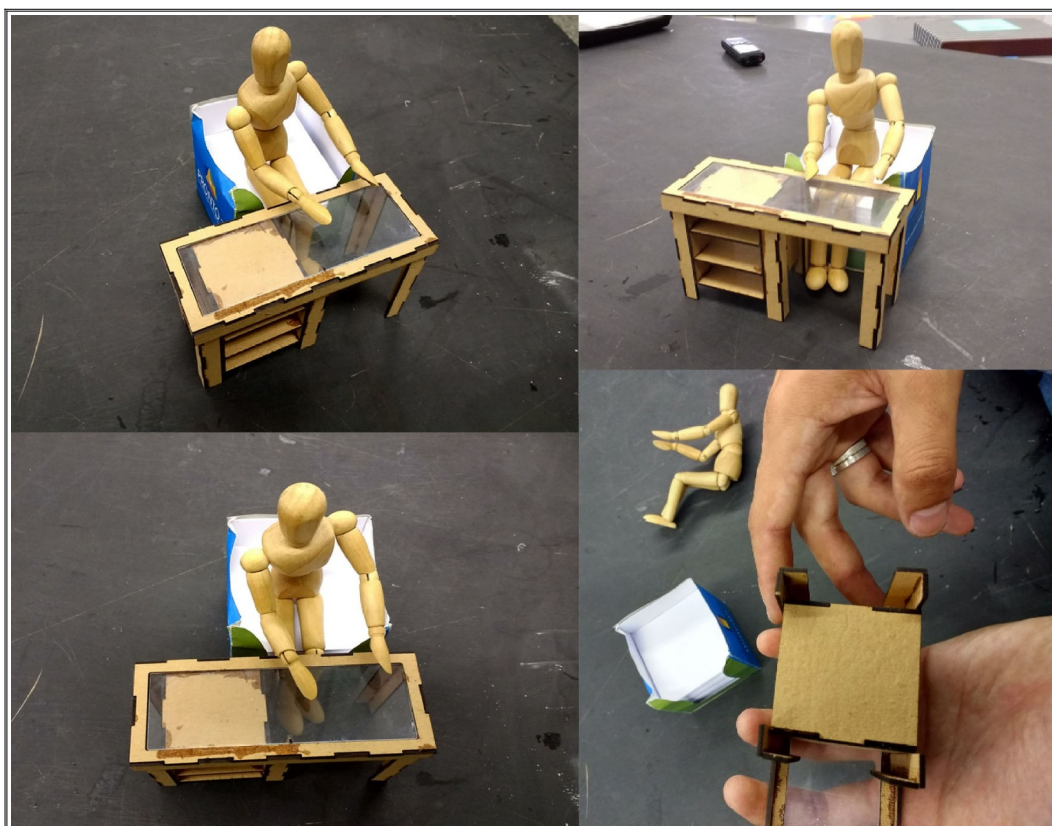
ao evitar o desperdício de material e, principalmente, otimizar tempo dispendido para a fabricação do artefato com o uso da tecnologia para impressão 3D (Figura 31).

Figura 29 – O artefato como produto final produzido pelo participante B



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal

Figura 30 – Protótipo de artefato produzido pelo participante D



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal

Com os indicadores apresentados podemos dizer que o raciocínio visual sobre a matéria, a interface tátil, pode ser verificado em ambiente digital não somente pelo viés da fabricação de um artefato. A sua concepção e representação na modelagem geométrica já preconiza a presença de uma materialidade que pôde ser identificada associada às categorias funcional e conceitual da taxonomia do raciocínio visual proposta por Suwa, Gero e Purcell (1998) e Lee et al. (2015).

Apesar de quantitativamente menor durante a atividade de design comparada às demais categorias do raciocínio visual como as categorias físicas e perceptuais, o aspecto qualitativo das categorias funcional e conceitual é de relevância ao processo de materialização e relacionam-se às categorias física e perceptual. As heurísticas da materialidade puderam ser então definidas como conhecimento armazenado pelo indivíduo sobre a própria experiência material (*making* – aprender fazendo “coisas”) recuperada pela memória com o uso de interfaces visuais e táteis na manipulação incremental da imagem durante representação em design e complementada pela fabricação em ambiente digital.

A partir dos indicadores apresentados as diferentes características das tecnologias para fabricação digital são levadas em consideração em dois aspectos: facilidade de uso e velocidade produtiva. A tecnologia de corte a laser, além de possuir tais características pelo ponto de vista dos participantes da pesquisa identificadas no questionário, pelo estudo da análise de protocolo verbal concorrente amplia as ações cognitivas do usuário durante o raciocínio visual e também ao incorporar a manualidade como forma ampliada da fabricação digital como interface tátil durante a montagem de alguns artefatos fabricados.

A metodologia aplicada possibilitou o estudo exploratório em profundidade com uma amostra pequena de participantes, visto que o Pronto 3D é o único caso no Brasil, até o momento, de uma rede de laboratórios acadêmicos voltados para fabricação digital enquanto representação do fluxo da experiência material do design do digital ao material discutido nessa etapa da pesquisa como um conjunto de conhecimentos que vinculam a produção de artefatos ao mundo da percepção, da representação e de valores dos agentes nesse processo, o que evidencia a necessidade em entender como o humano é afetado pelo ambiente em termos dos elementos formais e materiais que compõe o processo do projeto nessas condições.

A relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade identificada em laboratórios acadêmicos de fabricação digital PRONTO 3D em Santa Catarina tem como síntese fenômenos que puderam ser identificados e analisados em dimensões associadas à:

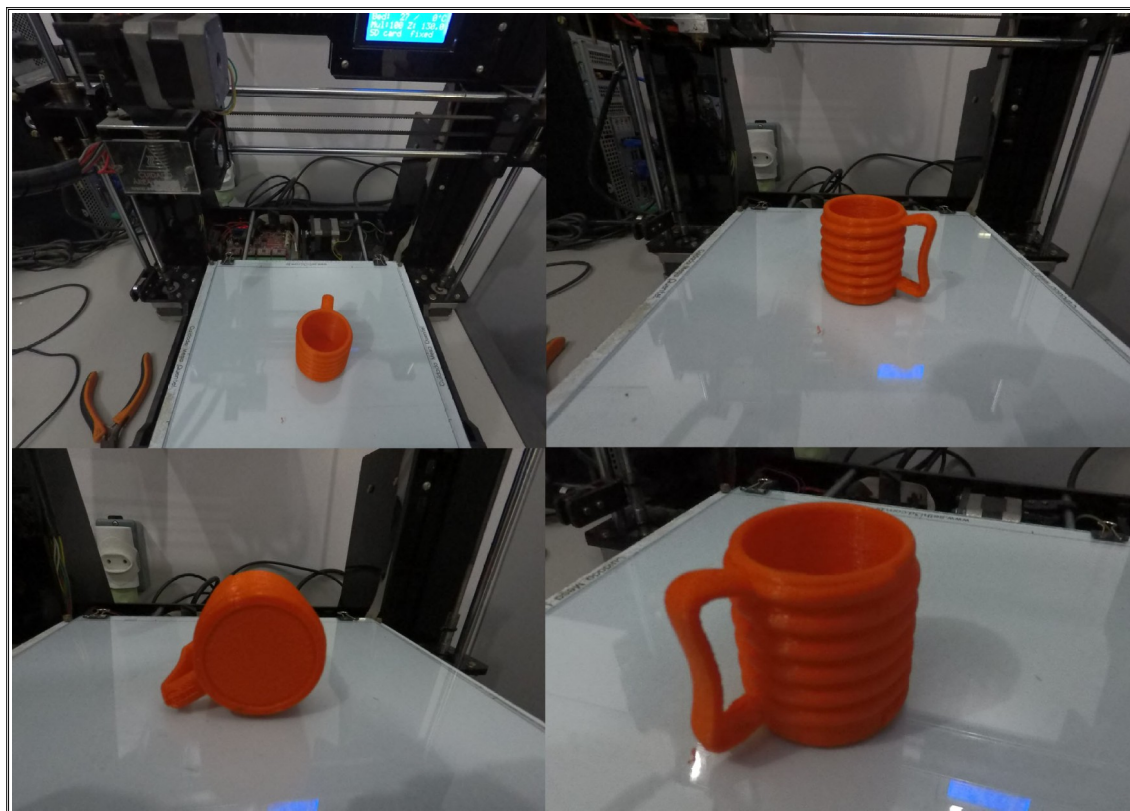
1. Percepção do ambiente quanto ao estudo de caso, laboratórios acadêmicos de fabricação digital, Pronto 3D:

- A importância da implantação desses laboratórios para a difusão do conhecimento sobre fabricação digital permite que sejam vetor de transformação da experiência pessoal voltada ao processo do projeto vinculada a tecnologias para a produção independente de processos industriais;
- A utilização cotidiana dos laboratórios e a frequência com que os participantes interagem com as tecnologias que possuem maior familiaridade permite que explorem características dessas máquinas para a produção de forma mais inovadora. Essa evidência pôde ser levantada durante a codificação da análise de protocolo em que um dos participantes verbalizou que aprendeu a explorar uma funcionalidade da máquina de corte a laser para gerar texturas no artefato

produzido, otimizando o tempo para a concepção do artefato gerado ao não incluir essa ação durante a modelagem geométrica como também em relação à configuração de *hardware* de tecnologias aditivas como impressoras 3D associada às características do artefato a ser produzido.

- A percepção sobre a rede de conhecimento e de formação continuada em fabricação digital mesmo com a imersão cotidiana nas tecnologias para fabricação digital pela maioria dos participantes não é considerada como componente de formação, ou seja, a experiência pessoal facilitada pelo seu acesso não está situado na percepção dos participantes como ambiente de formação acadêmica. A necessidade de um contexto formal mediado entre professor e aluno foi o indício apresentado a partir do cruzamento entre as respostas dadas ao questionário e as dinâmicas de funcionamento de laboratório em cada instituição, sendo os cursos de graduação mediadores dessa formação ou a participação em eventos e congressos. A exceção é em relação à resposta do participante D, Pronto 3D da UFSC, que identificou o laboratório como um ambiente de formação continuada possivelmente pela dinâmica implantada pela gestão desse laboratório denominada de “Tardes no Pronto” da qual participa e onde a relação professor-aluno é eliminada desse contexto. A cultura da experiência encontra um campo profícuo com esse tipo de dinâmica que transforma o ambiente oportunizando o compartilhamento programado de conhecimento entre pares e incentivando o protagonismo dos estudantes no ambiente.
- Os poucos repositórios abertos (*opensource*) de projetos compartilhados no Brasil com o uso de processos de fabricação digital na web pode ser observado como um elemento que afeta a dimensão rede de conhecimento proposto pelo projeto, isso porque o processo dos projetos associados a métodos de produção digital dificilmente são encontrados na web, diferente dos resultados do projeto que podem ser encontrados em várias plataformas utilizadas como “inspiração” para o uso da prototipagem rápida e fabricação digital.

Figura 31 – O artefato como produto final produzido pelo participante E



Fonte: montagem de fotos de arquivo pessoal

2. Técnica para o processo criativo e tecnologia para fabricação em ambiente digital:

- Todos os participantes da pesquisa utilizaram a modelagem geométrica no processo de concepção do artefato. As respostas geradas a partir dessa evidência podem ser relacionadas a problemas quanto ao tempo determinado para execução do projeto no desenho experimental proposto, pois mesmo os participantes que informaram experiência em design paramétrico não utilizaram a técnica. Outra possibilidade é que o uso dessas técnicas ou de seus conceitos para o processo criativo ainda não se tornaram “naturalmente” associadas ao ambiente de fabricação digital. A exceção é a técnica de design paramétrico que tem certa popularidade alcançada pela divulgação em ambiente acadêmico e *workshops*, incentivados pelo fenômeno Fab Lab, dos *softwares Rhinoceros* associado ao *plugin Grasshopper*. A disponibilidade de sistemas computacionais que possibilitem a exploração de técnicas contemporâneas para o

processo criativo poderiam resultar em processos para criação e fabricação pessoal altamente inovadores à atividade de design.

- As diferentes características das tecnologias para fabricação digital são levadas em consideração em dois aspectos: facilidade de uso e velocidade produtiva. A tecnologia de corte a laser, além de possuir tais características pelo ponto de vista dos participantes da pesquisa identificadas no questionário, pelo estudo da análise de protocolo verbal concorrente essa tecnologia para fabricação amplia as ações cognitivas do usuário durante o raciocínio visual e também ao incorporar a manualidade enquanto interface tátil ampliada para a montagem de alguns tipos de artefatos fabricados.

A percepção individual dos participantes quanto ao conhecimento proporcionado pelos laboratórios acadêmicos Pronto 3D somente pôde ser verificada a partir da aplicação do questionário e mesmo assim encontramos dificuldades para a análise das respostas. Por exemplo, a importância no processo de formação na área de estudo ao terem a percepção que o acesso à fabricação digital é algo que os diferencia de outros estudantes do curso em termos de direcionamento ao projeto de produto identificando as diversas possibilidades de conformação material associada ao domínio da tecnologia, a facilidade no acesso à compreensão material envolvida no projeto e seu fator motivacional propiciado pela disponibilidade da tecnologia para fabricação digital. Esses são elementos possíveis de serem considerados fatores dessa diferenciação percebida.

Quanto aos desafios à aprendizagem sobre a tecnologia de impressão 3D foi outro dado pouco explicitado pelos participantes. Além de ser uma tecnologia considerada pelos participantes com velocidade produtiva inferior à tecnologia de corte a laser, uma possibilidade para análise desse problema na aprendizagem dessa tecnologia pode ser a diversidade de equipamentos disponíveis no mercado com diferentes características em termos de *hardware* e *software* por ser uma tecnologia de plataforma aberta (*open hardware*) e que de alguma maneira tornam a interação com o usuário menos intuitiva.

A análise da relação entre o raciocínio visual e as heurísticas da materialidade encontrada através da segmentação e análise das ações cognitivas verbalizadas pelo método *Think Aloud* pôde verificar que as heurísticas da materialidade se caracterizou predominantemente como recuperação do conhecimento (K-ação) e como metas (G-

Geração) para o processo de fabricação digital pertencente à categoria conceitual da taxonomia das ações cognitivas proposta por Suwa, Gero e Purcell (1998) e Lee et al. (2015), respectivamente. Já as subcategorias de análise de protocolo verbal de todos os participantes se concentraram principalmente nas categorias física e perceptual, sendo que o participante D apresentou os maiores índices em todas as categorias do raciocínio visual. Uma leitura possível dessa evidência pode ser o maior tempo de experiência em fabricação digital e em atividades associadas ao conhecimento sobre a atividade de design que os demais participantes. As subcategorias funcionais foram identificadas em maior índice nas ações cognitivas dos participantes que recuperam conhecimentos pertinentes à atividade de design na qual estão inseridas decisões de ordem estética e/ou ergonômica. As subcategorias conceituais tiveram a menor frequência apresentada, mas as evidências encontradas foram relevantes à pesquisa quanto as seguintes características: a) Foram identificadas como orientadas à solução (G-Geração), pois as variações da geometria na modelagem computacional dos artefatos atenderam a pré-requisitos para a etapa de materialização do artefato; b) A subcategoria conceitual K-ação referente à recuperação de conhecimento está associado às ações cognitivas relacionadas ao domínio do sistema usado para modelagem computacional e à configuração dos artefatos para a fabricação digital.

O fluxo da experiência material do design assume características inerentes ao que apresentamos sobre criar e produzir em design no século XXI, um processo híbrido em que as percepções do ambiente tecnológico e ações cognitivas não estão desvinculadas durante a atividade de design no ambiente digital.

A síntese desses fenômenos encontrados e descritos evidencia a multidimensionalidade em que laboratórios acadêmicos para fabricação digital como o Pronto 3D estão imersos. A ação e a experiência no mundo estão interligados e isso dificulta a clareza de seus fundamentos. O que se descortina como uma possibilidade objetiva para analisar os dados subjetivos das ações cognitivas humana para compreender o processo da experiência material durante a atividade de design produziu resultados variados e complexos.

Por essa razão, as respostas encontradas visam auxiliar estudos futuros visto que a pesquisa exploratória permitiu identificar problemas e estratégias que auxiliem a inserção da tecnologia para além da discussão sobre a experimentação, no intuito de promover uma

“consciência” material ao projeto na perspectiva de uma pedagogia aplicada à tecnologia e centrada à atividade de design em laboratórios acadêmicos de fabricação digital.

4 CONCLUSÃO E ESTUDOS FUTUROS

Um conjunto de conhecimentos vinculam a produção de artefatos ao mundo da percepção, da representação e de valores dos agentes nesse processo, o que evidencia a necessidade em entender como o humano é afetado pelo ambiente em termos dos elementos formais e materiais que compõe a atividade de design nessas condições. As interações da ação técnica a partir desse princípio de relação são efeitos colaterais causais da tecnologia que gera as mudanças de seu significado no tempo, no ambiente e no usuário. Nessa perspectiva o conhecimento técnico e a experiência humana se tornam complementares, mas é a experiência que corrige os erros e simplificações gerando a mudança tecnológica.

No estudo exploratório realizado com pessoas com experiência em ambiente para a fabricação digital inferimos que a materialidade está para as técnicas do desenho à mão livre como também a modelagem computacional e as tecnologias para fabricação envolvidas no processo criativo. Ou seja, não há distinção entre desenho à mão livre, modelagem computacional e fabricação digital enquanto construções possibilitadas pelo conhecimento experiencial e identificáveis pelas ações cognitivas do sujeito que por sua vez operam para um objetivo comum com seus limites e finalidades específicas. Para Suwa, Gero e Purcell (1998) o desenho à mão livre é orientado à definição do problema, de forma incremental, ajustando o projeto em sua fase conceitual enquanto que para Lee et al. (2015) em estudo sobre design paramétrico com sistemas computacionais na representação em design mostrou-se orientado à solução do problema formulado.

A visão integrada das categorias da ação cognitiva utilizada por Suwa et al. (1998) e Lee et al. (2015) proposta pela pesquisa foi apropriada à adequada identificação dos segmentos através das subcategorias distintivas da atividade de design, pois puderam ser aplicadas ao objeto de pesquisa, o estudo do raciocínio visual e da materialidade em ambiente digital durante a atividade de design. Os métodos adotados como a análise de protocolo verbal continuam em um caráter evolutivo de discussões científicas sobre sua aplicação e ainda não há estudos aprofundados sobre todas as vantagens e desvantagens no uso de análise de protocolo em relação às abordagens adotadas enquanto concorrente e retrospectiva.

Para propor um estudo dialético das ações cognitivas contidas na subjetividade da experiência material em atuação conjunta com a abordagem fenomenológica sobre a materialidade em Ingold (2015) e Pallasma (2013) foi necessário que o conceito sobre

tecnologia fosse despido do seu caráter comumente percebido como instrumental (FEENBERG, 2003). O desenho experimental aplicado na pesquisa com esse argumento pôde superar as limitações da análise de protocolo verbal enquanto método de pesquisa para investigar a atividade de design quanto a fragilidade na captura de processos de pensamento não verbais, que são tão importantes no trabalho de design e a capacidade de abranger realidades mais amplas do design em seu contexto (COLLINS et al., 2010).

No entanto, a análise de protocolo verbal apresenta quanto ao processo de transcrição e análise um trabalho exaustivo sendo necessárias sucessivas revisões dos segmentos com o objetivo de se aumentar o grau de confiabilidade no tratamento dos dados como ressalta Krippendorff (2004). Consideramos um método mais apropriado a um grupo de pesquisa do que para ser realizado em uma pesquisa individual em função do grande volume de dados a ser analisado. A automação desse processo poderia ampliar a aplicação do método ao estudo da atividade de design.

O mapeamento das ações cognitivas realizadas pelos participantes da pesquisa no ambiente digital proposto pela metodologia aplicada ao processo de concepção, representação e fabricação de artefatos forneceram pistas à atividade de design no contexto da experiência material em que o termo materialidade se apresenta como a qualidade da ideia enquanto potencialidade material, sendo determinado por características estéticas e/ou funcionais associadas aos artefatos e principalmente vinculadas às subcategorias das ações cognitivas nas categorias funcional e conceitual do raciocínio visual.

Pelas evidências apresentadas na pesquisa verificamos que a modelagem computacional associada à fabricação é orientada à solução do problema e atua, principalmente, com as restrições percebidas em ambiente digital na categoria de ação definida como conceitual, na qual o sujeito recupera conhecimentos sobre a representação física em ambiente digital e avalia o artefato antes de ser fabricado. Essa evidência se assemelha ao resultado do estudo comparativo sobre criatividade e design paramétrico realizado por Lee et al. (2015) em que a modelagem computacional integra processos orientados a soluções e, nessa pesquisa, esses processos foram mais evidentes com o uso da fabricação digital do artefato. A relação entre o uso de geometria versus algoritmo/parametria não pôde ser verificado na pesquisa realizada, visto que, todos os participantes optaram pela modelagem geométrica. No entanto, podemos inferir, pelos dados apresentados na pesquisa, um aspecto também ressaltado por Lee et al. (2015) em que afirmam que os editores gráficos

tendem a produzir mais atividades geométricas no nível de representação física (categoria física). Como estudo futuro sugerimos uma análise comparativa entre esses editores e os editores baseados em texto como forma de avaliar as diferentes ações cognitivas desencadeadas durante a atividade de design em função do ambiente de modelagem computacional adotado e associado à materialização do artefato.

A resposta à pergunta principal de pesquisa foi possível não somente pelo estudo sobre o raciocínio visual com o uso da análise de protocolo verbal proposto no desenho experimental. Conhecer sobre as experiências e percepções dos participantes no Pronto 3D também trouxeram respostas elucidativas através das quais a questão principal da pesquisa, **como o conhecimento sobre a experiência material do ambiente digital está associado ao raciocínio visual do designer durante o processo de concepção, representação e fabricação de um artefato**, é respondida com as três questões auxiliares apresentadas a seguir:

1) Como o raciocínio visual sobre a matéria, a interface tátil, é estruturado durante a concepção do artefato?

A partir da análise das ações cognitivas dos participantes e pelas características taxonômicas associadas, o raciocínio visual sobre a matéria, a interface tátil, está vinculado predominantemente à recuperação do conhecimento (K-ação) sobre a tecnologia empregada e no atendimento às metas orientadas à solução do problema (G-Geração), ou seja, às características do material empregado e restrições da tecnologia para a fabricação do artefato se apresentam na categoria conceitual. A recuperação do conhecimento no domínio da técnica de modelagem para a representação e da tecnologia para fabricação de artefatos associadas à categoria conceitual apresentaram frequência inferior às categorias físicas e perceptuais predominantes durante a concepção e representação do artefato na atividade de design, o que podemos inferir que sua característica é qualitativa e está relacionada à solução para execução material do projeto.

2) De que forma o raciocínio visual considera os limites e as condições da materialidade durante a concepção do artefato?

As categorias física e perceptual que predominam durante o processo de concepção e representação do artefato podem apresentar inferências da categoria conceitual nas subcategorias Drf (D-ação) e Prp (P-ação) no momento em que ações cognitivas são realizadas para revisar a forma, posição ou tamanho da representação em função de um

conhecimento recuperado sobre as características do material a ser utilizado na fabricação do artefato ou da tecnologia a ser empregada. Um outro aspecto em relação à recuperação do conhecimento (K-ação) também levou em consideração as características da amostra da pesquisa em relação à diversidade de área de formação dos participantes. Os participantes A, B e D apresentaram os índices mais altos relacionados às categorias conceitual e perceptual enquanto os participantes C e E centraram-se, principalmente, nas características morfológicas que auxiliassem na função do artefato, priorizando desta forma ações cognitivas associadas às categorias física e funcional, com baixas ações associadas à categoria conceitual do subgrupo relacionado a fazer avaliações estéticas e preferenciais do artefato que está sendo fabricado (E-ação). Uma análise possível desses resultados pode estar associada diretamente à área de formação desses participantes (engenharia, arquitetura, design e ensino técnico em mecânica) e que, possivelmente, esse pode ser um tipo de informação sobre o raciocínio visual que estabeleça a diferença entre essas áreas nas quais as diretrizes projetuais atuam a partir da distinção de conhecimentos que operam no estímulo em criar ou reproduzir um objeto.

3) O que une ou separa as tecnologias utilizadas em termos de experiência material?

A experiência dos participantes destacou as principais características das tecnologias para fabricação digital a serem consideradas: facilidade de uso e velocidade produtiva. A tecnologia de corte a laser apresenta essas características identificadas pelos dados coletados dos participantes da pesquisa no questionário aplicado. A impressão 3D foi considerada pelos participantes uma tecnologia oposta ao corte a laser o que não despertava muito interesse para aprendizagem sobre seu uso aos participantes da área de design.

A inserção das dinâmicas de operação que envolvem o ambiente de aprendizagem proposto pelo fenômeno Fab Lab ainda carece de estudos, principalmente no que se refere ao agenciamento multiplicador da cultura da experiência material enquanto estímulo à inovação e à produção pessoal. Propomos para estudo futuro aprofundar o escopo teórico e prático das bases epistemológicas do raciocínio visual fundamentado na ciência cognitiva e na fenomenologia para estudos sobre representação em design a fim de apresentar um *framework* de aplicação metodológica em investigações sobre a materialidade em ambientes como os laboratórios acadêmicos de fabricação digital.

O estudo de caso sobre o laboratório Pronto 3D ressaltou a importância desses ambientes acadêmicos para a disseminação da tecnologia para produção pessoal criativa e a

necessidade em ampliar estudos sobre a produção nesse ambiente que podem se tornar verdadeiros centros para pesquisa sobre inovação em uma relação colaborativa subsidiada por métodos que auxiliem no desenvolvimento de sistemas baseados em criatividade computacional e fabricação digital como estudo futuro de forma a ampliar a inserção da tecnologia para uma pedagogia centrada em design no qual a criatividade é uma condição onde os atributos inerentes ao conhecimento experiencial podem ser identificados e estudados tornando possível entender como ambientes tecnológicos influenciam decisões de projeto.

REFERÊNCIAS

- ATILOLA, O.; TOMKO, M.; LINSEY, J. S. The effects of representation on idea generation and design fixation: A study comparing sketches and function trees. **Design Studies**, v. 42, p. 110–136, 2016.
- BONSIEPE, Gui. **Do material ao digital**. São Paulo: Blucher, 2015.
- BONSIEPE, G. Design as Tool for Cognitive Metabolism: From Knowledge Production to Knowledge Presentation. **International symposium on the dimensions of industrial design research Ricerca+Design**, p. 1–14, 2000.
- BRUTON, D. Computational Design Methods and Technologies. **Computational Design Methods and Technologies: Applications in CAD, CAM and CAE Education**, p. 351–364, 2012.
- CALVO, M. Reflective Drawing as a Tool for Reflection in Design Research. **International Journal of Art & Design Education**, v. 36, n. 3, p. 261–272, 2017.
- CAUTELA, C.; PISANO, P.; PIRONTI, M. The emergence of new networked business models from technology innovation: an analysis of 3-D printing design enterprises. **International Entrepreneurship and Management Journal**, v. 10, n. 3, p. 487–501, 19 fev. 2014.
- CELANI, M. G. C.; PUPO, R. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo**, v. 8, n. 1, 2008.
- CELANI, Gabriela (Ed.). **LAPAC 2006-2013 laboratório de automação e prototipagem para arquitetura e construção** / Gabriela Celani. - Campinas, SP: Biblioteca Central Cesar Lattes, 2013. 90 p. ISBN: 978-85-85783-29-7.
- CHANDRASEGARAN, S. K. et al. The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. **Computer-Aided Design**, v. 45, n. 2, p. 204–228, 2013.
- CHARMAZ, K. **A construção da teoria fundamentada**: guia prático para análise qualitativa. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CHRISTENSEN, B. T.; BALL, L. J. Dimensions of creative evaluation: Distinct design and reasoning strategies for aesthetic, functional and originality judgments. **Design Studies**, v. 45, p. 116–136, 2015.

COLLINS, A. et al. Design cognition: results from protocol and other empirical studies of design activity. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 3, n. 1, p. 58–71, 2010.

COSTA, Christiane Ogg; PELEGRINI, Alexandre Vieira. O design dos Makerspaces e dos Fab Labs no Brasil: um mapeamento preliminar. **Design e Tecnologia**, [S.l.], v. 7, n. 13, p. 57-66, jun. 2017. ISSN 2178-1974. Disponível em:
<<https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/375>>. Acesso em: 20 out. 2017.
doi:<http://dx.doi.org/10.23972/det2017iss13pp57-66>.

CRESWELL, John W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa**: escolhendo entre cinco abordagens. Tradução: Sandra Mallmann da Rosa. Revisão técnica: Dirceu da Silva. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CROSS, N. **A history of design methodology**. Design methodology and relationships with science, n. 1979, p. 15–28, 1993.

_____. Designerly Ways of Knowing: Design Discipline Versus Design Science. **Design Issues**, v. 17, n. 3, p. 49–55, 1 jul. 2001.

_____. Descriptive models of creative design: application to an example. **Design Studies**, v. 18, n. 4, p. 427–440, 1997.

_____. Design / Science / Research : Developing a Discipline. **Proceedings of the Fifth Asian Design Conference: International Symposium on Design Science**, 2001.

CUPANI, A. A tecnologia como problema filosófico: três enfoques. **Scientiae Studia**, v. 2, n. 4, p. 493–518, 2004.

DELEUZE, G. **Francis Bacon: lógica da sensação**. Tradução de Roberto Machado et al. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.

_____. **Diferença e repetição**. Tradução de Luiz Orlandi e Roberto Machado. Rio de Janeiro: Graal, 1988.

_____. **Conversações**. Tradução de Peter Pál Pelbart. Rio de Janeiro: Editora 34, 1992.

DELEUZE, G.; GUATTARI, F. **Mil platôs**. Tradução de Suely Rolnik. São Paulo: Ed. 34, 1997.

DEWEY, J. **El arte como experiencia**. Paidós. Estética 45:Barcelona, 2008.

DIEZ, T. Personal Fabrication: Fab Labs as Platforms for Citizen-Based Innovation, from Microcontrollers to Cities. **Nexus Network Journal**, v. 14, n. 3, 2012.

DIJK, J. VAN. Cognition is not what it use to be: Reconsidering usability from an embodied embedded cognition perspective. **Human Technology**, v. 5, n. 1, p. 29–46, 2009.

DORST, K. **The Problem of Design Problems**. Design thinking research symposium 6, v. 4, n. Creativity and Cognition Studio Press, p. 135–147, 2003.

EASTMAN, C.. **New directions in design cognition: Studies of representation and recall**. Elsevier, 2001.

EISENMAN, P. **Diagram Diaries**. London: Thames & Hudson, 2001.

EYCHENNE, F.; NEVES, H. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo: Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

EWENSTEIN, B.; WHYTE, J. K. Visual representations as “artefacts of knowing”. **Building Research and Information**, v. 35, n. 1, p. 81–89, 2007.

FARRELL, R.; HOOKER, C. Design, science and wicked problems. **Design Studies**, v. 34, n. 6, p. 681–705, 2013.

FEEBERG, A. **Questioning technology**. London: Routledge, 1999.

FEENBERG, A. **Modernity theory and technology studies: Reflections on bridging the gap**. Modernity and technology, Cambridge, Mass.: MIT Press, p. 73-104, 2003.

FEENBERG, A. **Between reason and experience: essays in technology and modernity**. Cambridge: MIT Press, 2010.

FERREIRA, M. P.; MELLO, D. C. DE; ARQUITECTURA, F. DE. Embodied Emotions. **Digital Physicality - Proceedings of the 30th eCAADe Conference**, v. 2, p. 599–604, 2012.

FLEISCHMANN, K.; HIELSCHER, S.; MERRITT, T. Making things in Fab Labs: a case study on sustainability and co-creation. **Digital Creativity**, v. 27, n. 2, p. 113–131, 2016.

GAMBARATO, R. R. Peircean semiotics in the context of design praxis: Abduction and perception in dialogue. **Sign Systems Studies**, v. 41, n. 4, p. 424–432, 2013.

GERO, J. S. Computational models of creative designing based on situated cognition. **Proceedings of the fourth conference on Creativity & cognition - C&C '02**, p. 3–10, 2002.

_____. Computational Models of Innovative and Creative Design Processes. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 64, n. 2–3, p. 183–196, 2000.

_____. Creativity, emergence and evolution in Design. **Knowledge-Based Systems**, v. 9, n. 7, p. 435–448, 1996.

GERO, J. S.; LOUIS, S. J.; KUNDU, S. Evolutionary Learning of Novel Grammars for Design Improvement. **Artificial Intelligence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing**, v. 8, n. 2, p. 83–94, 1994.

GERO, J. S.; MC NEILL, T. An approach to the analysis of design protocols. **Design Studies**, v. 19, n. 1, p. 21–61, 1998.

GERO, J. S.; TANG, H. H. The differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the process-oriented aspects of the design process. **Design Studies**, v. 22, n. 3, p. 283–295, 2001.

GERO, J. S.; KANNENGIESSER, U. Representational affordances in design, with examples from analogy making and optimization. **Research in Engineering Design**, v. 23, n. 3, p. 235–249, 2012.

GERO, J. S.; JIANG, H.; WILLIAMS, C. B. Design cognition differences when using unstructured, partially structured, and structured concept generation creativity techniques. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 1, n. 4, p. 196–214, 2013.

GERO, J. S.; TVERSKY, B.; KNIGHT, T. **Visual and Spatial Reasoning in Design**. p.1–292, 2007.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GLANVILLE, R. Try again. Fail again. Fail better: the cybernetics in design and the design in cybernetics. **Kybernetes**, v. 36, n. 9/10, p. 1173–1206, 2007.

GOLDSCHMIDT, G. The dialectics of sketching, **Creativity Research Journal**, v. 4, n.2, p. 283-295, 1991.

GOLDSCHMIDT, G. Ubiquitous Serendipity: Potential Visual Design Stimuli are Everywhere. **Springer**, p. 205–214, 2015.

GOLDSCHMIDT, G. The dialectics of sketching. **Creativity Research Journal** Vol 4 No 2 p. 123-143, 1991.

GOEL, V. **Sketches of thought**. Cambridge: MIT Press, 1995.

GUO, X. et al. Creature grammar for creative modeling of 3D monsters. **Graphical Models**, v. 76, n. 5, p. 376–389, 2014.

GÜRSOY, B.; ÖZKAR, M. Visualizing making: Shapes, materials, and actions. **Design Studies**, v. 41, p. 29–50, 2015.

HILL, A. Problem Solving in Real-Life Contexts: An Alternative for Design in Technology Education. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 8, n. 3, p. 203–220, 1998.

HOWARD, T. J.; CULLEY, S. J.; DEKONINCK, E. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 160–180, 2008.

HYBS, I.; GERO, J. S. An evolutionary process model of design. **Design Studies**, v. 13, n. 3, p. 273-290, 1992.

INGOLD, T. The Textility of Making. **Cambridge Journal of Economics**, Vol. 34, Issue 1, pp. 91-102, 2010. Disponível em SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1540398> ou <http://dx.doi.org/10.1093/cje/bep042>.

_____. **Estar vivo: ensaios sobre movimento, conhecimento e descrição**. Trad. Fábio Creder. Petrópolis, RJ: Vozes, 2015.

_____. **Making: Anthropology, archaeology, art and architecture**. New York: Routledge, 2013.

_____. **The perception of the environment: essays on livelihood, dwelling and skill**. New York: Routledge, 2002.

JONSON, B. Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. **Design studies**, v. 26, n. 6, p. 613-624, 2005.

KAMEI, Helder. **Flow e psicologia positiva: estado de fluxo, motivação e alto desempenho**. 1. ed. Goiânia: IBC, 2014.

KANNENGIESSER, U.; GERO, J. S. A Process Framework of Affordances in Design. **Design Issues**, v. 28, n. 1, p. 50-62, 2012.

KIELAROVA, S. W.; PRADUJPHONGPHET, P.; BOHEZ, E. L. J. New interactive-generative design system: Hybrid of shape grammar and evolutionary design - An application of jewelry **design6th International Conference on Swarm Intelligence, ICSI 2015 held in conjunction with the 2nd BRICS Congress on Computational Intelligence, CCI 2015**, 2015.

KIMBELL, L. Designing for service as one way of designing services. **International Journal of Design**, v. 5, n. 2, p. 41-52, 2011.

KNIGHT, T.; VARDOULI, T. Computational making. **Design Studies**, v. 41, p. 1-7, 2015.

KNIGHT, T. Shapes and Other Things. **Nexus Network Journal**, v. 17, n. 3, p. 963-980, 2015.

KOLAREVIC, B. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. Taylor & Francis, 2003.

KRISH, S. A practical generative design method. **Computer-Aided Design**, v. 43, n. 1, p. 88-100, 2011.

KRIPPENDORFF, K. Conversation: Possibilities of its repair and descent into discourse and computation. **Constructivist Foundations**, v. 4, n. 3, p. 134-147, 2009.

KRIPPENDORFF, K. **Measuring the Reliability of Qualitative Text Analysis Data**. Quality and Quantity, v. 38, n. 6, p. 787-800, 2004.

KUDROWITZ, B.; TE, P.; WALLACE, D. The influence of sketch quality on perception of product-idea creativity. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 26, n. 03, p. 267-279, 2012.

LAWSON, B. **Como arquitetos e designers pensam**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

LAWSON, B. 'Fake' and 'Real' Creativity using Computer Aided Design : some lessons from Herman Hertzberger. **Proceedings of the 3rd conference on Creativity & Cognition**, p. 1–19, 1999.

LEE, J. et al. Evaluating Creativity in Parametric Design Processes and Products: A Pilot Study. **Proceedings of Design Computing and Cognition (DCC)**, 2012.

LEE, J. H.; GU, N.; OSTWALD, M. J. Creativity and parametric design? Comparing designer's cognitive approaches with assessed levels of creativity. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 3, n. 2, p. 78–94, 2015.

LEE, J. H.; GU, N.; SHERRATT, S. Developing a framework for evaluating creativity in parametric design. **Cognition**, 2011.

LEE, J. H. et al. **Understanding cognitive activities in parametric design**. 15th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Futures, CAAD Futures. Shanghai, 2013.

LESGOLD, A.; NAHEMOW, M. Tools to assist learning by doing: Achieving and assessing efficient technology for learning. **Cognition and instruction: Twenty-five years of progress**, p. 307-346, 2001.

LU, C. C. The relationship between student design cognition types and creative design outcomes. **Design Studies**, v. 36, n. C, p. 59–76, 2015.

NAGAI, Y.; TAURA, T. Studies of Design Creativity: A Review and its Prospects. v. 95, 2015.

MACHADO, R. **Deleuze, a Arte e a Filosofia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2009. p.141.

MATURANA, H. R. & VARELA, F. J. **A Árvore do Conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Pala Athenas, 2001.

MERLEAU-PONTY, M. **O primado da percepção e suas consequências filosóficas**. Belo Horizonte: Ed. Autentica, 2015.

MILARA, I. S. et al. Human and Technological Dimensions of Making in Fab Lab. **The Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S1080–S1092, 2017.

MITCHELL, W. **A lógica da arquitetura**. Campinas: Ed. Unicamp, 2008.

MONTANER, J. M. **A condição contemporânea da arquitetura**. São Paulo: Editora Gustavo Gilli, 2016.

MONTELISCIANI, G.; MAZZEI, D.; FANTONI, G. How the Next Generation of Products Pushes to Rethink the Role of Users and Designers. **Procedia CIRP**, v. 21, p. 93–98, 2014.

MORAES, Dijon De. **Análise do design brasileiro: entre mimese e mestiçagem**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

OXMAN, R. The thinking eye: visual re-cognition in design emergence. **Design Studies**, v. 23, n. 2, p. 135-164, 2002.

_____. Educating the designerly thinker. **Design Studies**, v. 20, n. 2, p. 105-122, 1999.

_____. Design by re-representation: a model of visual reasoning in design. **Design studies**, v. 18, n. 4, p. 329-347, 1997.

_____. Prior knowledge in design: a dynamic knowledge-based model of design and creativity. **Design Studies**, v. 11, n. 1, p. 17-28, 1990.

_____. Theory and design in the first digital age. **Design studies**, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006.

_____. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 99-120, 2008.

_____. MFD : Material-Fabrication-Design : A Classification of Models from Prototyping to Design. In **Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS)**, Symposium Amsterdam, 2015.

_____. The New Structuralism: Conceptual Mapping of Emerging Key Concepts in Theory and Praxis. **International Journal of Architectural Computing**, v. 8, n. 4, p. 419–438, 2010.

_____. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n. 2, p. 99–120, 2008.

_____. Sharing media and knowledge in design pedagogy. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 15, n. June, p. 291–305, 2010.

PAIVIO, A. **Mind and its evolution; A dual coding theoretical interpretation**, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 2006.

PALLASMAA, Juhani. **A imagem corporificada: imaginação e imaginário na arquitetura**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PALLASMAA, Juhani. **Os olhos da pele: a arquitetura e os sentidos**. Trad. Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2011.

PARK, J.; KIM, Y. Visual reasoning and design processes. **International Conference on Engineering Design**, Iced'07, n. August, p. 1–12, 2007.

PARK, J.; KIM, Y.; CHO, J. Visual reasoning as a critical attribute in design creativity. **Proceedings of International Design Research Symposium**, n. 2005, p. 1–11, 2006.

PASCHOARELLI, L. C. et al. **Design e Tecnologia: Uma Abordagem Bibliométrica No Periódico Design Studies**. e-Revista LOGO, v. 6, n. 1, p. 102–125, 2017.

PATERSON, G. Capturing and analysing shape creation in design. **DESIRE '11 Proceedings of the Second Conference on Creativity and Innovation in Design**, p. 73–79, 2011.

PERRY, G. T.; KRIPPENDORFF, K. On the reliability of identifying design moves in protocol analysis. **Design Studies**, v. 34, n. 5, p. 612–635, 2013.

PURCELL, A. T.; GERO, John S. **Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology**. Design studies, v. 19, n. 4, p. 389–430, 1998.

PUPO, R. **Inserção da PROTOTIPAGEM e FABRICAÇÃO DIGITAIS no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. 259 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

PUPO, R. **Laboratório de Prototipagem e Novas Tecnologias Orientadas ao 3D – PRONTO 3D**. III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ), São Paulo, n. 1, p. 1–8, 2014.

QUEIROZ, J.; FARIAS, P. **Visualizando Signos**. São Paulo: Blucher, 2017.

QUINTELLA, I. P. C. P. et al. **Fab Labs : A Expansão da Rede Brasileira e Sua Inserção no Contexto Acadêmico e no Ensino de Engenharia**. Fab Learn, p. 4, 2016. Disponível em http://fablearn.org/wp-content/uploads/2016/09/FLBrazil_2016_paper_70.pdf. Acesso em: 05 jun.

PURCELL, A. T.; GERO, John S. Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology. **Design studies**, v. 19, n. 4, p. 389-430, 1998.

RADFORD, A. D.; GERO, J. S. On optimization in computer aided architectural design. **Building and Environment**, v. 15, n. 2, p. 73–80, 1980.

RAMELLA, F.; MANZO, C. Into the crisis: Fab Labs – a European story. **Sociological Review**, v. 66, n. 2, p. 341–364, mar. 2018.

RITTEL, H. W. J. The reasoning of designers. **International Congress on Planning and Design Theory**. 1987.

ROSENHOLTZ, R.; DORAI, A.; FREEMAN, R. Do predictions of visual perception aid design? **ACM Transactions on Applied Perception**, v. 8, n. 2, p. 1–20, 2011.

SALDAÑA, J. The coding manual for qualitative researchers. 2. ed. London: Sage Publications Ltd., 2013.

SALMAN, H. S.; LAING, R.; CONNIFF, A. The impact of computer aided architectural design programs on conceptual design in an educational context. **Design Studies**, v. 35, n. 4, p. 412–439, 2014.

SAMPIERI, RH; COLLADO, C.F; LUCIO, M.P.B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SASS, L.; OXMAN, R. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 325-355, 2006.

SCHON, D. A.; WIGGINS, G. Kinds of seeing and their functions in designing. **Design studies**, v. 13, n. 2, p. 135-156, 1992.

SCHÖN, D. A. **The reflective practitioner**: How professionals think in action. New York: Basic Books, 1983.

_____. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. **Research in Engineering Design**, v. 3, n. 3, p. 131-147, 1992.

_____. **Educando o profissional reflexivo**: um novo design para o ensino e a aprendizagem. Porto Alegre: Artmed, 2000.

SADOSKI, M., & PAIVIO, A. **Imagery and text: A dual coding theory_of reading and writing**. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum_Associates, 2001.

SALOVAARA, A. Inventing new uses for tools: a cognitive foundation for studies on appropriation. **Human Technology**, v. 4, n. 2, p. 209–228, 2008.

SELF, J. .; EVANS, M. .; KIM, E. J. . A comparison of digital and conventional sketching: Implications for conceptual design ideation. **Journal of Design Research**, v. 14, n. 2, p. 171–202, 2016.

SIMONDON, G. **El modo de existencia de los objetos técnicos**. 1a. ed. Buenos Aires: Prometeo Libros, 2007.

_____. **Imagination et invention**, 1965-1966. Paris: Les Éditions de la Transparence, 2008.

SINGH, Vishal; GU, Ning. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, v. 33, n. 2, p. 185-207, 2012.

STERNBERG, R. **Psicologia Cognitiva**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

STINY, G. What Rule(s) Should I Use? **Nexus Network Journal**, v. 13, n. 1, p. 15–47, 2011.

STJERNFELT, F. **Diagrammatology: An Investigation on the Borderlines of Phenomenology, Ontology, and Semiotics**, Berlin: Springer, 2007

SUN, L. et al. Creative Segment: A descriptive theory applied to computer-aided sketching. **Design Studies**, v. 35, n. 1, p. 54–79, 2014.

SUN, G.; YAO, S. a New Framework of Studying the Cognitive Model of Creative Design. **Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design**, n. August, p. 501–510, 2011.

SUWA, M.; GERO, J. S.; PURCELL, T. The roles of sketches in early conceptual design processes. In: **Proceedings of Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society**. p. 1043-1048, 1998.

SUWA, M.; GERO, J. S.; PURCELL, T. Unexpected discoveries: How designers discover hidden features in sketches. In: **Visual and spatial reasoning in design. Key Centre of Design Computing and Cognition**, University of Sydney, Sydney, 1999.

SUWA, M.; PURCELL, T.; GERO, J. S. Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. **Design studies**, v. 19, n. 4, p. 455-483, 1998.

SUWA, M.; TVERSKY, B. How do architects interact with their design sketches in exploring design ideas. In: **Proceedings of 4th Australasian Cognitive Science Conference**. 1997.

SUWA, M.; TVERSKY, B. What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. **Design Studies**, v. 18, n. 4, p. 385-403, 1997.

SUWA, M.; GERO, J. S.; PURCELL, T. A. The Roles of Sketches in Early Conceptual Design Processes. **Proceedings of the Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society**, n. 1992, p. 1043-1048, 1998.

TAFFE, S. The hybrid designer/end-user: Revealing paradoxes in co-design. **Design Studies**, v. 40, p. 39-59, 2015.

TRACEY, M. W.; HUTCHINSON, A. Uncertainty, reflection, and designer identity development. **Design Studies**, v. 42, p. 86-109, 2016.

TROIANO, L.; BIRTOLO, C. Genetic algorithms supporting generative design of user interfaces: Examples. **Information Sciences**, v. 259, p. 433-451, 2014.

TVERSKY, B. **Visuospatial Reasoning**. The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning, p. 209-240, 2005.

VAN HOLM, E. J. What are Makerspaces, Hackerspaces, and Fab Labs? **SSRN Electronic Journal**, 2015.

VAN SOMEREN, M. W., BARNARD, Y. F., & SANDBERTH, J. A. C. **The think aloud method: A practical guide to modelling cognitive processes**. London: Academic Press, 1994.

VAN SOMEREN, M., REIMANN, P., BOZHIMEN, H., & DE JONG, T. (Eds.). **Learning with multiple representations**. Oxford, United Kingdom: Elsevier Science Ltd. 1998.

VANTI, N. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento**. Ciência da Informação, v. 31, n. 2, p. 152-162, maio/ ago. 2002.

VARDOULI, T. Making use: Attitudes to human-artifact engagements. **Design Studies**, v. 41, p. 137-161, 2015.

VISSER, W. Designing as Construction of Representations: A Dynamic Viewpoint in Cognitive Design Research. **Human–Computer Interaction**, v. 21, n. 1, p. 103–152, 2006.

WINOGRAD, T.; FLORES, F. On Understanding Computers and Cognition: A New Foundation for Design: A response to the reviews. **Artificial Intelligence**, v. 31, n. 4, p. 250–261, 1987.

WOODBURY, R. **Elements of Parametric Design**. New York: Routledge, 2010.

YI, Y. K.; KIM, H. Agent-based geometry optimization with Genetic Algorithm (GA) for tall apartment's solar right. **Solar Energy**, v. 113, p. 236–250, 2015.

YILMAZ, S. et al. Evidence-based design heuristics for idea generation. **Design Studies**, v. 46, p. 95–124, 2016.

YU, R.; GERO, J. S.; GU, N. Cognitive effects of using parametric modeling by practicing architects. In: **The 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)**, p. 1–10, 2014.

YU, R.; GERO, J.; GU, N. Architects' Cognitive Behaviour in Parametric Design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 1, n. 13, p. 83–101, 2015.

WOLF, P. et al. Sharing is Sparing: Open Knowledge Sharing in Fab Labs. **Journal of Peer Production**, n. 5, p. 1–11, 2014.

ZAMENOPOULOS, T. A complexity theory of design intentionality. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing**, v. 26, n. 01, p. 63–83, 2012.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO

Olá! O preenchimento desse questionário tem o objetivo de conhecer um pouco mais sobre a sua experiência em um laboratório de fabricação digital. Se tiver dúvidas sobre o preenchimento estarei por perto para lhe ajudar.

ÁREA 1 - Fale um pouco sobre você

Nome completo _____
 Data de nascimento _____ Município onde reside _____ U.F. _____
 E-mail de contato _____ Telefone de contato _____

ÁREA 2 - Fale um pouco sobre sua formação educacional

- Graduação incompleta, no curso de _____, na instituição _____.
- Graduação completa, no curso de _____, na instituição _____, formado(a) no ano de _____.
- Pós-graduação incompleta, no curso de _____, na instituição _____.
- Pós-graduação completa, no curso de _____, na instituição _____, formado(a) no ano de _____.

ÁREA 3 - Fale um pouco sobre sua atuação profissional no laboratório

- Bolsista de graduação, no curso de _____, na instituição _____.
Há quanto tempo você atua nessa função? _____.
- Bolsista de pós-graduação, no curso de _____, na instituição _____.
Há quanto tempo você atua nessa função? _____.
- Profissional, na área de _____, no cargo de _____, na instituição _____.
Há quanto tempo você atua nessa função? _____.
- Visitante frequente, sem vínculo com a instituição, com atuação na área de _____.

ÁREA 4 - Me conte sobre suas experiências iniciais no laboratório

- Onde aconteceu seu primeiro contato com os laboratórios de fabricação digital?
☐ em curso de graduação ☐ em curso de pós-graduação ☐ em eventos e congressos ☐ Pronto 3D
- Você participa de grupos ou fórum de discussão online sobre fabricação digital?
☐ Não ☐ Sim. Qual ou quais? _____.
- Você já participou de cursos de formação continuada sobre fabricação digital?
☐ Não ☐ Sim, ofertados em: ☐ curso de graduação ☐ curso de pós-graduação
☐ eventos e congressos ☐ Pronto 3D
- Quantos dias por semana você realiza atividades no laboratório de fabricação digital?
☐ entre 1 e 2 dias ☐ entre 3 e 4 dias ☐ todos os dias da semana

QUESTIONÁRIO (CONT.)

ÁREA 5 - Gostaria de saber um pouco mais sobre sua experiência prática no laboratório	
▪ Sobre as técnicas para modelagem computacional:	
Gramática da Forma ☐ Não conhece a técnica. ☐ Conhece a técnica, mas nunca usou. ☐ Conhece a técnica, mas usa raramente. ☐ Conhece a técnica e usa com frequência. Programas que mais utilizo _____ _____	Algoritmo Genético ☐ Não conhece a técnica. ☐ Conhece a técnica, mas nunca usou. ☐ Conhece a técnica, mas usa raramente. ☐ Conhece a técnica e usa com frequência. Programas que mais utilizo _____ _____
Design Paramétrico ☐ Não conhece a técnica. ☐ Conhece a técnica, mas nunca usou. ☐ Conhece a técnica, mas usa raramente. ☐ Conhece a técnica e usa com frequência. Programas que mais utilizo _____ _____	Você conhece alguma outra técnica? Se conhece, nos fale um pouco sobre ela. Caso contrário, tudo bem, pode deixar esse espaço em branco. _____ _____ _____ _____
▪ Dentre as tecnologias para fabricação disponíveis no laboratório:	
Qual a mais utilizada por você? _____ _____ _____ _____ _____	Por que? _____ _____ _____ _____ _____
Qual a menos utilizada por você? _____ _____ _____ _____ _____	Por que? _____ _____ _____ _____ _____

QUESTIONÁRIO (CONT.)

ÁREA 6 - Fique à vontade para compartilhar conosco acontecimentos considerados importantes por você para sua formação nos laboratórios de fabricação digital.

Muito obrigado por sua participação!

Por favor, date e assine abaixo o questionário preenchido por você. Não deixe de rubricar as outras páginas do questionário. Até breve.

Local _____, de _____ de _____.

Assinatura do voluntário da pesquisa

APÊNDICE B – PROTOCOLO OBSERVACIONAL DO DIÁRIO DE CAMPO

Foco nas percepções do participante da pesquisa em relação ao ambiente digital para concepção e fabricação do artefato e nas memórias de experiências vividas nesse tipo de ambiente em relação a:

1) Técnica de modelagem computacional

A técnica de modelagem definida para o experimento pelo participante da pesquisa se ajusta à sua familiaridade com a técnica de preferência respondida em questionário? Qual a relação que pode ser estabelecida, apresentada pelo participante da pesquisa, com tecnologia para fabricação a ser utilizada?

2) Tecnologia de fabricação digital

Quanto a tecnologia para fabricação digital escolhida para o experimento pelo participante da pesquisa: Está de acordo com a familiaridade com a tecnologia respondida em questionário? O laboratório apresenta alguma restrição no uso de alguma máquina em função de manutenção? Se sim, esse fato interfere de que maneira no experimento individual?

Protocolo observacional do diário de campo	
Participante / Instituição:	Data:
Quanto a Técnica Modelagem Computacional	Quanto a Tecnologia Fabricação Digital
hora de início:	hora de início:
hora de término:	hora de término:
duração total:	duração total:

APÊNDICE C – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)



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

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **Do digital ao material: narrativas da percepção em processos digitais para concepção e fabricação de artefatos**, que está sob a responsabilidade da pesquisadora **Aura Celeste Santana Cunha**, com domicílio à **Rua Padre Antonino, 963, Joaquim Távora, Fortaleza/CE, CEP 60110 480** – telefone para contato (85) 99704.0166 (para ligação a cobrar – 9090 9704.0166) e contato por e-mail em auracel@gmail.com.

A pesquisadora responsável está sob a orientação do **Prof. Dr. Ney Brito Dantas**, telefone: (081) 99297.7366, e-mail ney.dantas@gmail.com.

O objetivo da pesquisa é realizar um estudo das ações e percepções do projetista durante as atividades de modelagem computacional e de fabricação digital de um artefato. A finalidade deste trabalho é contribuir para que esses registros de ações e sua posterior análise proporcione uma visão mais ampla dos tipos de subjetividade produzida por designers e/ou arquitetos experientes durante o ato projetual ao utilizarem técnicas e tecnologias inerentes ao ambiente digital voltado ao projeto, bem como ampliar a discussão sobre as tecnologias digitais para concepção e fabricação direcionada ao ensino em design, como práticas e reflexões sobre o projeto em ambiente digital, enquanto objeto de estudo.

Solicitamos a sua colaboração para participar dessa pesquisa que constará com o preenchimento de um questionário onde serão coletadas informações sobre a sua formação educacional em laboratórios de fabricação digital, conhecimentos adquiridos, suas ideias, sensações, crenças e valores dentro desse ambiente. Após o questionário você será convidado a realizar a modelagem virtual e física de um artefato que será definido por você e todo o processo será gravado e filmado para posterior análise. Um ponto importante a acrescentar é que você precisará falar para a pesquisadora responsável, em voz alta, tudo o que você está fazendo em todo o tempo em que você realiza a atividade que deverá ter um tempo médio de duração de noventa (90) minutos. Como critério para garantir sua participação na pesquisa você precisa ter uma experiência mínima de um (1) ano realizando atividades em laboratório de fabricação digital e ser maior de dezoito (18) anos.

A pesquisadora responsável restringirá sua participação a orientações necessárias para tirar possíveis dúvidas sobre o preenchimento do questionário e não fará nenhuma intervenção durante a execução da atividade a ser realizada por você, salvo situação em que você esqueça de verbalizar alguma ação executada.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa como gravações, entrevistas e filmagens, ficarão armazenados em computador pessoal, sob a responsabilidade da pesquisadora, no endereço acima informado, pelo período de mínimo 5 anos, e você pode solicitar à pesquisadora responsável uma cópia das filmagens após a defesa pública da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas com transporte, alimentação, hora/uso de máquinas e matéria-prima para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores.

Esclarecemos que você estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br).

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **Do digital ao material: narrativas da percepção em processos digitais para concepção e fabricação de artefatos**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Impressão
digital
(opcional)

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar.
(02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura: