



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

Natal Anacleto Chicca Junior

A INTEGRAÇÃO DA IMPRESSORA 3D FDM NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA PRÁTICA PROJETUAL DE DESIGN

RECIFE

2017

Natal Anacleto Chicca Junior

A INTEGRAÇÃO DA IMPRESSORA 3D FDM NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DA PRÁTICA PROJETUAL DE DESIGN

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Design.
Linha de pesquisa: Design, Tecnologia e Cultura.

Orientador: Prof. Leonardo Gómez Castillo, Ph.D.

RECIFE

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO ACADÊMICO DE

NATAL ANACLETO CHICCA JUNIOR

"O PROCESSO DE MATERIALIZAÇÃO DE *BITS* EM ÁTOMOS ATRAVÉS DA
IMPRESSÃO 3D FDM APLICADA NO ENSINO DE DESIGN."

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Planejamento e Contextualização de Artefatos.

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a)
candidato(a) **Natal Anacleto Chicca Junior** APROVADO .

Recife, 31 de agosto de 2017.

Prof. WALTER FRANKLIN MARQUES CORREIA (UFPE)

Prof. ANDRÉ MENEZES MARQUES DAS NEVES (UFPE)

Prof. NEY BRITO DANTAS (UFPE)

Prof. PEDRO MARTINS ALÉSSIO (UFPE)

Prof^a. LETÍCIA TEIXEIRA MENDES (UFPE)

Eu dedico este trabalho aos meus pais, responsáveis por uma parte muito importante de minha educação e também à minha filha Júlia por mostrar, a cada dia, os desafios de ser pai e o quanto eu ainda preciso aprender a ensinar.

Agradecimentos

Difícilmente eu vou conseguir agradecer a todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, com a realização deste trabalho. De todo modo, gostaria de fazer os seguintes agradecimentos:

Ao Instituto UFC Virtual e à Universidade Federal do Ceará por ter proporcionado o meu afastamento para eu poder me dedicar aos estudos e ao desenvolvimento desta tese.

A todos os meus colegas de trabalho, cujo auxílio foi fundamental para superar todas as dificuldades, ao longo destes quatro anos de estudo. Em especial, gostaria de agradecer aos meus amigos do curso de Sistemas e Mídias Digitais: Alysson, Gabriel, George, Melo Junior e Rafael por toda ajuda prestada.

Ao programa de Pós-Graduação em Design da UFPE por ter me recebido no programa de Doutorado, em especial ao meu orientador, o Professor Leonardo, por ter acreditado na proposta de tese, e por toda ajuda, acompanhamento e esclarecimentos prestados durante todo o período de realização deste trabalho.

Aos meus colegas das disciplinas do Doutorado, aos integrantes dos laboratórios de pesquisa e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Design.

A todos os professores que participaram da minha banca de qualificação e defesa por terem ajudado a corrigir e refinar o meu trabalho e chegar neste resultado final. Em especial, aos Professores Leticia e Pedro, ambos do Departamento de Expressão Gráfica, por terem também participado da disciplina realizada, assim como também da minha banca de defesa.

A todo o apoio de minha família, principalmente no último ano, bastante conturbado pela necessidade em concluir a tese junto aos problemas de saúde os quais eu passei durante o mesmo período. O que leva ao agradecimento mais que especial à Lily, minha grande amiga, namorada e esposa, por toda a ajuda, apoio, suporte, sabedoria, tranquilidade e muita, mas muita paciência, ao longo desta etapa tão conturbada de minha vida. Agradeço de coração à toda a ajuda prestada. Não poderia esquecer o auxílio da minha cunhada Rose, que também ajudou no desenvolvimento da tese.

Obrigado a todos que fazem parte de minha vida, vocês auxiliaram, de alguma forma, para eu conseguir obter o resultado deste trabalho.

RESUMO

As demandas, cada vez mais exigentes, impostas pelo mercado e pela indústria, estimulam inovações tecnológicas no processo de fabricação de produtos. Essas inovações geram um aumento de complexidade na atividade projetual que acarretam em mudanças em sua metodologia. Neste cenário, os cursos universitários precisam compreender de que forma as novas tecnologias podem ser incorporadas, de modo a contribuir com o ensino e na pesquisa, além de reduzir a distância entre as atividades práticas acadêmicas daquelas desenvolvidas na indústria. A impressora 3D vem se mostrando uma incrível ferramenta para estudos da forma e volumetria de geometrias complexas, utilizando objetos físicos, feitos a partir de recursos digitais, que antes estavam limitados a visualização bidimensional das telas dos computadores ou que demandaria bastante tempo e muita habilidade para ser desenvolvido através do processo de modelagem manual. Com isso, ela também contribui na conscientização do uso de modelos e protótipos, ao longo das etapas de desenvolvimento, em benefício do projeto. Na busca por avaliar as vantagens e limitações, em relação ao uso de impressoras 3D *open source* FDM aplicadas no ensino da prática projetual, a tese encontrou algumas barreiras e dificuldades ao longo deste processo. Apesar de seus diferenciais, a tecnologia de impressão 3D apresentou um perfil de uso bastante experimental, resultando em muitas falhas no processo de materialização, nível de dificuldade acentuado em configurar da maneira correta e conseguir obter os resultados desejados. Os estudos realizados também mostraram que não basta inserir uma nova ferramenta, dentro da sala de aula, se não existe planejamento e cuidado com o seu uso. O emprego das metodologias de projeto tradicionais se mostrou inadequado. Também foi identificado que as práticas vigentes do processo ensino-aprendizagem precisam ser revistas, de forma a não apenas incluir, mas integrar as novas ferramentas na prática projetual. As universidades públicas brasileiras sofrem dificuldades desde compra de equipamentos, seus insumos e/ou manutenção, passando pela falta de salas de aula, laboratórios de pesquisas e ambientes apropriados para o uso da ferramenta. Além da falta de equipamentos e estrutura, ainda é preciso educar alunos e professores tanto em relação ao funcionamento e à utilização das novas tecnologias como na cultura de aplicá-las ao longo do processo de desenvolvimento de um produto. Neste caso, é preciso incorporá-la na reformulação do plano de ensino e, conseqüentemente, da grade curricular, de modo que também possa contribuir com o aprendizado. Além dos desafios em conhecer e dominar a ferramenta de impressão 3D, os experimentos pedagógicos realizados mostraram que os alunos também possuem dificuldades em relação ao próprio processo projetual. Desta forma, a prática do ensino modular, através do aprendizado básico prévio, tanto da impressora 3D, quanto das práticas metodológicas de projeto, vai permitir que os alunos se dediquem, de forma integral, ao desenvolvimento pleno dos projetos, utilizando as novas tecnologias. Por fim, ao empregar a impressão 3D, nos cursos de design, espera-se aproximar os estudantes e os professores com as ferramentas utilizadas nas empresas e nas indústrias, trazendo benefícios para todos os envolvidos no desenvolvimento de projetos. Não apenas em relação ao domínio das ferramentas, mas estimulando um processo de raciocínio incorporado ao uso de tecnologias contemporâneas no desenvolvimento de um projeto de design.

Palavras-chaves: Impressão 3D. Processo projetual. Ensino de design. Prototipagem rápida.

ABSTRACT

The demands, increasingly every time, imposed by the market and industry, stimulate technological innovations in the process of manufacturing products. These innovations generate an increase of complexity in the project activity that entail in changes in its methodology. In this scenario, university courses need to understand how new technologies can be incorporated, in order to contribute to teaching and research, and to reduce the gap between the academic practices of those developed in industry. The 3D printer is proving to be an incredible tool for studying the shape and volumetry of complex geometries, made from digital resources, using physical objects, that were once limited to two-dimensional visualization of computer screens or that would require a lot of time and a lot of skill to be developed through the manual modeling process. Therefore, it also contributes to the awareness of the use of models and prototypes throughout the stages of development, for the benefit of the project. Searching for to evaluate the advantages and limitations, in relation to the use of open source 3D printers FDM applied in the teaching of the design practice, this thesis found some barriers and difficulties throughout this process. Despite its differentials, 3D printing technology presented a very experimental use profile, resulting in many failures in the materialization process, accentuated level of difficulty in configuring correctly to achieve the desired results. The studies also showed that it is not enough to insert a new tool, inside the classroom, if there is no planning and care with its use. The use of traditional design methodologies proved to be inadequate. It was also identified that the current practices of the teaching-learning process need to be revised, so as not only to include, but to integrate the new tools into the design practice. Brazilian public universities face difficulties from the purchase of equipment, their supplies and/or maintenance, to the absence of suitable classrooms, research laboratories and appropriate environments for the use of the tool. In addition to the lack of equipment and structure, it is still necessary to educate students and teachers both regarding the operation and use of new technologies, also the culture of applying them throughout the development process of a product. In this case, it is necessary to incorporate it in the reformulation of the teaching plan and, consequently, of the curriculum, so that it can also contribute to the learning. In addition to the challenges of knowing and mastering the 3D printing tool, the pedagogical experiments carried out showed that students also have difficulties in relation to the design process itself. In this case, the practice of modular teaching, through the prior basic learning of both the 3D printer and the methodological design practices, will enable students to dedicate themselves fully to the full development of projects using new technologies. Finally, when employing 3D printing, in design courses, it is expected to bring students and teachers closer to the work process used in companies and industries, bringing benefits to all involved in the development of projects. Not only in relation to the mastery of the tools, but stimulating a new logic incorporated to the use of contemporary technologies in the development of a design project.

Key-words: 3d printing. Design process. Design teaching. Rapid prototyping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura projetual com feedback.	20
Figura 2: Fidelidade de reprodução em diferentes meios, manual e digital.	40
Figura 3: Dispositivos com canetas digitais: Samsung Galaxy Note, Apple iPad Pro, Microsoft Surface Book.	41
Figura 4: Mesas digitalizadoras da Wacom: Intuos Pro, Cintiq, MobileStudio Pro.	41
Figura 5: Corte lateral mostrando o processo de estereolitografia.	61
Figura 6: Exemplos de modelos impressos em SLA.	62
Figura 7: Representação do processo de SGC.	62
Figura 8: Representação do processo de SLS.	63
Figura 9: Representação do processo de 3DP.	64
Figura 10: Esquema e foto do detalhe do laser fundindo o pó metálico.	65
Figura 11: Peças produzidas pelo processo de LENS.	65
Figura 12: Representação do processo de LOM.	66
Figura 13: Dificuldade para remover peça feita pelo processo de LOM.	66
Figura 14: Representação do processo de FDM.	67
Figura 15: Dificuldade para remover suporte pode danificar a peça.	67
Figura 16: Peça composta por partes móveis e impressa toda montada.	70
Figura 17: Representações dos projetos dos alunos utilizando diferentes técnicas.	114
Figura 18: Oficina para aprender a utilizar o <i>software</i> 123D Make.	115
Figura 19: Diferentes resultados de acabamento utilizando impressoras de mesmo modelo com as mesmas configurações.	116
Figura 20: Diversas tentativas de impressão para conseguir o resultado esperado.	117
Figura 21: Projetos finais da disciplina feitos com corte à laser.	119
Figura 22: Cilindro feito a partir das tecnologias de corte à laser, impressão 3D e um simples rolo de papel.	121
Figura 23: Alimento real fatiado, modelo digital formado com as camadas redesenhadas e modelo final impresso.	137
Figura 24: Mesmo com mais experiência, a impressão 3D alterna bastante entre resultados ruins e bons.	137
Figura 25: Acabamento x velocidade de impressão para os chuchus e resultados inesperados no caso da carambola.	138
Figura 26: Diferentes ferramentas de representação utilizadas para o estudo do personagem.	140
Figura 27: Modelos criados pelos alunos em argila e digital.	140
Figura 28: Modelo de pequena escala e o resultado de seu escaneamento feito pelo Kinect.	141
Figura 29: Modelos maiores (busto humano) o Kinect oferece bons resultados.	141
Figura 30: Comparação entre o modelo de argila e o impresso em 3D. À direita o modelo digitalizado com o aplicativo 123D Catch.	142

Figura 31: Malha e modelo tridimensional gerados a partir da captura de fotos de um objeto real...	143
Figura 32: Algumas falhas no processo de impressão 3D durante a atividade 2.....	144
Figura 33: Exemplos de algumas partes dos corpos dos alunos digitalizadas.	146
Figura 34: Etapas do projeto de acessório de proteção para o joelho realizado na atividade 3.	147
Figura 35: Uso de recursos manuais para confecção do protótipo na atividade 3.....	147
Figura 36: Exemplos de geração de ideias através de desenhos ou massa de modelar.	150
Figura 37: Impressão dos arquivos e alguns chaveiros pintados manualmente.	167
Figura 38: Teste realizado para proposta do exercício 2.....	168

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Qual o curso e em qual semestre estão os alunos da disciplina?	123
Gráfico 2: Quais ferramentas os alunos já conheciam antes da disciplina.	123
Gráfico 3: Contribuição da prototipagem rápida na geração de ideias.....	124
Gráfico 4: Contribuição da prototipagem rápida na criação do protótipo.	125
Gráfico 5: Dificuldades dos alunos em relação à modelagem manual.....	125
Gráfico 6: Dificuldades dos alunos em relação à modelagem digital	126
Gráfico 7: Dificuldades dos alunos em relação ao corte à laser.....	127
Gráfico 8: Dificuldades dos alunos em relação à impressão 3D	127
Gráfico 9: Interesse dos alunos em voltar a utilizar impressão 3D nos projetos	128
Gráfico 10: Qual o curso e em qual semestre estão os alunos da disciplina?	153
Gráfico 11: As maiores dificuldades listadas pelos alunos para cada atividade.	153
Gráfico 12: Expectativa dos alunos em relação à disciplina.....	154
Gráfico 13: Pretensão em continuar utilizando impressão 3D.....	155
Gráfico 14: Número de alunos que utilizam <i>software</i> de modelagem orgânica.	156
Gráfico 15: Responsabilidade da universidade em ensinar <i>software</i>	157
Gráfico 16: Adesão dos alunos à ferramenta de escaneamento 3D..	157
Gráfico 17: Uso de diferentes meios de representação na atividade 2.	158
Gráfico 18: Uso da impressão 3D na etapa de geração de ideias.	159
Gráfico 19: Uso da impressão 3D nas etapas de desenvolvimento..	159
Gráfico 20: Impressora 3D como parte do curso de design e se pretende continuar utilizando a ferramenta.	160

LISTA DE SIGLAS E TERMOS

2D	Duas dimensões, bidimensional
3D	Três dimensões, tridimensional
3DP	<i>3D Printing</i> , impressão tridimensional
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i> , acrilonitrila butadieno estireno
ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
Bits	<i>Bit: binary digit</i> , dígito binário
CAC	Centro de Artes e Comunicação
CAD	<i>Computer Aided Design</i> , projeto auxiliado por computador
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i> , engenharia auxiliada por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> , fabricação auxiliada por computador
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBL	<i>Challenge Based Learning</i> , aprendizagem baseada em desafios
CDIO	<i>Conceiving - Designing - Implementing – Operating</i> , Concebendo - Projetando - Implementando - Operando
CES	Câmara de Educação Superior
CNC	<i>Computer Numeric Control</i> , comando numérico por computador
CNE	Conselho Nacional de Educação
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPU	<i>Central Processing Unit</i> , Unidade Central de Processamento
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
DIY	<i>Do It Yourself</i> (ver FVM)
EdaDe	Educação através do Design
EGR	Expressão Gráfica
FACEPE	Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i> , depósito de material fundido
Feedback	Realimentar ou dar resposta a um determinado pedido ou acontecimento
Funase	Fundação de Atendimento Socioeducativo
FVM	Movimento Faça Você Mesmo (ver <i>Makers</i>)
GRE3D	Grupo de Experimentos em Artefatos 3D
Hardware	Estrutura física do equipamento
I3	<i>Imitation, Iteration, Improvisation</i> , Imitação, Iteração e Improvisação

IDEO	Empresa internacional de design, localizada nos Estados Unidos.
IES	Instituição de Ensino Superior
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
LENS	<i>Laser Engineered Net Shaping</i> , conformação próxima ao formato final via laser
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i> , manufatura de objetos em lâminas
Makers	Adeptos do Movimento <i>Maker</i> (ver FVM)
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i> , placa de fibra de madeira de média densidade
MEC	Ministério da Educação e Cultura
MIT	Massachusetts Institute of Technology
Open source	Código aberto
PBL	<i>Project Based Learning</i> , aprendizagem baseada em projetos
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PLA	<i>PolyLactic Acid</i> , ácido polilático
PR	Prototipagem Rápida
RV	Realidade Virtual
PR	Prototipagem Rápida
SGC	<i>Solid Ground Curing</i> , Cura Sólida na Base
SLA	<i>Stereolithography</i> , Estereolitografia
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i> , Sinterização Seletiva a Laser
Software	Programa computacional
STL	<i>Standard Triangulation Language</i> , Linguagem de Triangulação Padrão
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TTM	<i>Time to Market</i> , tempo de lançamento no mercado
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> , Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
PROBLEMA DE PESQUISA	28
PERGUNTA DE PESQUISA	29
OBJETIVOS	30
JUSTIFICATIVA	30
ESTRUTURA DO TRABALHO	32
2. MEIOS DE REPRESENTAÇÃO APLICADOS EM PROJETOS	34
2.1. PROJETO REPRESENTADO POR DESENHOS	37
2.2. MODELOS 3D DIGITAIS E FÍSICOS	45
2.3. DIFERENTES TIPOS DE MODELOS E PROTÓTIPO	52
3. PROTOTIPAGEM RÁPIDA E IMPRESSÃO 3D	58
3.1. TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA	60
3.1.1. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em líquidos	61
3.1.2. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em pó	63
3.1.3. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em sólidos	65
3.2. PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D	68
3.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO DE PR NO PDP	71
4. IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE DESIGN	75
4.1. O USO DAS FERRAMENTAS DIGITAIS NO ENSINO DE DESIGN	76
4.2. DIRETRIZES CURRICULARES	86
4.3. AS NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM	91
4.4. ATUALIZAÇÕES NOS ESPAÇOS E NAS PRÁTICAS DE ENSINO	99
5. EXPERIMENTOS PEDAGÓGICOS E COLETA DE DADOS	110
5.1. DISCIPLINA I	112
5.1.1. O uso das ferramentas de representação na disciplina	114
5.1.2. Observações a respeito da disciplina I	118
5.1.3. Os questionários aplicados - disciplina I	121
5.1.4. Análise dos resultados dos questionários - disciplina I	122
5.1.5. Considerações sobre a disciplina I	129
5.2. DISCIPLINA II	133
5.2.1. O uso das ferramentas de representação na disciplina	134
5.2.2. As atividades realizadas durante a disciplina	136
5.2.3. Observações a respeito da disciplina II	148
5.2.4. Os questionários aplicados - disciplina II	152
5.2.5. Análise dos resultados dos questionários - disciplina II	153
5.2.6. Considerações sobre a disciplina II	161
5.3. OFICINA DE IMPRESSÃO 3D	165
5.3.1. Exercício 1: chaveiro	166
5.3.2. Exercício 2: escaneamento 3D	168
5.3.3. Considerações sobre a oficina	169
5.4. ENTREVISTAS	171
5.4.1. Síntese das entrevistas acadêmicas	172
5.4.2. Síntese das entrevistas empresariais	177
5.4.3. Análises e considerações das entrevistas	184
5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS	188
6. A IMPRESSÃO 3D NO ENSINO PROJETUAL DE DESIGN	195
6.1. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO PROJETUAL	195

6.2. ANÁLISE DAS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DA IMPRESSÃO 3D NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DE DESIGN	198
6.2.1. Estrutura preparada para o ensino das novas tecnologias	200
6.2.2. Metodologias para integrar impressão 3D no ensino projetual	204
6.2.3. Alterações na prática de ensino	207
6.2.4. O ensino sequencial e os requisitos de habilidades	209
6.2.5. Aprendizado técnico da linguagem das ferramentas digitais	211
6.2.6. Proposta de grade curricular para o ensino de novas tecnologias.....	217
7. CONCLUSÕES	222
REFERÊNCIAS.....	231
APÊNDICE I.....	240
APÊNDICE II.....	247
APÊNDICE III.....	249
APÊNDICE IV	254

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia evolui a cada dia, em uma grande velocidade. Segundo Tarouco (2011), os avanços tecnológicos proporcionam maior agilidade na execução de tarefas e trazem um crescente número de facilidades no dia a dia das pessoas; por isso, é importante saber utilizá-los da melhor maneira possível. Entre os diversos avanços na área de fabricação de produtos, o autor destaca a redução do esforço humano na realização de atividades e também o aperfeiçoamento do processo de criação e produção, proporcionando produtos com maior qualidade e melhor acabamento.

Durante o desenvolvimento desta tese, período que compreende entre agosto de 2013 a julho de 2017, não poderia ser diferente e, devido às evoluções tecnológicas, muitas coisas mudaram (e continuam mudando) na área de design de produtos. Em meio a tantos avanços, Milincu & Feier (2015) explicam que a indústria está passando por um processo de transformação, com isso, para que os designers tenham a chance de ter sucesso no novo ambiente, é necessário que eles desenvolvam um novo conjunto de habilidades, concentrado especialmente na interface entre os ambientes reais e digitais. Os autores afirmam que identificar tais habilidades é importante para adaptar o processo educacional em tempo hábil.

Pupo & Celani (2009) descrevem que, graças ao rápido desenvolvimento tecnológico, impulsionado por experiências e pesquisas em aplicações inovadoras, permitiu aos arquitetos ultrapassarem os limites da complexidade, alcançando com muito mais eficiência as necessidades e as exigências do ser humano. De acordo com Florio *et al.* (2007), a profissão de arquiteto tem sido transformada em uma mistura de processos analógico e digital, mesclando habilidades e conhecimentos tanto sobre artefatos produzidos manualmente quanto digitalmente. Mas, Florio *et al.* (2007) explicam que tais mudanças aconteceram aos poucos, desde o início dos anos 1990, os arquitetos foram incorporando os computadores na profissão, passando a utilizar modelos digitais para desenvolver seus projetos e, conseqüentemente, estudantes e profissionais foram substituindo a modelagem física pela digital. Assim como, os desenhos auxiliados por computador foram tomando lugar daqueles feitos manualmente.

Em contrapartida, o avanço do meio físico para o digital não, necessariamente, representa apenas vantagens para o desenvolvimento de projeto. Barbosa Filho (2009) explica que, por exemplo, a análise de um modelo físico torna mais fácil a percepção de detalhes e da própria complexidade envolvida no processo, principalmente nas fases iniciais da formação do projetista, sendo capaz de fornecer aos alunos uma melhor observação do inter-relacionamento

das partes, peças ou componentes, em especial no tocante às interfaces. "Aquilo que até então estava abstrato deve ganhar corpo e, dessa forma, ser posto à prova em seus aspectos funcionais, ergonômicos ou, mesmo, estéticos. Para tanto, o produto ganha existência na forma de modelos físicos, simples maquetes, *mock-up*, protótipos, ou ainda, com modelos ampliados." (BARBOSA FILHO, 2009, p.117). O que reforça a importância dos modelos físicos como elementos de auxílio na prática profissional.

Para Alcoforado Neto (2007), diversos autores percebem a importância dos protótipos, dentro do processo de design, pois eles permitem ao designer compreender, explorar, comunicar e avaliar as alternativas geradas. No entanto, Pizzolito (2004) explica a dificuldade envolvida ao utilizar protótipos manuais no processo projetual pois eles eram feitos apenas por habilidosos profissionais que esculpam as peças através de processos tradicionais de modelagem. O baixo grau de mecanização da atividade e a alta dependência da habilidade do profissional refletia em prazos longos para finalização de um trabalho e dificultava uma previsão estimada do tempo necessário de execução da tarefa, prejudicando o planejamento do projeto. Sendo assim, nas metodologias de design, segundo Alcoforado Neto (2007), o uso do protótipo é, geralmente, deixado para as fases finais do desenvolvimento do projeto, o que pode limitar o designer e demais atores do processo de design na avaliação de aspectos como: usabilidade, funcionalidade e estética. Tais dificuldades reforçam a necessidade de mudanças no processo e, por consequência, estimulam possíveis intervenções utilizando os avanços trazidos pelas ferramentas tecnológicas.

Considerando que o computador, graças aos seus recursos digitais, foi responsável por substituir os métodos tradicionais pelo ambiente virtual no processo de representação, Tramontano & Pereira Junior (2015) explicam que as técnicas de prototipagem rápida (PR), no ensino de projeto, trazem de volta o modelo físico ao centro desse processo. Pupo & Celani (2008) afirmam que devido aos avanços da computação gráfica, as maquetes estavam quase desaparecendo dos escritórios e cursos de arquitetura e, graças a PR, essa prática foi retomada, trazendo de volta os modelos físicos para o processo projetual. Assim como aconteceu nas práticas projetuais da arquitetura, o mesmo pode ser replicado no design. Com "a emergência de novas tecnologias como: a prototipagem virtual, prototipagem rápida, ferramenta rápida e manufatura rápida, podemos esperar uma maior utilização de protótipos no processo de design." (ALCOFORADO NETO, 2007, p.4).

A prototipagem rápida, segundo Florio *et al.* (2007), representa a terceira fase na evolução das técnicas de prototipagem, onde a primeira foi o desenho e prototipagem manuais

e a segunda a prototipagem virtual. Embora que, mesmo com esses avanços tecnológicos ferramentais, as incertezas em relação ao uso e falta de visão do potencial da prototipagem rápida pode ser devido ao seu pouco tempo de aplicação nos projetos. Mas, segundo Kaminski & Oliveira (2000), os experimentos da tecnologia em diferentes etapas do projeto, tem destacado a PR como uma promissora ferramenta na área de comunicação de ideias, e também como um modo alternativo na produção de peças. Nos últimos anos, de acordo com Junk & Matt (2015), diferentes processos utilizando a fabricação por adição, também chamado de fabricação digital ou de prototipagem rápida, surgiram no mercado. Esses processos oferecem a possibilidade de realizar testes de protótipos, utilizando, diretamente, as alternativas virtuais geradas no CAD, materializadas em modelos físicos. Em outras palavras, Florio *et al.* (2007) explicam que a PR permite criar modelos híbridos, reunindo algumas características de análise dos modelos físicos com os recursos digitais dos modelos virtuais.

Apesar de ser um sistema relativamente recente e que ainda pode ser muito mais desenvolvido e aprimorado, Kaminski & Oliveira (2000) descrevem que o uso da PR tem crescido na área de projetos devido à grande redução de custos e garantia maior de qualidade na fabricação do produto final. Antes, o tempo de produção aliado ao seu custo alto era um impeditivo no uso de protótipos. Pelo fato de ser caro e demorado, acabou sendo utilizado apenas nas últimas etapas do processo de desenvolvimento de um produto, antes da produção em série. Os autores ressaltam que a introdução da PR promoveu um grande avanço neste sentido pois, à medida que os custos vão reduzindo, cada vez mais empresas a adotam como ferramenta de avaliação de projetos, recorrendo a um número maior de protótipos ao longo de seus projetos.

Devido ao rigor dimensional e formal de seus modelos, os processos digitais de produção de modelos físicos, como a impressão 3D, são associados, por Tramontano & Pereira Junior (2015), a processos manuais e mecânicos tradicionais. O processo automatizado das impressoras 3D, para Junk & Matt (2015), elimina a necessidade de produzir os modelos de forma artesanal pois permite representar detalhes complexos que, no processo tradicional, demandaria tempo e habilidade do modelador. De uma forma mais ampla, Müllerkegler *et al.* (2014) afirmam que a PR é uma técnica dentre várias existentes no processo de fabricação e tem se destacado pela evolução tecnológica que possibilitou a riqueza de detalhes e a rapidez de execução. Ela é uma técnica controlada por computador, completamente automatizada e de fundamental importância no desenvolvimento de produtos, permitindo ajustes e testes ainda nas etapas iniciais do projeto, com certa rapidez, sem a necessidade de ser levado à indústria para

que os ajustes estruturais, funcionais, visuais e ergonômicos sejam executados. Ou seja, a impressão 3D permite a produção de componentes com formas complexas, antecipando os procedimentos industriais de fabricação, cujos modelos físicos dificilmente poderiam ser produzidos, através de processos mecânicos ou manuais, com a rapidez, o baixo custo e o rigor necessário para dar suporte a tomadas de decisão no processo de projeto.

Baxter (2000), Volpato *et al.* (2007) e Medeiros *et al.* (2014) explicam que devido a característica da PR permitir detectar erros, ainda na fase de conceito, no processo de desenvolvimento de produtos (PDP); acaba sendo menos trabalhoso, envolve menos recursos, reduz custos e minimiza os riscos associados a falhas no lançamento do produto. Por conta disso, Volpato *et al.* (2007) afirmam que a PR permite que as empresas sejam mais ágeis e eficazes, demonstrando sua eficiência competitiva. Para Pupo (2008), a PR é uma ferramenta poderosa para reduzir o tempo de produção enquanto aumenta a qualidade e reduz custos contribuindo expressivamente nos requisitos de produtividade. O que reforça a importância dela estar presente nas rotinas projetuais do designer, durante o desenvolvimento de produtos, e não pode ser ignorada.

Entre as vantagens da prototipagem rápida, Macedo (2011) aponta que ela oferece, aos designers e aos engenheiros, a possibilidade de fabricar, de maneira rápida, partes do produto para encaixar, testar funções e analisar a sua viabilidade de produção, que não seria possível ao ter apenas a opção de fabricação seriada. Para ele, este recurso "faz com que cresça o nível de percepção da equipe do projeto daquilo que é possível ou não de se produzir e analisar e diminuir a complexidade do produto a fim de viabilizar sua produção." (MACEDO, 2011, p.11). Sass & Oxman (2006), também identificam que a PR não permite apenas representar, avaliar e redesenhar formas complexas, como também estende o aprendizado ao envolver os alunos com materiais e máquinas semelhantes aos utilizados nos processos de fabricação na indústria. Para Tramontano (2015), a proximidade do modo de produção de máquinas CNC, cortadora a laser, impressão 3D e fresagem com os processos industriais, ainda que em outra escala, torna fundamental o processo de capacitação do aluno a manuseá-las para compreender, de maneira mais clara, a produção e viabilização técnicas de seus projetos. Ou seja, permite aperfeiçoar os fundamentos críticos do produto pois, para Kelley & Littman (2001), a PR integrada no projeto possibilita que o designer seja mais eficiente no exercício de sua atividade profissional. Da mesma forma, Tramontano (2015) identifica, como sendo um dos grandes diferenciais do uso da PR, a etapa de preparação para fabricação, produção e montagem de componentes, antecipando, às vezes com grande acuidade, questões produtivas, construtivas e

de organização de projeto que, em processos convencionais, tendem a se revelar apenas quando finalizada a concepção.

A vantagem em materializar um produto, através da impressora 3D, é a capacidade em prever erros, ainda na etapa de concepção, que talvez não tenham sido identificados na tela do computador ou na superfície do papel. Barbosa (2009) explica que os modelos, que antes eram apenas visualizados através de representações bidimensionais (seja na tela ou no papel), agora podem ser interagidos, estudados e avaliados, pois o equipamento de prototipagem rápida reproduz as formas do objeto com grande fidelidade dimensional. A representação tridimensional e o modelo físico, segundo Pupo & Celani (2009), proporcionam um maior êxito na comunicação do produto, estabelecendo proporcionalidades, perspectivas e funcionalidades, que talvez não pudessem ser evidenciadas através da representação bidimensional. Florio *et al.* (2007) também descrevem que esta possibilidade de gerar modelos físicos rapidamente, torna mais fácil e imediata a compreensão das formas e espaços, se destacando como uma das maiores vantagens em relação aos meios bidimensionais de representação, cujas imagens podem enganar os sentidos e provocar erros de avaliação. As análises dos modelos físicos também permitem efetuar ações corretivas (quando necessárias), otimizando a produção, reduzindo erros e custos de projeto.

Outro diferencial de uso da PR, de acordo com Florio *et al.* (2007), está ligado ao fato dela possibilitar a checagem da ergonomia do produto através do sentido tátil. Os modelos físicos e protótipos rápidos, segundo os autores, ajudam tanto os estudantes quanto os profissionais a experimentarem a percepção visual e tátil do volume, reconhecer elementos e suas características, inter-relações e sequências espaciais. O contato físico permite sentir, analisar e julgar aspectos que a visão não permite. Devido à evolução da prototipagem virtual, nas últimas décadas, Tramontano & Pereira Junior (2015) descrevem que alunos e professores pareciam se perguntar sobre a existência de algum aspecto dos modelos físicos que o modelo digital não conseguia contemplar, no processo de concepção do produto. Veiga & Vizioli (2015) abordam que, um dos grandes diferenciais do meio físico para o digital, está relacionado ao tato que, junto como a visão, são instrumentos poderosos para o julgamento de um bom projeto. Logo, apesar de ser, geralmente, utilizada para verificar características formais dos produtos, durante todas as fases do processo, ela também auxilia nas análises dos aspectos funcionais e ergonômicos.

Em virtude das diversas características apresentadas, alguns autores como Sass & Oxman (2006) e Müllerkegler *et al.* (2014) destacam que a PR vem se tornando uma ferramenta

de enorme ajuda para os designers de produto. O uso da técnica de PR, segundo Pizzolito (2004) e Barbosa (2009), tornou a criação de modelos físicos mais fácil, gerando um considerável aumento no uso de protótipos. Para os autores, o fator tempo e facilidade de obtenção do protótipo, passam a ser grandes aliados na viabilidade das tecnologias de PR aplicadas a PDP (Processo de Desenvolvimento de Produtos) e que, conseqüentemente, gerou um grande impulso no uso de protótipos para a verificação de aspectos formais em projetos. De acordo com Pupo (2008), um dos principais benefícios da prototipagem rápida e da fabricação digital é a opção de ter a visualização como grande colaboradora da compreensão espacial, bem como complemento e caminho para a confecção de modelos rapidamente prototipados. Os protótipos são responsáveis por evidenciar problemas ocultos que não são percebidos e compreendidos na ideia inicial, por limitação dos métodos de representação utilizados, permitindo aos alunos solucioná-los, através da análise dos artefatos, em conjunto com os seus conhecimentos acadêmicos.

Os protótipos permitem revisões, ao longo de todo o projeto, em busca do aprimoramento da ideia, neste caso, Laura & Moura (2008) aponta como sendo uma vantagem em comum para as áreas industrial e acadêmica. Alcoforado *et al.* (2015) acreditam que o uso do protótipo, dentro do processo de design, possibilita responder perguntas de forma concreta, materializando conceitos e tornando características tangíveis. Com ele, o designer pode obter informações do contexto e explorar ideias através da produção de artefatos comunicativos e interativos. Barbosa (2009) afirma que, no caso de dúvidas, durante o projeto, novos protótipos são fabricados. Se o protótipo funciona conforme o desejado, então se avança para uma outra etapa no projeto, caso contrário, volta-se ao estágio anterior, em um ciclo constante de testes e refinamentos. Desta forma, as atividades de projeto não seguem uma linha reta, segundo Baxter (2000) e Lara & Moura (2008), mas são marcadas por avanços e retornos. Os autores explicam que o processo de desenvolvimento de protótipos é responsável em criar representações do projeto para promover interações que possam demonstrar, alterar e discutir o produto. As decisões tomadas em uma determinada etapa podem afetar as alternativas anteriormente adotadas. O processo cíclico melhora o produto, pois, a cada ciclo, permite enxergar certas oportunidades e problemas que tenham passado despercebidos. Bonsiepe *et al.* (1984) classificam essa estrutura de retroalimentação como estrutura projetual com *feedback*, conforme pode ser visto na figura 1.

Estrutura projetual com feedback:

ocorre uma retroalimentação contínua entre as etapas de modo que a sequência de etapas pode prosseguir tanto quanto a etapa precedente possa dar sustentação à subsequente, embora possa suportar a intervenção ou correção necessária percebida nesta execução posterior.

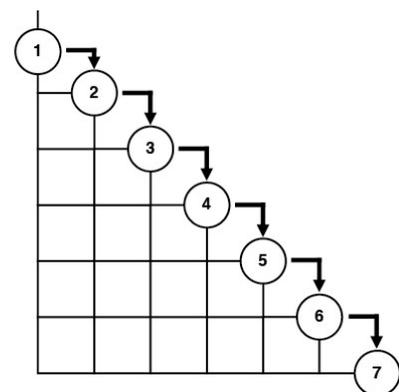


Figura 1: Estrutura projetual com feedback. (Fonte: BONSIPE *et. al.*, 1984).

A cada modelo gerado, através da estrutura projetual com *feedback*, segundo Baxter (2000), é um estágio melhorado e refinado do anterior que evolui através de técnicas de avaliação que identificam pontos fortes e fracos do projeto e, principalmente, dar o poder e a segurança à equipe sobre a continuidade (ou descontinuidade) das decisões sobre o produto. Para Lara & Moura (2008), a ideia inicial sofre modificações durante o processo devido à observações feitas (*feedbacks*) a partir dos modelos gerados. A produção de modelos físicos, através da impressão 3D, de acordo com Tramontano & Pereira Junior (2015), permite que os elementos representados sejam mais facilmente alterados, redesenhados e gerem novos modelos físicos que, por sua vez, possibilitem novas verificações e alterações. O que se alinha com os conceitos de Baxter (2000) sobre a essência do processo de design se concentrar em três atividades: projetar, construir e avaliar, nas quais o protótipo é peça fundamental do processo iterativo.

Desta maneira, Sass & Oxman (2006) explicam que, apesar da PR ser utilizada para representações voltadas à apresentação final do produto ou para estudos de formas complexas, através de artefatos físicos, ela também permite que os designers explorem o processo criativo ao produzir variações de um único artefato ou diversos protótipos ao longo das etapas do projeto. Apesar disso, Celani & Bertho (2007) afirmam que os arquitetos brasileiros, diferente do que acontece nos escritórios americanos e europeus, costumam limitar o uso da PR apenas na apresentação final do projeto. Entre as razões apresentadas, uma delas se refere à falta de conhecimento da técnica. Então, de forma a contornar isso, é preciso estudar suas aplicações e desenvolver metodologias. Florio *et al.* (2007) explicam que, o papel dos modelos físicos tem sido apenas reavaliado, recentemente, devido a introdução dos protótipos rápidos no processo projetual.

Quanto ao ensino das representações voltadas ao projeto, Lara & Moura (2008) observam que as instituições de ensino superior do país atuam exclusivamente na formação de alunos na criação da ideia primária. Enquanto que, o processo de aprimoramento da ideia, tais como a produção e a observação do protótipo, terminam sendo aprendidas e compreendidas apenas no mercado de trabalho. Para Bertoldi (2014), é importante que os alunos se acostumem a construir variados tipos de modelos para a verificação e validação das soluções geradas, passando por todas as etapas do processo de projeto, até a sua aprovação. Pois considera que, mesmo parecendo ser penoso e frustrante para os alunos, principalmente quando o protótipo é rejeitado, é importante para compreender que é característica inerente a atividade projetual.

O aprimoramento através do conceito de aprender fazendo é, segundo Sass & Oxman (2006), uma das principais características da prototipagem rápida. Assim como, o processo de corrigir e refazer com base no conhecimento adquirido, a partir de artefatos anteriores, é um atributo importante da aprendizagem no design. De forma a integrar a prototipagem rápida no ensino, Junk & Matt (2015) e Rivera-Chang (2015) trazem pesquisas, nas quais, a impressora 3D vem auxiliando os alunos a produzirem melhores resultados, nas etapas de testes, ao utilizar protótipos, durante a fase de desenvolvimento de projetos de design. Os autores realizaram estudos na arquitetura e no design, os quais demonstraram que o impacto da impressão 3D está tornando os estudantes mais integrados ao processo projetual e também os tornam mais criativos. Além disso, os alunos se mostram entusiasmados com as novas maneiras de gerar os modelos e protótipos, se beneficiando de um *feedback* direto através dos modelos físicos. O que reforça a visão de Barbosa (2009), sobre o uso do CNC, do corte a laser e da prototipagem rápida como sendo uma tendência e que os estudos sobre as vantagens e desvantagens dos procedimentos decorrentes do design digital junto a suas influências podem fornecer respostas mais precisas quanto ao futuro.

Para Pupo & Celani (2008), as técnicas tanto de fabricação digital quanto de prototipagem rápida têm, atualmente, um papel decisivo na qualidade de ensino e abrem possibilidades projetuais jamais alcançadas anteriormente. Ao tomar, por exemplo, a passagem do projeto conceitual para a sua concretização; ela é uma das maiores dificuldades para o projetista iniciante, de acordo com Barbosa Filho (2009). Neste caso, o uso da PR permite, conforme Araujo (2009), facilitar a compreensão das etapas do projeto, no meio acadêmico, ao permitir o estudante criar e recriar componentes construtivos, contribuindo com a eficiência e redução na propagação de erros nos exercícios. O autor também afirma que o uso da tecnologia permite a investigação e elucidação de processos que, podem ser, incompreendidos nos

desenhos de prancheta e mesmo nos modelos digitais. Em outras palavras, o processo de materialização de ideias (que ainda estão em um campo abstrato), para o material (torna-se concreto através de um objeto físico), descreve a configuração mais ampla do conceito do design, segundo Löbach (2000). Neste processo, Bertoldi (2014) identifica as disciplinas que utilizam modelos tridimensionais como sendo fundamentais para o processo de aprendizagem da atividade projetual nos cursos de design. Os modelos gerados têm como função comunicar uma proposta para solucionar um problema de projeto, gerando alternativas que serão verificadas e selecionadas, até resultar no produto final para fabricação.

Nesta busca por novas formas de design digital e alcançar a evolução da indústria, Sass & Oxman (2006) têm se preocupado em identificar questões de pesquisa emergentes, ao definir a importância das tecnologias aplicadas em projetos, assim como, adequar as suas metodologias. Oxman (2006) e Makert & Alves (2016), afirmam que o padrão e normatização propagam uma lógica da repetição nos métodos de se projetar e fazer design, enquanto o mundo apresenta uma imagem diferente, de dinamismo e mudança constante. O chamado novo design enfrenta esta síndrome das alternativas normativas, estáticas, e tipológicas e propõe diversidade, diferenciação e evolução dinâmica. A mudança de paradigma da nova cultura do design se encontra, portanto, nessa ampla transformação cultural na raiz dos conceitos de se projetar e criar. Consequentemente, Ryberg *et al.* (2015) apontam que diversas formas de desenvolvimento de projeto, nas áreas de design e arquitetura, estão sendo repensadas em virtude da inserção das novas tecnologias para concepção, desenvolvimento e materialização. Cada vez mais, técnicas, ferramentas e métodos se completam, proporcionando ao designer e ao arquiteto um envolvimento literal durante todo o processo projetual.

Por conseguinte, as universidades enfrentam, segundo Lara-Prieto *et al.* (2015), em decorrência da rápida mudança da ciência e da tecnologia, o desafio de ensinar conhecimentos e ferramentas atualizados para que os estudantes estejam familiarizados com as tecnologias de ponta. Apesar de não ser um desafio recente, ferramentas e tecnologia vêm se tornando obsoletas em um espaço muito mais curto de tempo. Por esse motivo, o ensino e todo o processo de aprendizagem também precisam se tornar mais dinâmicos e evoluírem. As instituições de ensino precisam pensar estratégias diferenciadas e encontrar formas inovadoras de transferir novos conhecimentos entre toda a comunidade acadêmica. As partes interessadas na educação devem estar cientes das tendências e considerá-las em seus modelos de ensino para se adequarem e entregar o que é necessário neste novo ambiente de aprendizagem. "É papel da universidade introduzir essas novas tecnologias no ensino e na pesquisa, de maneira que os

jovens arquitetos estejam preparados para lidar com a uma nova realidade profissional, na qual a tecnologia está presente cada vez mais nas diversas etapas do projeto." (PUPO, 2008, p.18). Logo, um dos desafios da universidade é conseguir atualizar o ensino e trazer essa nova realidade para dentro das salas de aula.

Em decorrência da ausência da atualização do ensino com o uso das novas ferramentas, alguns projetistas se mostram limitados a experiências de projetos já consolidadas no mercado, segundo Ryberg *et al.* (2015), pois não estudaram novas maneiras de pensar. O estudo formal, hoje, por exemplo, pode ser compreendido e testado por *softwares* e tecnologias de modelagem, através de análises e materialização de modelos, de maneira rápida e precisa. Em virtude disso, no processo ensino-aprendizagem da arquitetura, por exemplo, Nunes *et al.* (2014) explicam que estão surgindo questionamentos sobre a necessidade de reestruturações curriculares, principalmente junto à área de representação. Os questionamentos giram em torno de quais estruturas do saber devem ser veiculadas para que estudantes construam um repertório conceitual e procedimental para a compreensão da produção arquitetônica. Considerando que a formação acadêmica deve permitir a experimentação, somente aceitar e aprender o que já é consolidado, o que, segundo Nunes *et al.* (2014), não é o bastante. Logo, existe a necessidade de possibilitar aos estudantes momentos de experimentações, para que possam criar seus próprios métodos de projeto. Para Go & Hart (2016), os equipamentos de fabricação por adição cada vez mais acessíveis, permitem explorar a sua natureza prática como ferramentas de ensino em várias disciplinas. Mas, eles afirmam que para o seu rápido crescimento e potencial de ruptura, é preciso que os programas de educação abordem os seus princípios fundamentais, assim como, também permitir que designers e engenheiros explorem as suas capacidades. A falta de abertura às inovações tecnológicas se deve a certo receio de pensar a atividade de uma nova maneira, uma vez que estas tecnologias exigem uma nova lógica de projeto. Segundo os autores, as novas tecnologias de representação são os meios que permitem tais experimentos.

Huang & Lin (2017) descrevem que a tecnologia 3D rompe os limites entre os mundos real e virtual. Com a disponibilidade, cada vez maior, das impressoras 3D, em parte impulsionadas pelas tecnologias *open source*, resulta em um aumento do acesso às tecnologias 3D e democratiza a cadeia produtiva de design e fabricação, antes restrito apenas às indústrias. Neste processo, as técnicas de modelagem 3D emergiram como competências essenciais. Os exercícios didáticos de projeto, cujo processo de produção segue, hoje, segundo Tramontano (2015), desde o seu conceito à fabricação de componentes construtivos, quase inteiramente assistido por computadores, devem passar por uma formulação que proponha um treinamento

de novas maneiras de conceber o projeto e de produzir os seus componentes. O autor acrescenta que, considerando que a formação tradicional dos alunos se baseia na geometria euclidiana, ter que lidar com geometrias complexas já constituiria um grande desafio. Mas além desses desafios, ainda é preciso auxiliá-los a superar dificuldades como: necessidade de aprender diversos *softwares* e equipamentos de fabricação de modo a explorar as potencialidades destas ferramentas e os modos de projetar e construir que estas pressupõem. Em contrapartida, o posicionamento das universidades públicas brasileiras ainda não é bem definido em relação ao ensino de *softwares* de modelagem em 3D. Além disso, como se não bastassem as mudanças referentes ao ensino e processo de aprendizagem, Lara-Prieto *et al.* (2015) lembram que, as instituições de ensino têm restrições orçamentárias para investir em novas tecnologias e devem lidar com processos burocráticos para poder obtê-las. Ao longo deste processo, existem também outras variáveis, como a contratação de especialistas para o treinamento da nova tecnologia, manutenção, insumo, alocação de espaço, etc. As coisas precisam ser mais simples e rápidas para manter o ritmo de desenvolvimento.

O ensino precisa se adequar às evoluções tecnológicas que acontecem nas áreas de projeto, pois elas acarretam mudanças em sua metodologia, seja pelo uso de novas ferramentas, como também pela abordagem de diferentes técnicas relacionadas à criação de um produto. Cross (2000) explica que, na criação de novos produtos, o aumento de complexidade e a grande variedade de novas demandas também são fatores que apontam a necessidade de melhorar as formas tradicionais de projeto e desenvolver novos procedimentos. Com isso, segundo ele, amplia a importância das pesquisas nas áreas de metodologia, gestão de desenvolvimento de produto, além de técnicas e ferramentas que possam contribuir para um processo de design mais eficiente, de forma a atender essas demandas atuais de mercado e da indústria. Os avanços tecnológicos deste novo século, segundo Braida (2014), trouxeram também novas demandas para a vida em sociedade. Sendo assim, o reflexo do aprendizado não deve ser voltado apenas à conhecimentos técnicos e a acumulação de saberes sedimentados, mas ao desenvolvimento de habilidades e competências para lidar com problemas dinâmicos e complexos.

No âmbito específico da Educação, consolidam-se os novos paradigmas dos processos de ensino e aprendizagem, tais como a transversalidade e a (inter, multi e trans)disciplinaridade. O conhecimento compartimentado em disciplinas já não mais consegue oferecer respostas convenientes para as demandas atuais. Portanto, busca-se, a todo custo, meios para integração de áreas e campos do saber, desenvolve-se trabalhos colaborativos, reúne-se arte, ciência e

tecnologia. Também é evidente a incorporação de métodos de ensino centrados no aluno em substituição (ou complementação) daqueles centrados no professor. (BRAIDA, 2014, p.142).

Desta forma, as premissas e pressupostos contemporâneos têm manifestado novas demandas para os cursos de graduação. Braida (2014) aponta que na maioria dos cursos, em nome da flexibilidade curricular, os conteúdos terminam sendo fragmentados através de disciplinas que pouco dialogam entre si. Para ele, a fragmentação dos conteúdos e falta de comunicação entre as disciplinas é uma realidade da maioria dos cursos que, em nome da flexibilidade curricular, adotam o sistema compartimentado de créditos para integralização da carga-horária obrigatória para obtenção do diploma. Apesar das tecnologias CAD estarem, de acordo com Pupo (2008), cada vez mais incorporadas nas disciplinas de projeto, no Brasil, essas tecnologias têm sido introduzidas de maneira isolada, frequentemente como cursos extracurriculares, no intuito de proporcionar ao discente uma base simples para a futura inserção no mercado de trabalho. Entretanto, a autora aponta que, em algumas escolas, em países da Europa, iniciativas para integrar a utilização dos computadores com o ateliê de projeto. O projeto passa a ser visto, agora mais do que nunca, como o lugar em que é necessário reunir os conhecimentos que estão dispersos nos conteúdos das disciplinas. Neste caso, ele precisa transitar entre os saberes relacionados as habilidades e as competências dos projetistas, o que demanda novos métodos de ensino, como por exemplo:

Assim, formal ou informalmente, por meio de institucionalização metodológica do ensino ou por iniciativas particulares de professores, verifica-se uma série de ações e propostas de trabalhos que buscam inter-relacionar conteúdos didaticamente dispersos e fragmentados, porém fortemente imbricados na realidade. (BRAIDA, 2014, p.143).

Em determinados espaços de tempo, Blikstein (2013) explica que um novo conjunto de habilidades e atividades intelectuais tornam-se cruciais para o trabalho, a convivência e a cidadania, por vezes, democratizando tarefas e habilidades anteriormente apenas acessíveis a especialistas. Com a chegada da informática, no início dos anos 1970, a programação de computadores estava se tornando uma dessas novas atividades. Mas, naquela época, os computadores ainda eram máquinas grandes, caras e incompreensíveis. Ao pensar nessas máquinas como um meio de expressão e aprendizagem pessoal era inconcebível. Anderson (2012) comenta que, até o final da década de 1970, os computadores ainda eram privilégios

exclusivos de governos, grandes empresas e de universidades, e o seu uso era restrito ao processamento maciço de grandes volumes de dados e números. Segundo o autor, mesmo naquela época, já existiam previsões a respeito dos computadores, desde a redução de tamanho, a queda dos preços e o aumento da capacidade, chegariam até a prever que eles encontrariam o seu lugar nas casas, apenas não estava claro o que as pessoas fariam com eles. Então, em 1985, surgiu a editoração eletrônica, com isso, os designers passaram a utilizar os (recém-criados) programas gráficos para realizar diversas tarefas, antes feitas à mão. A possibilidade de criar *layouts* em computador, com visualização no monitor em tempo real, e ter a possibilidade de imprimir o mesmo conteúdo visto na tela foi algo revolucionário para a indústria (tanto gráfica quanto para computadores pessoais). Graças ao avanço dos computadores e dos *softwares* gráficos, foi o primeiro momento em que a atividade de editoração poderia ser feita exclusivamente com ferramentas digitais. Atualmente, pode ser considerada até uma atividade banal, mas há alguns anos atrás, ninguém poderia imaginar a impressão de folder, cartaz, revista, etc., fora de uma gráfica profissional. As impressoras à laser, computadores e programas de editoração eletrônica difundiram o manuseio de fontes, dos layouts de páginas e das técnicas de editoração, que antes eram restritas a profissionais especializados. Apesar de, hoje, a qualidade se equiparar aos produtos originados das grandes indústrias, não trouxe, necessariamente, o fim das gráficas especializadas, ou a difusão destes equipamentos, de forma doméstica, levando as pessoas adotarem a prática de imprimir seus jornais, revistas ou livros em suas casas, mas certamente trouxe mudanças na forma como cada uma dessas mídias são produzidas.

Hoje, a fabricação digital e o movimento *maker* apostam na impressora 3D como uma ferramenta poderosa capaz de promover ideias, criatividade e a inventividade nas instituições de ensino. Segundo Rocha *et al.* (2016), os meios acadêmicos passam a discutir e experimentar os *softwares* e toda a tecnologia, não como mera ferramenta técnica, mas como meio de transformar o mundo. Nos últimos vinte anos, matrizes teóricas e estudos de caso mais aprofundados estão sendo efetuados nas universidades numa tentativa de entender as repercussões da tecnologia. Esses trabalhos buscam conhecer os processos e as tecnologias que estão gerando esses projetos. O uso de computadores aplicados nas atividades relacionadas ao design já é uma realidade, a impressora 3D permite materializar os arquivos digitais, trazendo os modelos físicos de volta ao processo projetual. Independente do quanto ela vai revolucionar alguns setores da indústria, ou mesmo, às mudanças relacionadas ao perfil de consumo, processos de fabricação individualizados, nova revolução industrial, etc., a impressora 3D já

está inserida nas indústrias e nas instituições de ensino, sendo responsável por modificações no processo ensino-aprendizagem da prática projetual. Cabe ao designer saber explorar todo o potencial desta (e de outras) ferramenta(s) em benefício de seus projetos. Consequentemente, as instituições de ensino precisam deixar de lado o padrão tradicional e conservador e priorizar o ensino, de modo que, seja dinâmico e atualizado.

Para Rocha *et al.* (2016), a questão que irá exigir um debate contínuo por anos com o uso das novas tecnologias, é de que modo elas podem influenciar a ideia inicial de projeto, e se seu uso está determinando ou possibilitando o surgimento de uma nova abordagem arquitetônica, tanto no pensamento como no ofício do arquiteto. O mesmo questionamento vale para o design. Até que ponto será que o uso das novas tecnologias vai influenciar a forma que o designer pensa e desenvolve o seu projeto além de que, por consequência, o quanto isso vai modificar as práticas do ensino do processo projetual.

Por fim, Florio *et al.* (2007) destacam que todos os sistemas de representação possuem limitações, aspectos positivos e negativos. Os autores entendem que a somatória desses recursos, aplicados em conjunto, pode colaborar para superar as suas deficiências. Por isso, a importância e a urgência de entender o propósito de cada meio de representação e simulação, seja manual ou digital. Contudo, Barbosa (2009) reforça que não basta somente introduzir novas tecnologias na área de design, é preciso avaliar os impactos e como utilizá-las de maneira adequada. O que remete aos embates a respeito dos métodos tradicionais em relação aos digitais. Segundo Nunes *et al.* (2014), a questão não deveria ser sobre a comparação do ensino tradicional de geometria em relação aos *softwares* de representação gráfica e de ferramentas digitais, que representam facilmente até as formas mais complexas. Mas de que forma o ensino da geometria deveria mudar de modo a aproveitar todo este potencial das ferramentas digitais, já as dirigindo à esta nova linguagem projetual. Paula & Lima (2014) vislumbram um cenário em que as novas tecnologias de informação e comunicação já não se apresentam apenas como ferramentas de representação, mas são solicitadas em todas as fases projetuais, impactando a linguagem contemporânea da arquitetura, seja no nível sintático, semântico ou pragmático. Da mesma forma, como Pupo & Celani (2008) colocam que, a implementação e operacionalização de um laboratório de fabricação digital e prototipagem rápida, em um curso acadêmico, também não deve ser voltado apenas ao uso da tecnologia, mas à integração com as demais disciplinas da grade curricular, especialmente as de projeto. Para Righi (2009) a exploração formal possibilitada por ferramentas como digitalizadores 3D e máquinas de prototipagem rápida estimulam os alunos a buscar inovações. O autor complementa dizendo que o processo criativo

pode passar por várias ferramentas, desde o desenho livre, passando por alternativas mais recentes, como os sistemas generativos que trazem em sua essência a escolha e a exclusão; até a prototipagem rápida, e a impressão 3D; ou seja, meios diferentes que convergem para um mesmo fim, o desenvolvimento pleno de um projeto.

PROBLEMA DE PESQUISA

A presente pesquisa busca utilizar a ferramenta de impressão 3D FDM para materializar arquivos digitais em modelos físicos iterativos, em atividades práticas voltadas ao ensino do processo projetual. Espera-se que a cada ciclo de fabricação dos modelos físicos, os alunos possam identificar os pontos fortes e fracos, alterando e discutindo os rumos do projeto. O trabalho traz perguntas de pesquisas acadêmicas recorrentes, como por exemplo, a dissertação de Forti (2005) que questiona como as novas tecnologias podem auxiliar no ensino-aprendizagem do processo projetual nos cursos universitários de design. Ele também aplica direcionamentos feitos em outras pesquisas. Na conclusão da tese de Pupo (2008), por exemplo, ela indica como papel da universidade introduzir novas tecnologias no ensino e na pesquisa, de modo que os alunos estejam prontos para confrontar a realidade profissional, onde a tecnologia está cada vez mais presente nas diversas etapas do projeto. Segundo a autora, os professores são os principais responsáveis em disseminar conhecimento, cultura e tecnologia.

No entanto, conforme visto, não basta inserir uma nova ferramenta, dentro da sala de aula, se não existe planejamento e cuidado com o seu uso. Neste caso, é preciso adequá-la ao plano de ensino de modo que também possa contribuir com o aprendizado. Logo, são necessárias mudanças no ensino da metodologia, nas disciplinas de projeto, trazendo a realidade das novas ferramentas para o universo acadêmico e preparando os alunos com ferramentas próximas ao padrão vigente da indústria.

Os desafios são muitos, as universidades públicas brasileiras sofrem dificuldades desde compra de equipamentos, seus insumos e/ou manutenção, passando pela falta de salas de aula, laboratórios de pesquisas e ambientes apropriados para o uso da ferramenta. Além da falta de equipamentos e estrutura, ainda é preciso educar alunos e professores tanto em relação ao funcionamento e à utilização das novas tecnologias como na cultura de aplicá-las ao longo do processo de desenvolvimento de um produto.

Segundo Pupo (2008), não basta a utilização de equipamentos e *softwares*, sejam eles sofisticados ou poderosos, mas também a integração com as demais disciplinas da grade curricular, especialmente as de projeto. Já Barbosa (2009) afirma que não basta somente

introduzir tais tecnologias na área de design, é preciso avaliar os impactos e como utilizá-las de maneira adequada.

Novas estratégias para a utilização das tecnologias contemporâneas adequadas de prototipagem na área de Design no Brasil podem emergir neste contexto de necessidade e com maiores pesquisas no assunto pode-se ampliar o entendimento e direcionar as tomadas de decisões, cujas ações pedagógicas e institucionais podem contribuir mais facilmente na construção de uma maior sintonia entre as necessidades do Design, da universidade e da indústria. (BARBOSA, 2009, p.157).

Portanto, ao empregar a impressão 3D, nos cursos de design, espera-se aproximar os estudantes e os professores com as ferramentas utilizadas nas empresas e nas indústrias, trazendo benefícios para todos os envolvidos no desenvolvimento de projetos. Não apenas em relação ao domínio das ferramentas, mas estimulando um processo de raciocínio incorporado ao uso de tecnologias contemporâneas no desenvolvimento de um projeto de design. Segundo Verner & Merksamer (2015), a necessidade de pessoas capazes de desenvolver soluções para problemas do mundo tecnológico moderno está aumentando constantemente. Para isso, é necessário a incorporação da educação tecnológica, nas instituições de ensino, como um elemento inseparável da educação atual e como preparação para carreiras tecnológicas e científicas. Desta forma, tanto a arquitetura como também o design, se destacam como mais do que apenas atividades puramente práticas, mas como atividades pensantes. O presente trabalho se propõe a estimular estudos e discussões sobre o emprego de tecnologias em benefício do ensino de design, e com avanços cada vez maiores das pesquisas e das ferramentas, espera-se atingir níveis cada vez mais elevados da ciência.

PERGUNTA DE PESQUISA

- De que forma o processo iterativo de materialização de arquivos digitais em modelos físicos iterativos pode contribuir (facilitar ou não) dentro do contexto de ensino de projeto nos cursos de design?

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Analisar as vantagens e limitações da inserção da tecnologia de impressão 3D FDM no processo iterativo de materialização de arquivos digitais em modelos físicos aplicados no ensino de projeto.

Objetivos específicos

- Aplicar a impressão 3D FDM, através de experimentos pedagógicos, como parte do processo de ensino da prática projetual de design;
- Propor, através dos resultados da pesquisa, estratégias de ensino-aprendizagem para integrar a impressora 3D FDM no processo projetual de design;
- Descrever o panorama atual relacionado aos campos de atuação, uso da ferramenta e as formas que a tecnologia de impressão 3D está sendo empregada no processo projetual, através de profissionais da área acadêmica e empresarial da cidade do Recife.

JUSTIFICATIVA

A pré-proposta de doutorado surgiu a partir de pesquisas relacionadas de como a impressão 3D poderia auxiliar ao longo das etapas de projetos de design, visando aproximar o produto final ao seu usuário. O entusiasmo de alguns autores como, por exemplo, Anderson (2012) que descreveu em seu livro as variadas possibilidades da fabricação digital e a consequente chegada da nova revolução industrial, enaltecem o fascínio e criam uma expectativa muito grande em relação ao potencial da impressão 3D. Inclusive é possível identificar certo exagero em algumas matérias publicadas afirmando, por exemplo, que "as impressoras 3D permitem que qualquer pessoa possa reproduzir o que quiser, de eletrodomésticos a carros, quando e na hora que desejar"¹. O que aumenta, ainda mais, o imaginário de ser uma ferramenta revolucionária e com um grande impacto frente aos vigentes processos de fabricação.

¹ Trecho retirado do site <http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/mercado-digital/20110713/nova-revolucao-industrialv/3003> (Acessado em 23 de março de 2013).

Neste cenário, a proposta inicial de pesquisa investigava o suposto distanciamento da indústria em relação aos usuários, devido ao seu processo de fabricação seriada de produtos, voltados a um padrão que não condiz com o verdadeiro perfil e necessidades das pessoas. Ao tomar como base o potencial, dito como revolucionário, da ferramenta, e suas mudanças radicais no processo de fabricação, a hipótese inicial era de que a impressão 3D retoma o meio de produção artesanal, com a diferença de também apresentar as vantagens das tecnologias digitais ao permitir criar produtos individualizados aos seus usuários com a mesma qualidade e acabamento dos que são produzidos pela indústria.

Entretanto, depois de um aprofundamento maior da revisão bibliográfica junto a conversas e direcionamentos do orientador, a pesquisa antes descritiva, pois o objetivo era colher informações a respeito para testar a hipótese, voltou a se tornar exploratória. Ao longo de novos levantamentos, acesso à diferentes pesquisas e autores, o foco da tese foi mudando para a aplicação da impressão 3D dentro dos cursos de design.

Dentre os autores pesquisados, muitos abordam informações sobre os avanços tecnológicos, as diferentes aplicações, os benefícios (e também as limitações), a redução de custos e a melhor qualidade dos modelos produzidos pelas ferramentas de prototipagem rápida e o quanto elas estão auxiliando nos processos projetuais, seja nas empresas, nas indústrias ou na área acadêmica.

Em relação às pesquisas voltadas à área acadêmica, no geral, elas tratam sobre experimentos, fabricações de artefatos, e uma boa parte ainda se restringe a criar modelos físicos como meio de apresentação do resultado final dos projetos.

A mudança do foco desta pesquisa coincidiu com o processo de aquisição das impressoras 3D pelo laboratório Nexus, do departamento de Design da UFPE. As duas impressoras 3D, utilizadas na pesquisa, fazem parte do laboratório e ambas adotam o processo de modelagem por depósito de material fundido (*Fused Deposition Modeling* - FDM), cujo processo de impressão será melhor detalhado na etapa de fundamentação teórica deste trabalho. Pelo fato das impressoras 3D serem equipamentos recém-chegados no laboratório e como nenhum integrante da equipe possuía muita experiência na sua utilização, foi notório um ponto não muito comum na abordagem dos trabalhos pesquisados: as etapas preparatórias para a condução dos experimentos. Apesar de na teoria parecer algo simples e trivial, na prática se mostra bastante desafiador e são raros os trabalhos acadêmicos que relatam as dificuldades e as surpresas da configuração e manuseio das ferramentas de impressão 3D. Nas literaturas do design, os processos, por padrão, já estão bem configurados, praticamente todos automatizados

com a mínima intervenção da mão de obra humana. Contudo, o processo de configuração de uma impressora 3D FDM até chegar a este ponto (tanto o *hardware* quanto o *software*), certamente acarreta em muitos obstáculos que devem ser superados antes da execução dos experimentos e tais experiências raramente são relatadas.

Portanto, este trabalho busca não apenas conhecer, mas também desmistificar a ferramenta de impressão 3D FDM e testar na prática o seu potencial, vantagens e limitações ao trazer essa tecnologia para dentro das salas de aula. Entre os resultados apresentados, estão os relatos das experiências e das atividades realizadas nas disciplinas de projeto, ao buscar materializar os conceitos, transformando os arquivos digitais em objetos físicos em um processo cíclico de retroalimentação, na tentativa de ampliar as análises dos aspectos formais dos artefatos produzidos. Os experimentos trazem o ponto de vista de alunos e professores. Além disso, também serão analisados um conjunto de entrevistas realizadas com profissionais do meio acadêmico e empresarial, que utilizam impressoras 3D, buscando compreender os diferentes campos de atuação, aplicações da ferramenta e formas de utilizar nos mais variados projetos de design de produtos. Tanto os professores entrevistados quanto às disciplinas oferecidas fazem parte dos cursos de Expressão Gráfica e do Design que pertencem ao Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco. Neste caso, acabam retratando também um pouco da realidade do ensino público nas universidades federais. Os participantes das entrevistas que atuam nas empresas estão todos situados na região do Recife. O universo da pesquisa, inicialmente era mais amplo, mas teve que ser reduzido devido a limitação de tempo e custos, esta mudança, porém, acabou proporcionando uma visão do uso da tecnologia através de um recorte da realidade regional.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O próximo capítulo (capítulo 2) inicia a fundamentação teórica do trabalho, explicando, de forma rápida, alguns meios de representação utilizados em projetos, tais como: o desenho (manual ou digital), os modelos tridimensionais (digitais ou físicos) e o processo de modelagem (manual ou prototipagem rápida). São apresentadas características de cada uma delas, as aplicações em projetos, benefícios, limitações e alguns comparativos. Ao final, são apresentadas diferentes definições de modelo e protótipo. O capítulo 3 traz algumas definições de prototipagem rápida, suas aplicações em projetos. Ele também traz uma lista de diferentes processos de impressão 3D, apresentando o princípio de funcionamento, as vantagens e desvantagens de cada um deles. Logo depois, de forma mais detalhada, as características da

impressão utilizando FDM e, por fim, as vantagens e desvantagens da aplicação da prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de produtos. O capítulo 4 inicia com um dos principais pontos de discussão do trabalho: a impressão 3D voltada ao ensino de design. No começo, são apresentadas algumas das relações entre as disciplinas de projeto e o uso de ferramentas digitais. Segue com a análise das diretrizes curriculares e o que elas dizem tanto sobre a questão do uso das ferramentas digitais ao longo do curso de design quanto sobre o alinhamento do ensino acadêmico com o mercado de trabalho, finalizando com a descrição do comportamento dos cursos de design em relação à evolução tecnológica. Depois, uma discussão do uso das novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. O final do capítulo traz uma breve discussão sobre as atualizações necessárias na prática do ensino para trabalhar com as novas tecnologias aliadas ao aprendizado. O capítulo 5 inicia a parte de experimentos, começando com a descrição, avaliação, tratamento e análise dos dados extraídos das disciplinas e oficina, realizadas como objeto de estudo para o projeto. Logo depois, as entrevistas com os profissionais das áreas acadêmica e empresarial a respeito do uso da ferramenta de impressão 3D encerrando com um apanhado geral dos experimentos junto da análise dos resultados e algumas considerações. No capítulo 6, o trabalho traz a lista das vantagens e limitações do uso da impressão 3D no ensino da prática projetual. Logo após, uma análise das práticas pedagógicas da impressão 3D aplicada no processo de ensino-aprendizagem de design. Ao longo da análise, são apresentadas diversas informações referentes às mudanças necessárias na prática de ensino para integrar as novas tecnologias no ensino da prática projetual. E, no final do capítulo, a tese traz uma proposta de grade curricular para o ensino de novas tecnologias. O capítulo 7 traz todas as conclusões do trabalho, reunidas ao longo de todo o processo de pesquisa. Por fim, as referências e os apêndices da pesquisa.

2. MEIOS DE REPRESENTAÇÃO APLICADOS EM PROJETOS

Este capítulo pretende fazer uma abordagem rápida dos meios de representação, aplicados em diferentes etapas de desenvolvimento de projeto. Apesar da pesquisa não abordar, de forma específica, todas os meios/técnicas/ferramentas que são, geralmente, utilizados no processo projetual, ela enfoca, basicamente, em dois grandes grupos, divididos em representações bidimensionais e tridimensionais. Cada um desses grupos se dividem de acordo com os recursos utilizados, sejam eles manuais ou digitais. Por fim, os modelos tridimensionais se dividem na forma que são representados, sejam eles digitais ou físicos. Ao final do capítulo serão apresentadas diferentes definições e especificações dos termos modelo e protótipo.

Os meios de representação são ferramentas utilizadas para comunicar as ideias dos designers para seus clientes, fornecedores, usuários e, até mesmo, para eles mesmos. Os projetos de design costumam ter início com reuniões onde se discutem detalhes sobre o produto a ser desenvolvido, qual o seu conceito, para quem se destina e os recursos produtivos. Nestas reuniões é definido um *briefing* que consiste em um conjunto de ideias que possibilita à equipe de trabalho compreender e mensurar o projeto. Ele é o documento de apoio para a avaliação das etapas de desenvolvimento e do protótipo final. Através dele, é possível se verificar os quesitos propostos e compará-los com os resultados alcançados.

Design é o processo que transforma um briefing ou uma solicitação em um produto acabado ou em uma solução de design. Pode-se dizer que o processo de design compreende sete etapas: definir, pesquisar, gerar ideias, testar protótipos, selecionar, implementar e aprender (RUFCA, 2012, p.24).

Neste processo da transformação do *briefing* em uma solução design, serão necessárias ferramentas para tornar a comunicação mais acessível. Löbach (2000), Forti (2005) e Deininger *et al.* (2017) explicam que apenas a linguagem verbal não é suficiente para discutir as suas ideias, principalmente nas etapas iniciais do projeto. Segundo Florio *et al.* (2007) e Deininger *et al.* (2017), as representações das ideias devem ser materializadas de forma bi e tridimensional, permitindo que o projeto possa ser pensado, testado e também sua base intelectual seja transmitida a todos os seus participantes. A representação gráfica, por exemplo, é responsável por traduzir visualmente, seja para o arquiteto ou para o designer, “a gênese,

concepção, detalhes técnicos e toda expressão gráfica do projeto do objeto, quer bidimensional ou tridimensional e que cada vez mais na área verifica a ampliação rápida e eficiente de softwares que favorecem inclusive a confecção tridimensional do objeto projetado”. (SILVA *et al.*, 2014, p.11). Fontoura (2009) destaca a importância dos desenhos de apresentação ou ilustrações como suporte para visualizar, argumentar e defender um produto projetado que ainda não existe fisicamente, apenas na forma de uma imagem, permitindo ao cliente ver algo que ainda não existe.

Ao longo dos anos, desenhos bidimensionais foram o meio de representação utilizados por áreas como arquitetura, engenharia e desenho industrial. A partir da representação visual de um desenho, a equipe passa a se entender melhor. Vale o ditado popular que uma imagem vale mais do que mil palavras. Ou seja, os conceitos visuais bidimensionais fornecem a primeira ferramenta de avaliação e validação de uma ideia ou conceito. “Ainda hoje, os desenhos conceituais, também conhecidos como *sketches*, continuam sendo usados universalmente nos estágios iniciais do processo de design do produto, como forma de capturar rapidamente uma ideia, um conceito ou uma forma no papel.” (FORTI, 2005, p.21).

De acordo com Florio *et al.* (2007), os conhecimentos e as experiências acumuladas pelos arquitetos, durante a atividade profissional, são representados: **de forma interna**, através de ações cognitivas durante a ação projetual ou; **de forma externa**, a partir de desenhos manuais, modelos físicos e digitais. Estas representações permitem materializar as ideias, facilitando o seu processo de comparação e avaliação. Com isso, segundo os autores, as representações conseguem tornar explícito aquilo que está implicitamente na mente de quem está projetando, assumindo um papel ativo no processo de projeto. Segundo Sweeting (2011), diferentes tipos de representação têm diferentes graus de abstração, ou seja, alguns compartilham mais ou menos características com aquilo que eles representam. Para o autor, os diferentes graus de abstração são extremamente úteis pois permitem que um desenho ou modelo se concentre especificamente em um aspecto. O grau de detalhes varia de acordo com o que se busca representar em um modelo. Certos detalhes podem não ser necessários; o uso excessivo pode distrair daquilo que realmente se busca analisar e; poucos detalhes podem significar que o modelo não possui elementos suficientes para a análise que se busca no projeto.

Para Macedo (2011), não apenas a linguagem visual, mas todas as representações que atuam como recursos visuais às ideias devem ser consideradas como indissociáveis do processo de projeto de produto. A autora (MACEDO, 2011, p. 9) traz quatro diferentes tipos de linguagem utilizadas por projetistas para a descrição e argumentação nos processos projetuais:

- **Semântica:** representação verbal ou textual de um artefato;
- **Gráfica:** representação do artefato por meio de sua expressão gráfica ou a representação da geometria do objeto por meio do desenho;
- **Analítica:** descrição das funções do artefato, além de sua forma, por meio de equações, regras e procedimentos;
- **Física:** representação do objeto por meio de modelos físicos ou o próprio objeto em si.

Em relação à evolução das ferramentas de prototipagem, a pesquisa de Pizzolito (2004) traz uma linha do tempo que se inicia na: **primeira fase** com a utilização de desenhos e prototipagem realizados de forma manual. Em ambos os casos, os protótipos eram realizados por habilidosos profissionais, o que gerava incertezas em relação a prazos e custos no projeto, principalmente em casos de representações complexas. Na **segunda fase** da prototipagem, a partir da década de 1970, o aumento da utilização de computadores na indústria foi responsável por empregar e difundir programas computacionais como CAD, CAM, CAE e CNC. O auxílio dos recursos digitais resultou no aumento na complexidade das peças através da precisão da representação das superfícies, tamanho, formas e contornos, transformando as práticas de projeto. Eles também permitiram a simulação e testes de protótipos virtuais e o início da utilização de máquinas com controles computacionais (CNC) para a construção de protótipos físicos. As superfícies cada vez mais complexas acabaram sendo uma grande limitação na criação de protótipos físicos, destacando ainda mais o uso de modelos virtuais. O custo dos equipamentos de prototipagem física ainda era muito alto nesta fase. Até que, na década de 80, iniciou-se a **terceira fase** com produção de protótipos por métodos de adição de material através de tecnologias como a manufatura orientada por camada e a fabricação de formas livres. As duas tecnologias foram transferidas para a prototipagem surgindo a técnica que atualmente é chamada de prototipagem rápida (PR). O grande diferencial desta fase é a utilização de modelos tridimensionais físicos através da tecnologia de adição de material.

A partir do que foi apresentado nesta etapa do trabalho, foi possível notar que a linguagem semântica se mostra insuficiente para transmitir todas as informações necessárias para as diferentes etapas e profissionais envolvidos no projeto. Alguns autores defendem que a linguagem gráfica não apenas auxilia a linguagem semântica na tradução do que está na mente para o papel, como também em processos de comparação e avaliação. A seguir, dando continuidade a outras características da linguagem gráfica, será apresentada a representação do

projeto a partir de desenhos e, posteriormente, uma mistura de linguagens através de outros recursos de prototipagem tais como: manual, virtual e rápida.

2.1. PROJETO REPRESENTADO POR DESENHOS

O designer, segundo Silva *et al.* (2014), possui uma intensa relação com o desenho pois é através dele que concretiza o ato criativo e expressa graficamente o seu projeto. O ato de desenhar é descrito por Fontoura (2009) como uma tradução de raciocínios e pensamentos decodificados pelas linhas traçadas. Sendo assim, o exercício do desenho permite discutir, de certa maneira, as próprias ideias no papel. O autor explica que através do denominado desenho conceitual ou exploratório é possível representar, corrigir, refletir, configurar, conhecer, visualizar e dar forma física aos pensamentos, tornando visíveis as ideias e criações. "Pode-se dizer que, de maneira geral, o processo de *design* é constituído por todas as relações existentes entre o *designer* e o objeto desenhado." (FONTOURA, 2002, p.79).

Os desenhos e esboços são amplamente utilizados pelos designers, segundo Alcaide-Marzal *et al.* (2013), como forma de capturar e desenvolver seus pensamentos e ideias sobre um problema de design. Para Vizioli *et al.* (2014), o ato de desenhar, como expressão gestual de uma ideia, segue como uma linguagem comprometida ao dinamismo intrínseco ao processo criativo. Para Sweeting (2011), muitas das situações com as quais os designers lidam são altamente complexas e não possuem soluções claras. Segundo o autor, o que permite aos designers prosseguirem em tais circunstâncias é a circularidade implícita do design, que é habilitada pelo uso da representação. Como as ideias não vem de modo contínuo na mente do projetista, durante o processo de concepção, Romcy & Tinoco (2015) afirmam que o desenho se torna instrumento de busca, investigação e experimentação.

Para Alcaide-Marzal *et al.* (2013), durante as primeiras fases do processo de design, quando o problema de design ainda é difuso e abstrato, os designers precisam de ferramentas que lhes permitam analisar, compreender, incorporar e dar expressão a pensamentos que representam peças parciais e inacabadas do objeto que estão projetando. Sun *et al.* (2014) e Vizioli *et al.* (2014) afirmam que os designers, geralmente, usam esboços para gerar, expressar e avaliar ideias, produzindo resultados criativos de alta qualidade na fase conceitual do design do produto. Após avaliados, são refinados (e até mesmo refeitos), quanto for necessário, até atingir o resultado desejado. Florio (2011) explica que os esboços estimulam a memória, o repertório do projetista e a capacidade de manipular e expressar ideias pois são feitos a partir

de traços imprecisos, sobrepostos e ambíguos permitindo múltiplas interpretações a partir de um mesmo desenho. Sendo assim, os esboços, segundo Veiga & Vizioli (2015), têm na ambiguidade um de seus fatores-chaves, pois permitem novas possibilidades e reinterpretções do projeto.

Alcaide-Marzal *et al.* (2013) apontam algumas características comuns observadas na natureza dos esboços: ambiguidade, reinterpretação, geração de conhecimento, processo cíclico e conhecimentos especializados. Todas elas estão relacionadas entre si e buscam melhorar o processo de criatividade. O esboço, que para Sweeting (2011) é a atividade fundamental de design, combina tanto a proposta (desenho) quanto a avaliação (analisar o que foi desenhado) criando um processo iterativo circular. Desta forma, um designer pode descobrir aspectos da proposta que funcionam mal ou que são promissores e podem ser desenvolvidos. Além disso, o esboço pode muitas vezes sugerir possibilidades inteiramente inesperadas e, portanto, atua como gerador de novas ideias. Segundo o autor, os desenhos mais abstratos são muitas vezes mais ambíguos permitindo uma variedade de interpretações diferentes. Embora isso não seja adequado para transmitir informações sobre os aspectos construtivos, é muito útil no processo criativo pois essa ambiguidade pode sugerir novas possibilidades. Parte de aprender a projetar é saber selecionar o grau de abstração que se deseja trabalhar em um determinado momento e em que busca concentrar o esforço. Ou seja, os esboços são mais do que uma técnica de comunicação. Para Sun *et al.* (2014), o esboço é um processo circular de geração, expressão e avaliação de ideias. Alcaide-Marzal *et al.* (2013) e Sun *et al.* (2014) explicam que, por consequência da ambiguidade, os esboços são reinterpretáveis. Ao produzir um esboço, o processo de reinterpretação é ativado, gerando novos esboços que também são reinterpretáveis e capazes de sugerir novos desenhos e soluções. Esse processo é um ciclo iterativo que ajuda os designers a passar do conhecimento abstrato e conceitual para algo mais concreto e detalhado. Os designers executam dois tipos de transformações ao produzir novos esboços, a partir do *feedback* dos anteriores: transformações laterais e verticais. As primeiras são mudanças que produzem novas soluções a partir de esboços existentes, enquanto que as últimas são mudanças de refinamento que melhoram e adicionam detalhes a um esboço anterior.

Desta forma, a inspiração é um elemento vital no design. Os designers geram continuamente inspirações de múltiplas perspectivas, e toda inspiração pode ser considerada como uma volta do processo de pensamento, permitindo possíveis novas soluções. Os esboços auxiliam na etapa de conceito pois, segundo Romcy & Tinoco (2015), eles se caracterizam como uma espacialização de hipóteses, sem maior definição ou nitidez, que adquire precisão a

partir de sucessivas experiências. Trata-se, portanto, de um trabalho de maior uso para o designer, nem sempre sendo compreensível para os outros. Com a ideia definida, o designer passa a registrá-la com maior rigor através de outros meios de representação, tornando-se um trabalho de comunicação, passível de ser compreendido por outras pessoas.

A ambiguidade é uma característica bem estudada dos esboços. Segundo Alcaide-Marzal *et al.* (2013), em oposição aos desenhos de CAD, os esboços são difusos, densos e pouco claros porque os designers usam um idioma simbólico particular ao esboçar. Isso também está relacionado ao fato de que o esboço está mais preocupado com recursos amplos em vez de detalhes. Os designers se concentram principalmente em aspectos gerais e gerais do problema, definindo primeiro formas e operadores principais e, em seguida, refinando os desenhos adicionando detalhes quando necessário. O processo de comunicação de detalhes do projeto pode ser realizado através de desenhos técnicos. Fontoura (2009) afirma que os desenhos técnicos ainda são utilizados, com acabamento preciso e detalhado, como forma de registo e documentação. Para o autor, o desenho funciona para o designer como uma forma de exteriorizar os pensamentos (assim como é feito com os esboços), variando apenas o nível de detalhes e o acabamento. Estes desenhos podem ser utilizados como um recurso de apresentar e vender a ideia ao cliente, e também como um meio técnico para descrever as informações àqueles que fabricam, montam e comercializam o produto. Com isso, essas representações visuais estão separadas em pelo menos dois momentos distintos: no primeiro, genericamente chamado de **desenho de ilustração** ou **desenho de apresentação**, o designer representa as ideias iniciais de modo a agradar e satisfazer os interesses do cliente por meio de desenhos volumétricos; no segundo, chamados **desenhos técnicos**, são mais precisos e detalhados de modo a servir como registro e documentação para viabilizar a execução do projeto.

Devido à evolução dos meios digitais, Rufca (2012) explica que já é possível o traço do lápis ser representado digitalmente, de maneira similar, através do uso de mesas digitalizadoras ou *tablets* que permitem o uso de uma caneta apropriada para o desenho sobre a superfície da tela ou até mesmo utilizando os dedos como ferramenta. Um exemplo desta fidelidade de reprodução pode ser visto na figura 2.

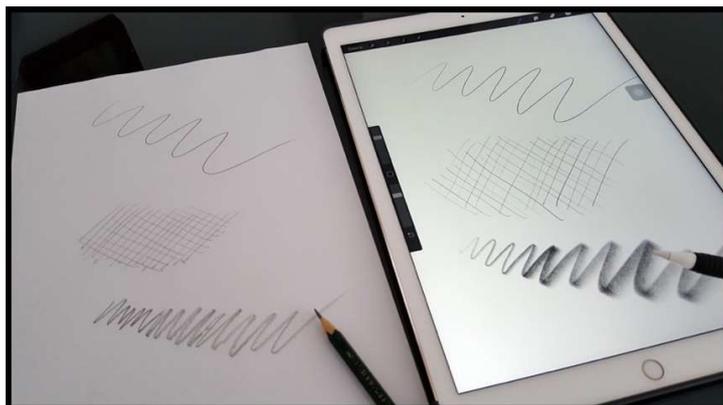


Figura 2: Fidelidade de reprodução em diferentes meios, manual (à esquerda) e digital (à direita). (Fonte: elaborada pelo autor).

As ferramentas digitais conseguem representar um novo produto com uma incrível riqueza de detalhes sendo extremamente úteis para a apresentação de um projeto. Segundo Vizioli *et al.* (2014), os dispositivos digitais de desenho permitem a captura dos movimentos gestuais do traço junto aos recursos dos editores de imagens. Isso torna dinâmica a experiência de projetar no computador e possibilita um pensamento rápido, análogo ao croqui, ao mesmo tempo em que agrega um rigor formal, mas que também facilita a geração de alternativas.

O enorme avanço da tecnologia impulsionou diversas empresas a criarem uma enorme variedade de dispositivos que podem ser utilizados como ferramentas de representação gráfica digitais. Hoje, os próprios *smartphones* já servem para esta finalidade, alguns de forma bem específica, como a linha Galaxy Note², apresentado na figura 3. Fabricado pela empresa coreana Samsung, conta com uma caneta digital com sensibilidade à pressão (recurso que permite a variação do traço de acordo com a quantidade de força que é aplicada na tela) que reproduz com grande fidelidade o acabamento de lápis, caneta ou pincéis artísticos. Outros dispositivos, tais como *tablets* também contam com este mesmo recurso. O iPad Pro³, por exemplo, fabricado pela Apple, possui o Apple *Pencil*, conforme mostra a figura 3, que além de sensibilidade à pressão, também conta com um incrível controle de inclinação, conseguindo reproduzir efeitos de sombreamento muito fiéis a de um lápis grafite, conforme visto na figura 2. Alguns *notebooks* 2 em 1 (atuam como *notebooks* e também como *tablets*) também possuem a caneta digitalizadora que permite desenhar diretamente na tela. Um exemplo é o Surface Book⁴, da empresa Microsoft, conforme mostra a figura 3.

² <http://www.samsung.com/br/smartphones/galaxy-note-5-n920g/SM-N920GZKAZTO/> (Acessado em 3 de maio de 2017).

³ <https://www.apple.com/br/ipad-pro/> (Acessado em 3 de maio de 2017).

⁴ <https://www.microsoft.com/en-us/surface/devices/surface-book/overview> (Acessado em 3 de maio de 2017).

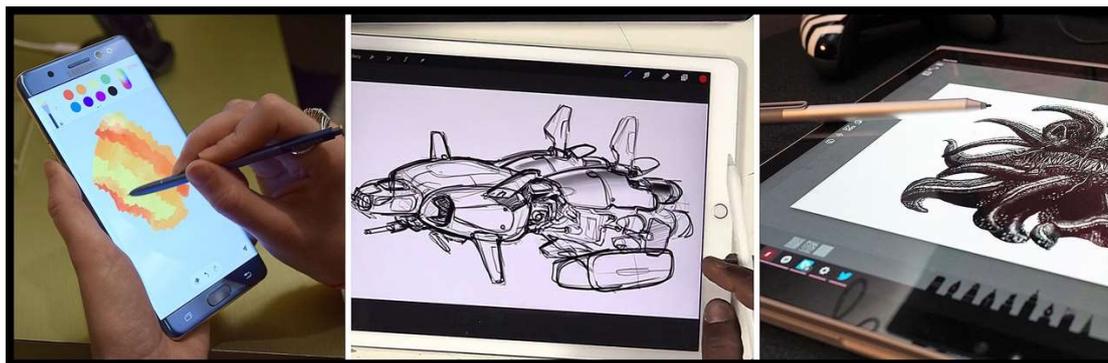


Figura 3: Dispositivos com canetas digitais: Samsung Galaxy Note (à esquerda), Apple iPad Pro (ao centro), Microsoft Surface Book (à direita). (Fonte: digitaltrends.com, cartoonbrew.com e windowscentral.com).

Empresas como a Wacom⁵, que fabrica desde mesas digitalizadoras que não possuem tela (*display*) e necessitam ser ligadas a um computador (ou *notebook*) para funcionar, como a linha Intuos. Outros modelos, que já contam com tela, mas que ainda precisam ser ligadas um computador (ou *notebook*) para funcionar, como a linha Cintiq. E os que já são a mesa digitalizadora integrada com um notebook, como a linha MobileStudio Pro. Todos os modelos contam botões personalizáveis, caneta com sensibilidade à pressão e controle de inclinação, mostrados na figura 4.



Figura 4: Mesas digitalizadoras da Wacom: Intuos Pro (à esquerda), Cintiq (ao centro), MobileStudio Pro (à direita). (Fonte: diyphotography.net, youtube.com e trustedreviews.com).

Apesar das vantagens, é curioso notar que alguns autores se mostram divididos em relação ao uso de ferramentas digitais na representação de projetos. Denis (2000), por exemplo, apoia o uso das ferramentas digitais enfatizando a grande liberdade conquistada na elaboração de projetos de design alcançando novos limites para a imaginação humana, mas em

⁵ <http://www.wacom.com/pt-br> (Acessado em 3 de maio de 2017).

contrapartida, condena o fato dos programas operarem a partir de menus, pois considera que a interface restringe o designer a atuar através de uma limitada lista de comandos.

(...), significa que fica cada vez mais difícil pensar em possibilidades que não constam do cardápio oferecido. Por definição, a possibilidade de prever o novo não pode existir em uma sequência programada: portanto, o risco de bitolar a excentricidade criativa é constante em qualquer sistema operacional que retire o controle instrumental do usuário, mesmo que seja para potencializar de forma exponencial a eficiência da execução (DENIS, 2000, p.214).

Segundo Souto (2002), algumas pesquisas abordam o uso do computador como sendo algo negativo, durante o processo projetivo, por reduzir a capacidade do projetista de gerar novas soluções. Como resultado, pode acarretar em uma maior homogeneidade em determinados aspectos fundamentais. “O velho senso de mistério e de magia diante da folha em branco, experiência fundadora nos relatos de tantos mestres do passado, definitivamente não parece se traduzir com a mesma intensidade para o espaço da tela apinhada de ícones e barras de ferramentas.” (DENIS, 2000, p. 215).

Um outro ponto levantado, por ambos autores, referente à padronização de finalização que foi responsável, de certa forma, por nivelar o grau de acabamento das peças gráficas. Tarouco (2011) reforça que tal padronização foi devida ao uso dos mesmos recursos tecnológicos, reduzindo assim o fator inovação. Além disso, Souto (2002) afirma que o uso dessas ferramentas, ao se tornar cada vez mais acessível às pessoas, despertou a preocupação de profissionais de design, principalmente a dos designers gráficos.

Eles acreditavam que a popularização dos equipamentos e a facilidade de utilização dos programas para geração de imagens permitiriam que qualquer pessoa com conhecimento do equipamento e do software poderia manipular imagens e realizar serviços de design gráfico. (SOUTO, 2002, p.42).

Como consequência por essa padronização, surgem outras discussões, como a que Rufca (2012) traz sobre usuários de computador sem formação em design. Eles são considerados um risco à credibilidade dos profissionais capacitados ao não atender de maneira adequada às necessidades de um projeto e com único diferencial de oferecer serviços a preços reduzidos. Tanto os designers gráficos, quanto os de produto acabam enfrentando a

concorrência de operadores de computador que acreditam que o uso de uma determinada ferramenta já é o suficiente para elaborar um projeto. Eles também são responsáveis por criar um impacto negativo devido aos projetos de baixa qualidade e que nem sempre fica claro para o cliente que é devido à falta de formação do profissional contratado. Por outro lado, Anderson (2012) encara isso como um impacto positivo e classifica como o poder da democratização. Para o autor, considerando que todas as pessoas possuem necessidades, habilidades e ideias é preciso disponibilizar as ferramentas nas mãos de quem sabe usá-las melhor. Pois, se as pessoas tiverem a capacidade de usar ferramentas para atender às suas necessidades ou para modificá-las segundo suas ideias, todos poderão explorar, em conjunto, toda a extensão do que a ferramenta é capaz de produzir.

Entretanto, a atividade de design, assim como o ato de projetar não se resumem a ter um domínio pleno sobre a utilização de determinadas técnicas e ferramentas. Assim como, o nivelamento do domínio técnico apenas destacou outros diferenciais do profissional de design, como mostra, por exemplo, a citação de Denis (2000):

Novamente neste contexto o papel do designer adquiria um valor redobrado, pois o critério principal que distinguia a qualidade dos impressos passava a ser não mais a habilidade da execução gráfica, mas a originalidade do projeto e, principalmente, das ilustrações. (DENIS, 2000, p. 42).

Logo, cabe ao designer demonstrar conhecimentos que não estão relacionados ao simples uso de equipamentos avançados. “(...) o desenvolvimento de design de produto não se limita a técnica ou estilo de representação, é necessário conhecimento e metodologia de projeto” (RUFCA, 2012, p.46). Os designers estão enfrentando profissionais que chegam ao mercado de trabalho sabendo apenas utilizar ferramentas gráficas, porém desconhecem metodologia de projeto. Por outro lado, alguns autores afirmam que alguns designers enfrentam, mesmo com tantas opções de técnicas e ferramentas, dificuldades em projetar por não saber representar as próprias ideias. Fontoura (2009) explica que a falta de exercício e de domínio na arte do desenho, como forma de expressão, limita representar as ideias geradas para o projeto. O profissional que não sabe desenhar acaba limitado por não conseguir expressar tudo o que imagina ou que tem potencial para projetar. Entre as possíveis causas, Fernandes & Silva (2013) apontam a notória deterioração do desenho como ferramenta de linguagem nas universidades de arte, design e arquitetura. Culpam a valorização do pensamento verbal por conta do caráter

científico nas universidades. Por valorizar a importância da expressão verbal em todos os domínios da educação, afirmam que não se surpreendem com a dificuldade dos alunos adotarem um processo de concepção artístico e criativo. Desta forma, essa falta de domínio na técnica de representação pode afetar o ato de projetar.

Fernandes & Silva (2013) explicam que o design evoluiu muito ao longo dos séculos, acompanhando as mudanças de sociedade. Na visão deles, diferente dos meios de produção de antigamente, hoje, para produzir um produto são necessários inúmeros conhecimentos e domínios de diferentes técnicas. A prática do desenho vem auxiliar na idealização, produção e comunicação dos objetos em um mercado de complexas relações de forma, função e significado entre produto e usuário. Araujo (2009) também identificou, no campo da educação, esse bloqueio dos alunos. Ele afirma que, mesmo com um repertório heterogêneo tanto na formação acadêmica quanto nas ações cognitivas, os alunos têm dificuldade em se expressar por meio de desenhos e croquis.

Entretanto, Fontoura (2009) lembra que o desenho, seja como forma de desenvolver e explorar ideias, de representação técnica, de apresentação e de ilustração, pode ser aprendido e ensinado. Para isso, é necessário praticar e executar exercícios orientados. Assim como algumas pessoas possuem mais facilidade que outras neste aprendizado, mesmo aquelas com um grau maior de dificuldade podem alcançar uma competência mínima que lhes possibilitará expressar suas ideias e suas criações através do traço. O autor também afirma que o desenho deveria fazer parte da educação geral de todo indivíduo, não só daqueles ligados profissionalmente às diversas modalidades do projeto ou do design. Pois o estudo e a prática do desenho aumentam a capacidade de expressão e comunicação das pessoas e, acima de tudo, desenvolve a capacidade perceptiva. Iniciativas, tais como a de Fontoura (2002) com a Educação através do Design (EdaDe) voltada às crianças e jovens, visam a ajudar o desenvolvimento de habilidades de desenho, de criação, de construção, de expressão de ideias e do próprio design. Assim como acontece com a escrita, Fernandes & Silva (2013) defendem o desenho como um importante recurso para comunicar ideias. Segundo eles, os estudantes apresentam formação em design com projetos embasados em teorias, mas com poucos desenhos pois a universidade não fornece esse tipo de aprendizado. E enquanto servir como meio de expressar e transcrever as ideias e transformá-las em projetos funcionais, tanto o lápis quanto o computador são boas ferramentas nas mãos do designer.

Outro problema está relacionado à forma como os avanços tecnológicos e as ferramentas digitais estão sendo inseridas no ensino de design. O desenho técnico, por exemplo, é ensinado

aos alunos de design em seus primeiros anos de estudos. Segundo Rivera-Chang (2015), ele é um tipo de linguagem e disciplina que não mudou em décadas, mas as ferramentas para a sua produção mudaram significativamente. Antes do advento do computador, os desenhos técnicos eram produzidos inteiramente à mão, utilizando lápis, tinta, caneta e papel em uma mesa de desenho. A tecnologia atual permite que a maioria dos *softwares* CAD produzam desenhos técnicos de qualquer modelo 3D quase que automaticamente. Tradicionalmente, o processo pedagógico de uma aula de desenho técnico é ensinar uma linguagem de desenho altamente especializada usando um recurso visual de duas dimensões. Faz parte de um currículo de design, estruturado em uma época em que os desenhos eram todos feitos manualmente, usando lápis, tinta, canetas e papéis. O objetivo final para os alunos era entregar um desenho técnico em papel, aplicando padrões de elaboração. A disciplina de desenho técnico foi considerada parte de um grupo de conhecimentos focados no desenvolvimento de habilidades básicas de design para alunos do primeiro ano. Com o advento dos *softwares* CAD, vários cursos de design adicionaram o requisito de aprender o uso de *software* para os currículos existentes, mas não alteraram a estrutura das aulas. A produção de desenhos técnicos 2D continua sendo o principal objetivo da disciplina. Exemplos como este, deixam claro que, devido às inovações na tecnologia, um aspecto da educação que precisa ser revisto é a pedagogia relacionada ao uso de ferramentas digitais no design.

Apesar das vantagens apresentadas anteriormente, não são todos os autores que concordam com a eficiência dos desenhos bidimensionais pois “não são mais considerados como soluções que possam garantir uma compreensão espacial, tanto na fase conceitual quanto na de representação” (PUPO, 2008, p.1). Embora ela apresente vantagens sobre os conceitos verbais, Forti (2005) considera a representação bidimensional limitada por exigir uma grande capacidade cognitiva do observador ao interpretar o desenho de maneira volumétrica, transformando mentalmente a sua imagem em um objeto tridimensional. Deste modo, o próximo tópico aborda as vantagens, desvantagens e algumas características relacionadas ao uso de modelos tridimensionais como meio de representação no desenvolvimento de projetos.

2.2. MODELOS 3D DIGITAIS E FÍSICOS

Antes da inclusão das ferramentas digitais, Lee (2016) explica que o design tradicional e as suas técnicas de construção foram inteiramente baseadas na geometria euclidiana. A introdução do CAD, no desenvolvimento de projetos, permitiu gerar e manipular uma geometria de curvas contínuas e superfícies que existem fora da geometria euclidiana. A

introdução do CAD 2D permitiu gerar desenhos digitais de forma mais rápida, mais precisa e fácil de manipular. As mãos experientes do designer foram substituídas pelas capacidades digitais do computador. Posteriormente, o uso do CAD 3D, na prática projetual, criou outro tipo de mídia de design: o modelo digital 3D.

Para Alcaide-Marzal *et al.* (2013), apesar dos softwares CAD terem evoluindo bastante, o estágio de design conceitual ainda é realizado através de papel e lápis. Mesmo eles sendo muito mais flexíveis do que antes, os autores afirmam que os sistemas CAD ainda são ainda muito restritivos em termos de criatividade. Os desenvolvedores buscam criar *softwares* capazes de atender a essas necessidades, como as alternativas que simulam esboços e as opções que trabalham com escultura digital. Entretanto, o modelo digital 3D, hoje, já apresenta diversas vantagens para o processo projetual, entre elas: modelo contém dados geométricos, informações de construção, componentes e materiais virtuais. Eles permitem que um designer explore objetos modelados tridimensionalmente, em um ambiente virtual, mudando pontos de vista facilmente e editando-os periodicamente. O modelo digital também é conveniente para a geração de desenhos em 2D e 3D, que podem ser usados para representações renderizadas realisticamente, análises de resistência, prototipagem rápida, entre diversas outras.

Embora a modelagem digital por computadores, através do CAD, tenha se tornado uma ferramenta eficaz para experimentar formas complexas, Lee (2016) explica que as imagens geradas dos modelos digitais em uma mídia bidimensional, como telas de computador ou papel, limitam o processo perceptual. Para Penna (2002), o modelo físico é uma das respostas do designer para as diferentes etapas e necessidades do projeto e pode ser executado com diferentes técnicas e materiais, traduzindo a beleza e dando vida ao projeto representado em 2D. Com isso, ajuda a verificar dimensões, formas, ergonomia, cores, entre diversas outras perguntas de projeto, inclusive a sua aceitação no mercado. "Entre a argila e a prototipagem rápida existe uma infinidade de materiais e técnicas, dos quais o designer ou modelador pode se utilizar para representar ou expressar sua criação com beleza, qualidade e tecnologia, aprimorando o projeto de acordo com a etapa de desenvolvimento". (PENNA, 2002, p.10).

Entretanto, assim como o embate entre as ferramentas tradicionais e digitais, no processo de representação dos projetos por desenhos, o mesmo acontece entre as ferramentas de representações tridimensionais. Os modelos físicos, segundo Alcoforado Neto (2007) e Barbosa (2009), podem ser produzidos de duas formas: **método tradicional** (conhecido também como modelagem manual ou convencional), através de ferramentas que não utilizem controle numérico (CNC). Isso inclui modelagem manual, com ferramentas manuais ou

elétricas, que exploram competências manuais; e a **prototipagem rápida**, fabricados através de processos automatizados, através de máquinas de prototipagem rápida, controladas por CNC. Os processos de modelagem tradicionais, não acompanham as evoluções dos modelos digitais, representando uma quebra no processo projetual realizado através do uso do computador. Veiga & Vizioli (2015) explicam que, devido ao avanço tecnológicos, hoje, uma vez elaborado o modelo digital de um dado produto, é possível materializá-lo por meio da impressão 3D, permitindo o aprimoramento constante até que sejam atingidas as características desejadas do objeto em estudo.

Os avanços em CAD/CAM, segundo Lee (2016), permitem utilizar a prototipagem rápida (PR) com ferramentas tais como: cortadora a laser, fresadora CNC, impressoras 3D, entre outras, para materializar os modelos virtuais, em particular, objetos não-euclidianos, reduzindo a lacuna entre a visualização e a construção, restaurando o papel dos modelos físicos dentro do ciclo de design, bem como explorando diferentes formas de representação. Deste modo, cria-se uma ponte entre o virtual e o físico, sendo que a experiência de sentir manualmente o aspecto tátil dos objetos no meio físico introduz uma dimensão diferente para o designer na percepção de fazer e avaliar o projeto.

Conforme apresentado na introdução deste trabalho, a vantagem do processo de prototipagem rápida, em relação ao tradicional, é a integração do processo de fabricação com os arquivos digitais. Caso sejam necessárias modificações, verificadas através da análise dos modelos digitais ou físicos, basta alterar o arquivo digital diretamente nos *softwares* de modelagem e realizar a materialização de um novo modelo físico. Além disso, utilizar técnicas como a modelagem paramétrica para gerar geometrias complexas através de processos automatizados de geração da forma, sem depender de profissionais extremamente habilidosos para conseguir modelar manualmente, além da considerável redução de tempo no processo de execução. Batistello *et al.* (2015), reforçam que as mudanças nos protótipos virtuais podem ser rapidamente transmitidas para novos protótipos rápidos, especialmente com o objetivo de avaliar e comparar propostas. Entretanto, Lee (2016) aponta que o uso da PR requer um conjunto específico de habilidades, incluindo, por exemplo, uma boa compreensão de *softwares* de modelagem digital; a variedade, vantagens e limitações de cada máquina de fabricação; a capacidade de escolher a ferramenta e técnica adequadas ao que se pretende verificar, entre outras. Então, um designer sem um conjunto de habilidades, não conseguirá obter o *feedback* tátil ideal, oferecido por modelos físicos, o que levaria ao desvio do ciclo de análises que consiste na interação entre os meios de design.

Apesar das vantagens do uso do modelo físico, seja pelo processo manual ou pela PR, de acordo com Alcoforado Neto (2007), a prototipagem virtual, auxiliada por recursos de RV está permitindo aos designers manipularem o modelo computadorizado de forma muito próxima ao mundo real. O que representa um ganho enorme para o processo projetual por permitir modelar, interagir, explorar, avaliar e modificar o produto virtualmente antes do desenvolvimento de um protótipo físico de alta fidelidade. Para Barbosa (2009), os modelos virtuais vêm sendo bastante empregados devido ao aumento de *softwares* que realizam simulações e diminuem a quantidade de confecções de modelos físicos dos objetos. Em relação às principais vantagens do uso de modelos virtuais ao longo do processo projetual, Netto & Oliveira (2002) destacam **redução de tempo**: o tempo que um produto leva para ser desenvolvido, desde a ideia inicial até ser lançado no mercado, também chamado de *time to market*, é um dos fatores fundamentais para diminuição de custos, realização de lucros e sucesso do produto no mercado; **diminuição de custos**: os protótipos virtuais reduzem a necessidade de protótipos físicos e testes reais, reduzindo custos de projeto com pessoas, equipamentos e materiais; **melhoria da qualidade**: a possibilidade de prever erros nas etapas iniciais do projeto, investigar diferentes alternativas de solução e permitir a personalização do produto, segundo o desejo do cliente, propicia uma melhora da qualidade final e uma maior satisfação do consumidor em relação ao produto adquirido.

Em relação aos modelos físicos, Ferroli & Librelotto (2012) afirmam que são usados, geralmente, em diversas etapas do desenvolvimento de novos produtos. Eles podem ser excelentes meios para apresentar um novo produto aos demais membros da equipe e também para seus clientes. Ao longo de seu desenvolvimento, auxiliam em questões como: visualizar a integração entre seus diversos componentes; simular determinadas propriedades dos objetos; gerar os moldes ou matrizes para a produção. As vantagens do uso de modelos físicos são: aumentar as informações do produto e, conseqüentemente, diminuir seus riscos de produção; corrigir defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto; avaliar o desempenho dos produtos no uso a que se destinam antes de serem produzidos industrialmente ou ainda para estudar as reações do mercado ao produto, antes que este entre em processo de produção. Importante notar que algumas vantagens são semelhantes em ambos os processos e algumas delas podem ser aplicadas do virtual para o físico e vice-versa. Para Forti (2005), Alcoforado Neto (2007), Florio *et al.* (2007), Cândido & Kindlein Júnior (2009), Batistello *et al.* (2015) e Lee (2016), os modelos físicos possuem uma taxa maior sucesso na ajuda em compreender as geometrias complexas, pois eles combinam os aspectos visuais tridimensionais com as

características táteis pela manipulação do artefato físico. O modelo tridimensional digital expande a cognição visual dos desenhos técnicos, enquanto um modelo físico fornece *feedback* tátil, desempenhando um papel crítico na cognição háptica. Isso acelera a exploração de estruturas espaciais dos designers, em relação a uma mídia bidimensional, acelerando a compreensão das geometrias.

O grande problema dos modelos virtuais, em relação aos mock-ups e protótipos reais, é a impossibilidade de se interagir diretamente com eles, ou seja, de tocá-los. Consequentemente tem-se uma dificuldade de se analisar suas proporções físicas reais em relação aos usuários e aspectos relativos à ergonomia física, como fatores antropométricos, por exemplo. Nesses casos, essas avaliações são feitas ou no protótipo real, ou em um protótipo misto com partes físicas e virtuais. (FORTI, 2005, p.25).

Rivera-Chang (2015) também aponta a dificuldade em compreender escala e tamanho corretamente através de objetos exibidos na tela do computador. Para o autor, ao contrário dos objetos reais que pode tocar, sentir e não mudar de tamanho, a escala e o tamanho dos objetos exibidos na tela do computador podem mudar constantemente. A maioria dos *softwares* CAD 3D permitem ao usuário ajustar o tamanho e a escala do objeto, mas o retorno visual proveniente da tela ou do monitor pode não ser suficiente para comunicar seu tamanho ou escala apropriados. Neste caso, ferramentas como a impressora 3D podem ajudar a elaborar os alunos para entender rapidamente a escala correta de um objeto na tela. Por exemplo, um objeto de pequena escala pode parecer gigantesco na tela, mas, uma vez que o objeto é impresso em 3D e o aluno está segurando o objeto com a mão, ele entende a escala correta.

Quanto ao aspecto cognitivo, Volpato *et al.* (2007), Pupo (2008) e Rufca (2012) concordam que a relação da leitura do artefato pelo designer é diferente de acordo com a ferramenta que ele utiliza. Os sentimentos despertados pelo designer ao analisar os modelos físicos são, para Rufca (2012), fundamentais na escolha e avaliação das propostas apresentadas, pois as mesmas sensações não aparecem quando as avaliações ocorrem no ambiente digital. A simulação digital, por meio das geometrias construídas em *softwares* de modelagem tridimensional, fornece informações relacionadas ao contexto técnico, enquanto o uso da prototipagem física tem a responsabilidade de fornecer informações no contexto das percepções sensoriais, além da possibilidade de análise também no contexto técnico. Por exemplo, a

percepção recebida através de um modelo visualizado pela tela do computador estimula e proporciona reações diferentes do contato físico que o designer tem com o objeto físico.

Ainda em relação aos aspectos cognitivos, Lee (2016) aponta o processo reflexivo da forma como sendo uma das vantagens dos modelos fabricados manualmente em relação ao processo de prototipagem rápida. O desenho permite o processo de reflexão que realiza o teste iterativo de soluções de design através da visualização de conceitos. Os modelos de estudo, construídos tradicionalmente com espuma ou bloco de madeira, permitem experimentar e alterar a forma enquanto estão sendo modelados, proporcionando um momento de reflexão e *feedback* iterativo através da visualização do objeto, durante o seu desenvolvimento. Enquanto os modelos gerados através da PR não se prestam à essa conversa, diferentes dos modelos manuais, a sua forma já é final, não pode ser submetida a experimentações, no caso de novas ideias, é preciso gerar um novo modelo. De certa forma, torna-se mais um monólogo do que uma conversa.

Brown (2008) coloca que boas ideias podem surgir de mentes brilhantes, contudo bons resultados surgem do trabalho centrado no ser humano através de um processo criativo, seguido por ciclos iterativos de testes com modelos e refinamentos. Ao longo do desenvolvimento de um produto, a criatividade permite encontrar novas possibilidades de ideias e conceitos ao buscar a solução para um determinado problema. Neste caso, o uso de modelos físicos e/ou digitais contribui para este processo ao permitir experimentação e simulação de diferentes alternativas. Para Lee (2016), este processo cíclico auxilia na resolução de problemas ao analisar os modelos físicos. Depois de concluída a análise, os designers retornam aos desenhos 2D e 3D para avaliá-los e alterá-los e, em seguida, atualizar o modelo físico para procurar novos problemas e/ou soluções. Os designers repetem esse processo até encontrar uma solução ideal de forma e função. Ou seja, os modelos físicos possuem um potencial maior para indicar novas direções de design, ajudando a verificar deficiências no design e eventuais correções, não exigindo o esforço de ficar analisando os problemas apenas através do desenho. “Assim, prototipar deixa de ter uma função puramente de apresentação do projeto e passa a ser o caminho para o projeto interagir como mundo, ou seja, poder ser avaliado e evoluir, em ciclos iterativos”. (ALCOFORADO NETO, 2014, p.395). A análise iterativa de modelos, no processo de desenvolvimento de um produto, faz com que as etapas projetuais saiam do modelo linear, permitindo o retorno em etapas anteriores toda vez que se fizer necessário ao longo do processo.

Para Alcoforado Neto (2014), um dos problemas do processo projetual tradicional é que muitas vezes o produto só começa a ser tridimensionalizado nas fases finais ou já na fase de

produção. Com isso, muitas vezes são detectados problemas nessas fases que não são vistos em representações bidimensionais, gerando um retorno e atrasos no processo de design, devido as correções e ao redesign, que poderiam ser evitados se o protótipo tridimensional fosse desenvolvido mais cedo. Neste caso, Rufca (2012) reforça a importância da construção de modelos físicos para uma melhor compreensão e avaliação do projeto. Já para Forti (2005), os modelos 3D digitais, apesar de levarem um pouco mais de tempo em sua execução, funcionam como um recurso de visualização poderoso por permitir analisar qualquer vista ou detalhe de maneira rápida e eficaz. Ao contrário da representação 2D, as modificações podem ser realizadas de modo pontual, sem a necessidade de refazer todo o modelo. O uso da representação tridimensional, seja ela por meio digital ou físico, é considerada uma solução mais eficiente da comunicação da forma, “estabelecendo proporcionalidades, perspectivas e funcionalidades inerentes ao projeto, que talvez não pudessem ser evidenciadas em uma representação bidimensional” (PUPO, 2008, p.1).

Volpato *et al.* (2007) também afirmam que a representação tridimensional, aplicada no desenvolvimento de produtos industriais, facilita a otimização do produto, o que resulta em redução de tempo e custo de produção, reduzem os riscos e agilizam as etapas no desenvolvimento e podem ser matrizes para moldes ou até ser utilizados como peças piloto. A maioria das pessoas (não importando idade, sexo ou classe social), segundo os autores, tende a assimilar a informação projetual, de forma mais rápida, ao ser transmitida através de modelos físicos ao invés de desenhos e ilustrações. Mas, apesar disso, Volpato *et al.* (2007) destacam que eles os modelos físicos não devem substituir as representações bidimensionais, pelo contrário, a combinação delas constitui em uma ferramenta de comunicação e visualização poderosa. Melo (2003) também reforça que é preciso, ao considerar que as técnicas empregadas não conseguem representar de forma satisfatória o projeto, utilizar diferentes sistemas de linguagem combinados até tornar os resultados compreensíveis.

Portanto, ao longo das colocações dos autores pesquisados é possível concluir que os modelos tridimensionais, sejam eles digitais ou físicos, proporcionam diferentes resultados e, conseqüentemente, devem ser aplicados em situações distintas, de acordo com a necessidade ou recursos disponíveis em cada projeto de design. Conforme foi apresentado, cada um deles apresenta características e vantagens, ao longo do processo, e cabe ao designer conhecer e decidir qual é o mais apropriado para cada etapa ou tipo de projeto a ser realizado. Os artefatos utilizados para os testes ao longo do projeto de design são chamados de modelos e/ou protótipos. Suas características e definições serão vistas a seguir.

2.3. DIFERENTES TIPOS DE MODELOS E PROTÓTIPO

O termo protótipo, segundo Alcoforado Neto (2014), possui significados que diferem em cada área. Para os designers de produto se trata da configuração do produto em sua escala real com o mesmo material, acabamento e funcionalidade. Os designers de interface utilizam o mesmo termo para simular digitalmente a tela. Já para os animadores podem ser seus *storyboards* de seus filmes ou vinhetas. Os programadores chamam os testes dos programas de protótipos. Os engenheiros de produção utilizam o termo para o primeiro produto fabricado em uma linha de produção. A prototipagem, segundo Deininger *et al.* (2017), é uma combinação de métodos que permitem que a forma física ou visual seja dada a uma ideia e desempenha um papel essencial no processo de desenvolvimento do produto, permitindo aos designers especificarem problemas de design, atender às necessidades dos usuários e requisitos de engenharia e verificar as soluções de design. Para o dicionário Michaelis, **modelo** pode ser o objeto que se destina a ser reproduzido por imitação; protótipo de algo que se destina à produção industrial em série. Enquanto **protótipo** é definido como sendo o primeiro tipo; primeiro exemplar; modelo, padrão; o primeiro exemplar de um produto industrial, feito de maneira artesanal, conforme discriminações de um projeto, que serve de teste, antes de sua produção em série.

A palavra modelo, segundo Penna (2002), possui significados distintos, conforme o contexto em que é aplicado. Conceitualmente, a autora define modelo como um ponto de referência para atingir uma meta. Neste caso, modelo é algo utilizado como meio para atingir um fim. Modelo também pode ser utilizado para representar modelos computacionais (um desenho de apresentação de produto, feito no CAD ou qualquer outro programa gráfico), e também representações físicas da aparência visual dos produtos. Alcoforado Neto (2007) define modelo como sendo qualquer estado físico de um produto realizado em escala de ampliação ou de redução, no mesmo material do produto final ou em material alternativo, com ou sem recursos funcionais. Para Baxter (2000), modelo, no projeto de produto, é uma representação de parte ou do produto como um todo. O termo é geralmente empregado para representar modelos computacionais (utilizados como desenhos de apresentação de um produto) ou representações físicas da aparência visual dos produtos.

No desenho industrial, Penna (2002) classifica os modelos físicos como representações tridimensionais de objetos ou produtos em fase de desenvolvimento. Eles são utilizados para simular algumas propriedades dos objetos em estudo, permitindo corrigir defeitos e

insuficiências do produto durante as etapas de seu desenvolvimento. Os modelos também servem para gerar os moldes ou matrizes dos objetos a serem produzidos e avaliar o desempenho dos produtos antes de serem produzidos industrialmente. Forti (2005) categoriza em dois os tipos de modelos tridimensionais: os não funcionais e os funcionais. Os modelos não funcionais recebem o nome de maquete, *mock-up* ou simplesmente modelo. Os funcionais são chamados de protótipos. De forma mais detalhada, Penna (2002), Ferroli & Librelotto (2012) definem os modelos físicos em design de produto do seguinte modo:

- **Modelos preliminares** (ou pré-modelos): são gerados a partir de um esboço ou estudo preliminar, praticamente utilizados apenas para avaliação volumétrica. Os materiais, geralmente empregados, diferem do produto final e, nestes tipos de modelos, devem ser de baixo custo, recicláveis ou descartáveis, de fácil manuseio e que permitam alterações formais rápidas. Exemplos: isopor, espuma rígida de poliuretano, papel, papelão, argila, massa de modelar, etc. Também chamados de modelos proporcionais ou modelos de conceito, apenas representam o volume geral do objeto, suas proporções e relações volumétricas, não são considerados detalhes formais, estruturais ou construtivos. São realizados preferencialmente em uma cor neutra (branco ou cinza) sem brilho para favorecer a percepção formal do objeto.

- **Mock-up** (ou modelos experimentais): utilizados para testes ergonômicos, funcionais ou verificação de níveis de acabamento e/ou testes, fabricados em escala natural (1:1). Podem ser feitos em diversos materiais, dentre eles chapas finas de poliestireno, polipropileno, polietileno de alta densidade ou madeiras transformadas (MDF principalmente), assim como utilizar também os materiais empregados nos modelos preliminares, no entanto com maior nível de acabamento.

- **Modelo em escala reduzida** (ou maquete): utilizados na representação de projetos em escalas reduzidas, principalmente pela Arquitetura e Engenharia. O próprio termo **maquete**, palavra de origem francesa, significa miniatura de projeto. O seu uso é voltado para a promoção do produto, estudo de cores, avaliação de formas, testes de aerodinâmica, etc.

- **Protótipo**: significa o primeiro de um tipo. Uma das últimas etapas de um projeto, realizado em escala natural (1:1), representando de forma extremamente fiel o produto final, utilizando os mesmos materiais, cores e acabamentos, inclusive a sua funcionalidade. Sua confecção pode ser artesanal ou industrial. O protótipo também pode ser utilizado como cabeça de série para produção em massa.

Os protótipos, segundo Deininger *et al.* (2017), podem ajudar a minimizar os erros de design que podem ocorrer do início ao final do processo. Muitas vezes, os protótipos podem

ser criados, de forma rápida e barata, e servir como modelos efetivos para ajudar os designers a identificar as questões de design e aprender com as falhas. Portanto, muitos defensores sugerem que os protótipos devem ser criados cedo e utilizados iterativamente ao longo do processo de design do produto. Para Baxter (2000), a palavra protótipo, no projeto de produtos, refere-se a dois tipos de representação. O primeiro, no sentido mais preciso da palavra, refere-se à representação física do produto que será eventualmente produzido industrialmente. O segundo, o termo protótipo utilizado no sentido mais lato, para qualquer tipo de representação física construída com o objetivo de realizar testes físicos. Já Alcoforado Neto (2014), não considera protótipo como limitado a algo físico, nem a uma representação de todas as características de um produto. Ele complementa dizendo que diversos autores em todo o mundo nomeiam as etapas de representação das características de um produto (ou sistema) através do termo prototipagem (traduzido do termo em inglês *prototyping*), dividindo-os de acordo com o nível de fidelidade (baixa e alta fidelidade). E com isso define que *sketches*, *mock-ups*, modelos e protótipos tradicionais, são tratados como tipos de protótipos. A diferença entre eles, portanto, fica por conta dos níveis de fidelidade. Segundo Saura (2003), a definição de prototipagem consiste em toda ação ou processo na busca em obter uma versão do produto que se deseja fabricar, antes dele estar definitivamente pronto, para fins de testes e/ou análises preliminares. Para Pupo (2008), o processo de desenvolvimento de protótipos pode ser classificado como:

- **Prototipagem manual:** O processo mais antigo, mais associado aos artesãos do que às construções técnicas, demandando muito tempo por serem extremamente trabalhosas. Mas resistem até hoje para determinadas aplicações;

- **Prototipagem virtual:** Com o aumento gradual das aplicações de CAD/ CAE/ CAM, os modelos computacionais tridimensionais foram sendo usados cada vez mais para testes, análises e modificações como se fossem protótipos físicos. Com o avanço das ferramentas computacionais, dobrou a complexidade dos protótipos e passaram a utilizar máquinas CNC pra reduzir o tempo de fabricação dos modelos físicos.

- **Prototipagem rápida:** o nome mais comum dado às tecnologias correlatas utilizadas para fabricar objetos físicos a partir de um arquivo computacional tridimensional produzido em CAD. Será melhor abordado no capítulo 4 deste trabalho.

Baxter (2000) separa os processos de representação dos protótipos em:

- Representação estrutural:

- Modelo de apresentação: forma física e aparência (mas não a função);
- Modelo de forma: tamanho físico e forma (mas não função nem aparência);

- Representações estrutural e funcional:
 - Protótipo de pré-produção: modelo completo de um produto para fabricação (tamanho, forma e função);
 - Protótipo de produção: materiais e processos iguais aos da produção industrial;

- Representação funcional:
 - Protótipo experimental: funções principais (mas não tamanho e forma);
 - Protótipo de teste: funções específicas (mas não tamanho e forma).

Yang & Epstein (2005) e Alcoforado Neto (2014) trazem características sobre os estágios de desenvolvimento de protótipos que auxiliam o designer a esclarecer os requerimentos definidos do projeto, elas são baseadas nas definições de engenharia de *software*:

- **Descartável ou Exploratório:** utilizado quando o problema ainda não está claro suficiente para definir caminhos para o desenvolvimento de soluções projetuais, requerimentos do futuro produto e sistema ou até mesmo para reconhecer o verdadeiro problema projetual;
- **Experimental:** usado para implementação técnica do produto, ou seja, incluindo questões de ordem funcional ou ergonômica do produto;
- **Evolucionário:** permite realizar o acompanhamento do desenvolvimento do produto ou sistema até o produto final, ou seja, através de ciclos iterativos contínuos controlados e avaliados até o produto alcançar o nível de evolução adequada;

Muitas pesquisas definem o esboço, segundo Yang & Epstein (2005) e Rufca (2012), como sendo uma linguagem, uma maneira de expressar o pensamento do design. Os prototipos podem ser pensados em termos de seu propósito, ou as categorias de perguntas que eles respondem sobre um projeto. Além disso, os autores explicam que o protótipo, muitas vezes, serve múltiplos propósitos ao mesmo tempo. Por exemplo, um protótipo pode ser uma prova de conceito para o desempenho funcional e, ao mesmo tempo, dar uma sensação das dimensões e peso do produto. “Se o protótipo físico for construído com materiais com a mesma característica dos utilizados na produção da peça, o designer poderá também avaliar as questões relativas ao peso e à funcionalidade do produto”. (RUFCA, 2012, p.89). A construção de protótipos é muitas vezes uma relação de troca entre fidelidade, realismo, tempo, esforço e custo necessários para produzi-lo. Idealmente, os designers devem escolher o protótipo mais barato que seja eficiente, o que significa um protótipo que pode ser construído de forma rápida e barata, mas que ainda fornece as informações que o designer está procurando. A intenção de um protótipo (funcionamento, aparência ou função) pode ser representada por qualquer estágio

de desenvolvimento ou nível de fidelidade. Ou seja, um modelo para testar a sua aparência pode ser tanto um protótipo descartável, quanto uma representação altamente fidedigna do produto.

No entanto, apesar das vantagens, alguns autores também apontam ressalvas em relação ao uso de protótipos no processo projetual. Os protótipos, segundo Rufca (2012), têm a função de apresentar informações importantes para os designers em determinadas etapas do projeto anteriores à sua produção. Mas, para o autor, a confecção de um modelo virtual e físico pode aumentar o tempo de projeto, nas etapas iniciais de seu desenvolvimento. Entretanto, concorda que a avaliação e análise prévia do objeto beneficia com a capacidade de minimizar possíveis falhas e, conseqüentemente, reduzir consideravelmente o seu custo final. Baxter (2000) também demonstra preocupação em relação ao uso de protótipos, pois mesmo considerando um recurso importante para o desenvolvimento do produto, pode tomar um tempo muito grande e, conseqüentemente, aumentar o custo do projeto. Ainda reforça que muitos designers têm o hábito de construir protótipos para cada estágio do projeto, como forma de demonstrar a conclusão de cada fase do projeto. Ele recomenda a construção de um protótipo apenas quando esgotar todas as demais fontes de informação; substituir protótipos por esboços ou desenhos de apresentação, sempre que possível; desenvolver com o mínimo grau de complexidade e sofisticação, o necessário apenas para obter a resposta que procura. Baxter (2000) afirma que se esses protótipos não forem essenciais, pode ser um desperdício de tempo. Tversky *et al.* (2003) consideram catastrófico para o processo criativo o uso de protótipos como ferramenta de esboço. Segundo os autores, a produção de modelos físicos para o estudo de alternativas possui desvantagens tais como: geração e reformulação das propostas de forma lenta; dificuldade em expressar em três dimensões algo que ainda está vago e parcial. Forti (2005) também apresenta algumas limitações em utilizar modelos físicos, mas as restringem àqueles criados manualmente. Entre elas, o custo elevado de produção, além dos limites práticos em seus tamanhos e nos graus de detalhes que podem transmitir. Ele comenta que os modelos criados por computador estão ganhando espaço por permitir projetos mais ousados ao explorar e produzir formas mais complexas com maior facilidade.

Contudo, para Araújo (2009), A importância dos protótipos no resultado projetual, para Araújo (2009) é notória, pois o uso deste meio de representação pode repercutir na tomada de decisão de uma ideia seja ela formal, estrutural ou qualquer outra análise atrelada ao projeto que migra entre o plano bidimensional para tridimensional ou do plano mental para o objeto físico. Barbosa Filho (2009) afirma que os protótipos se mostram insubstituíveis ao elevar a qualidade do desenvolvimento de um produto, compensando, até mesmo, o custo em utilizar

tecnologias de prototipagem rápida. Inclusive, em relação a custos, Petrusch *et al.* (2007) apontam a existência do mito, na realidade brasileira, que a prototipagem rápida é muito cara, comparada aos métodos convencionais, e explicam que isto talvez esteja ligado ao desconhecimento do processo.

Neste capítulo foi visto que cada meio de representação possui um conjunto de características que os definem e os diferenciam entre eles. Os aspectos diferenciados de cada um deles é que os tornam únicos e mais adequados para uma determinada aplicação em relação aos outros meios. Por exemplo, apesar de algumas críticas em relação ao emprego do uso de protótipos, principalmente em relação aos modelos físicos, eles são apontados como ferramentas importantes do processo de design. Eles auxiliam a resolver questões de projeto, ao longo de cada etapa de desenvolvimento, trazendo informações necessárias para alcançar bons resultados. O desafio maior parece estar relacionado a conscientização do uso dos protótipos, ao longo de todo o processo e não apenas nas etapas finais, desenvolver a habilidade e a experiência em saber qual a melhor técnica/ferramenta, e também, o momento mais apropriado em utilizar cada um deles. Quanto ao uso dos termos, por não existir um consenso entre as definições apresentadas, pelos autores pesquisados, e para evitar confusão ao utilizar os nomes que se alternam, para cada autor citado, este trabalho adotará **protótipo** como algo relacionado ao uso de representações físicas e as definições de Penna (2002) e Ferroli & Librelotto (2012) detalhadas anteriormente para abordagens mais específicas.

A evolução tecnológica foi responsável pelo avanço das ferramentas utilizadas no desenvolvimento de um projeto. A inclusão do CAD permitiu explorar formas não-euclidianas através de modelos digitais 3D. No entanto, mesmo em meio a muitos benefícios, o computador ainda estava limitado a suas formas de interação com os seus modelos digitais. A prototipagem rápida, permitiu trazer o modelo físico de volta ao processo projetual, combinando todas as características da modelagem tradicional manual com os avançados recursos dos modelos digitais 3D. As vantagens, desvantagens e características da prototipagem rápida, mais especificamente da impressão 3D, serão abordadas de forma mais detalhada no próximo capítulo.

3. PROTOTIPAGEM RÁPIDA E IMPRESSÃO 3D

As linguagens e as tecnologias contemporâneas de prototipagem, para a obtenção de modelos tridimensionais, são muitas e bem variadas. Os processos vão desde a modelagem virtual auxiliada por computador até a prototipagem de modelos físicos. Quanto ao processo de materialização, ele compreende desde os processos de fabricação manuais tradicionais até os automatizados mecanizados. Este capítulo traz algumas definições e características da prototipagem rápida, mais especificamente, da tecnologia de impressão 3D. Ao longo do capítulo serão apresentadas diferentes tecnologias de impressão 3D, as vantagens e desvantagens de cada processo, o funcionamento do processo de síntese aditiva utilizando FDM e por fim, as vantagens do uso da impressão 3D no PDP.

O termo **fabricação digital** é, segundo Seely (2004), a descrição dos processos de projeto e produção que utilizam projetos auxiliados por computador (CAD), associados com fabricação auxiliada por computador (CAM). **Prototipagem rápida**, segundo Alencar (2004) e Pupo (2008), consiste em um conjunto de tecnologias usadas para fabricar objetos físicos diretamente, a partir de modelos digitais tridimensionais, gerados em sistemas CAD. A Stratasys⁶, uma das maiores fabricantes de impressoras 3D no mundo, define prototipagem rápida como uma tecnologia que permite a fabricação rápida de modelos físicos usando dados tridimensionais de CAD e permite que empresas, de diversos setores, transformem suas ideias inovadoras em produtos finais de forma rápida e eficiente. Para Barbosa (2009), o termo pode ser definido como um processo eletrônico-digital-mecânico automatizado que envolve a transformação de algum tipo de material em uma peça-produto.

Buswell *et al.* (2007) e Gorni (2011), explicam que o termo rápido faz referência ao fato desse sistema economizar tempo pois não requer nenhum tipo de assistência humana durante a sua produção. A produção não é necessariamente feita de modo rápido, apesar do nome, porém é um processo ágil se comparado a todas as etapas de fabricação em uma indústria convencional. Para Beal (2002), as tecnologias ficaram conhecidas como prototipagem rápida, pois fabricavam objetos que visavam, inicialmente, auxiliar equipes de engenharia simultânea na visualização, montagem e teste de produtos, acelerando o seu desenvolvimento. De um modo geral, considera-se que todo processo de manufatura que proporcione a fabricação de objetos 3D, a partir de um modelo CAD, com o auxílio de um sistema CAM, em um curto espaço de

⁶ Definição disponível em: < <http://www.stratasys.com/br/resources/rapid-prototyping>>.

tempo, pode ser considerado um processo de prototipagem rápida. Kostakis *et al.* (2014) complementam que o termo rápido se refere a um processo mais fácil e ágil quando comparado ao processo convencional, utilizando máquinas CNC, e o prototipagem é que ainda se trata de um processo lento e caro quando voltado ao processo de produção. No entanto, os autores explicam que, recentemente, as impressoras 3D foram adotadas, especialmente pelas indústrias aeroespacial e médica, para produtos funcionais, assim como, o crescimento de alternativas de baixo custo *open source* deram a chance a muitos projetistas a adotarem a cultura *maker* e o espírito faça você mesmo (DIY), desenvolvendo e produzindo coisas, transformando o caráter de prototipagem para manufatura. Além disso, Kostakis *et al.* (2014) afirmam que esta experimentação colaborativa com impressão em 3D, aliada a redução de custos, está sendo responsável por facilitar o uso tanto do *hardware* quanto do *software* de impressão 3D, tornando essa tecnologia mais acessível, inclusive para escolas e jovens estudantes.

Volpato *et al.* (2007) explicam que um dos grandes diferenciais da prototipagem rápida é a facilidade de sua automatização, dispensando moldes e ferramentas, minimizando consideravelmente a intervenção do operador durante o processo. Apesar de terem surgido outros nomes, os quais os autores consideram até mais apropriados tais como: manufatura por camada (*layer manufacturing*), fabricação de forma livre (*solid freeform fabrication*), manufatura de bancada (*desktop manufacturing*), manufatura acrescentando material (*material increment manufacturing*), o termo prototipagem rápida vem sendo mais aceito.

Segundo Pupo (2008), a fabricação digital e a prototipagem rápida são os termos mais usados na recente literatura dentre as diversas formas e técnicas de produção automatizada aplicadas em arquitetura e construção. A autora aborda que existe uma falta de consenso entre os autores da área quanto às definições e terminologias. Inclusive, em sua tese, utilizou o termo **prototipagem digital**, que inclui todas as técnicas de prototipagem rápida (sobreposição de camadas), corte a laser, fresas e corte com vinil, para a produção de maquetes em escalas reduzidas e protótipos em escala 1:1. E **fabricação digital**, termo o qual se refere às técnicas destinadas à produção de edifícios ou partes deles (*file-to-factory*, *metal* e *tube bending*), destinadas à produção de fôrmas ou peças finais de edifícios, com equipamentos de CNC.

No caso deste trabalho, ele se limita ao uso do corte à laser, aplicado em um dos estudos de caso, e possui um foco maior na impressão 3D por extrusão de filamento (FDM - processo que será explicado de forma mais detalhada a seguir). Apesar da divergência de alguns autores quanto ao uso do termo em relação a máquinas de corte à laser, esta pesquisa adotará o termo **prototipagem rápida** ao referenciar ambas as ferramentas.

3.1. TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

A prototipagem rápida (PR), segundo Carvalho & Volpato (2007), surgiu no final da década de 80, e vem se tornando uma ferramenta muito importante dentro do processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Volpato *et al.* (2007), Oliveira (2008) e Pupo (2008), explicam que a prototipagem rápida abrange um conjunto de tecnologias baseadas na construção por camadas a partir de informações do modelo CAD. Para os autores, diversas tecnologias apresentam etapas de processo similares e possuem uma importante característica em comum: os modelos são construídos pela adição de material camada por camada.

A prototipagem rápida, segundo Lara-Prieto *et al.* (2015), também é conhecida como fabricação em camadas, uma vez que cria um modelo sólido físico ou tridimensional em uma forma aditiva camada-a-camada pela fusão de material sob controle de computador. As tecnologias de prototipagem rápida, de um modo geral, se iniciam a partir do modelo digital criado em um sistema CAD, gerando uma geometria 3D da peça no padrão STL (*Stereolithography*). O *software* responsável pela impressão vai fatiar o modelo, definir os suportes e estratégias de deposição de material. Depois, cada uma de suas camadas são reproduzidas fisicamente por processos automatizados de construção em matérias-primas baseadas em pó, sólido ou líquido. As tecnologias de PR permitem que essas estruturas físicas tridimensionais, também conhecidas como protótipos rápidos, sejam construídas sem emendas, com geometrias complexas e contendo partes móveis. Para Pupo (2008), tais estruturas são difíceis, ou mesmo impossíveis, de serem obtidas por outras tecnologias de construção, estabelecidas há mais tempo.

As vantagens oferecidas pela PR são: economias de tempo e dinheiro, testes rápidos de produtos, fácil verificação e eliminação de erros de projetos de produtos e criação de modelos sem limitações de sua complexidade geométrica. A impressão 3D é a aplicação de processos de PR cuja principal vantagem é o potencial de criar geometrias complexas que não são possíveis com os processos de fabricação tradicionais.

A presente pesquisa utiliza equipamentos de impressão 3D por FDM (*Fused Deposition Modeling*, Modelagem por Deposição Fundida) por ser uma solução de baixo custo, cuja disponibilidade de compra do equipamento foi através de empresa nacional (evitando utilizar processos de importação), além de também oferecer manutenção, suporte e disponibilidade de peças para eventuais reposições. A impressora 3D FDM utilizada é relativamente compacta, de fácil instalação, ocupando pouco espaço, com uma tecnologia limpa e amigável de usar em uma

sala de aula. Ela possui algumas características que a diferenciam de outros equipamentos de prototipagem rápida e impressão 3D. A tecnologia FDM, assim como algumas outras, serão apresentadas a seguir. Para facilitar a organização de alguns dos equipamentos e processos que serão apresentados, eles estão agrupados pelo estado ou forma inicial da matéria prima utilizada para fabricação. As vantagens e desvantagens, de cada um dos processos que serão apresentados, consistem em pequenos resumos extraídos de pesquisas mais detalhadas de Lima (2003), Guedes (2007) e Volpato *et al.* (2007). Não cabe detalhar cada um deles de forma minuciosa, pois não é o objetivo deste trabalho. De todo modo, vale conhecer um pouco melhor algumas das alternativas de tecnologias de prototipagem rápida para ter uma ideia melhor das outras tecnologias existentes e das características que as diferenciam umas das outras.

3.1.1. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em líquidos

• **Estereolitografia** (*Stereolithography* - SLA): o feixe de laser ultravioleta, direcionado através de coordenadas digitais do arquivo STL, solidifica camadas de resina para formar o objeto, conforme mostra a figura 5. O modelo é construído sobre uma plataforma submersa em banho líquido de resina epóxi ou acrílica. Uma vez pronto, o modelo sólido é removido do banho de polímero líquido e lavado. Os suportes são retirados e o modelo é introduzido num forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa.

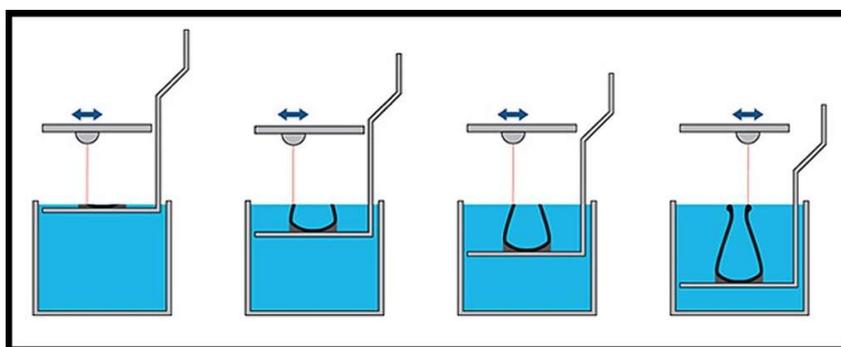


Figura 5: Corte lateral mostrando o processo de estereolitografia. (Fonte: i.materialise.com).

Vantagens: Os modelos em SLA são muito precisos e apresentam boa qualidade de superfície. A figura 6 apresenta exemplos de modelos prontos. Os modelos podem ser construídos com material transparente, assim como modelos com certa elasticidade.

Desvantagens: Tanto o equipamento como os seus materiais têm custos elevados e os materiais têm vida útil inferior a um ano. Todos os materiais disponíveis são polímeros. Metais e cerâmicas não podem ser usados diretamente para a construção do modelo. É

necessária a pós-cura do protótipo. Modelos coloridos não podem ser criados diretamente.



Figura 6: Exemplos de modelos impressos em SLA. (Fonte: georgehart.com; 3ders.org; all3dp.com).

- **Cura Sólida na Base (Solid Ground Curing - SGC):** o processo é bastante similar a estereolitografia, pois ambos usam radiação ultravioleta para endurecer, de forma seletiva, os polímeros fotossensíveis. A diferença é que, neste processo, cura uma camada inteira de uma vez. A resina é borrifada sobre a plataforma de construção. A seguir, a máquina gera uma máscara correspondente à camada a ser gerada que é impressa sobre uma placa de vidro. A máscara é exposta à radiação ultravioleta, endurecendo seletivamente as porções desejadas de polímero correspondentes à camada atual. O esquema do processo pode ser visto na figura 7. Após a cura da camada, a máquina suga, por vácuo, o excesso da resina líquida e borrifa cera em seu lugar para dar suporte ao modelo durante sua construção.

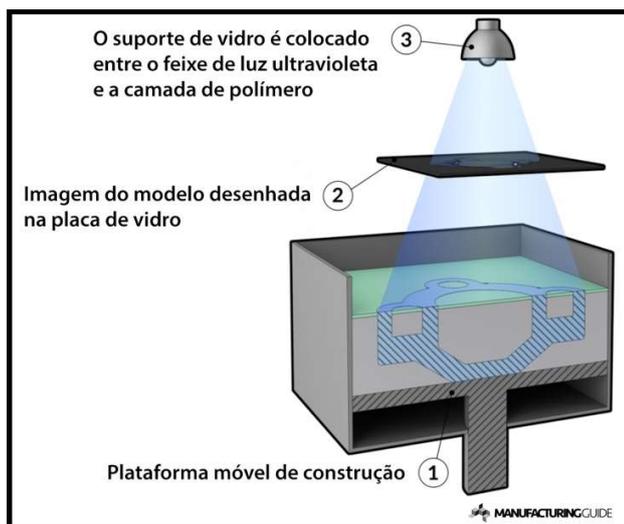


Figura 7: Representação do processo de SGC. (Fonte: manufacturingguide.com).

Vantagens: O processo SGC produz modelos precisos e com bom acabamento superficial. Outro benefício do uso de uma lâmpada ultravioleta é que a resina não requer pós-cura.

Desvantagens: A máquina e os materiais têm custos elevados. Só existe um tipo de polímero disponível.

3.1.2. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em pó

• **Sinterização Seletiva a Laser** (*Selective Laser Sintering - SLS*): o feixe de laser incide sobre uma fina camada de pó, depositado sobre uma superfície com a ajuda de um rolo. O laser de CO₂ é guiado por espelhos controlados por um sistema computacional, desenhando, assim, as estruturas de acordo com as dimensões X e Y, causando a aderência das partículas deste pó. Este processo é repetido camada após camada até a finalização do modelo. O pó não fundido pelo laser é removido quando a peça estiver completa. O esquema pode ser visto na figura 8.

Vantagens: Este processo de fabricação não requer suporte para o protótipo. Pelo fato do suporte não precisar ser quebrado, reduz-se o desperdício de material. Uma larga variedade de materiais como polímeros, cerâmicas e metais podem ser usados como matéria-prima para construir o modelo.

Desvantagens: Equipamentos e materiais são caros. Metal e cerâmica devem ser pós-fundidos para ganhar rigidez.

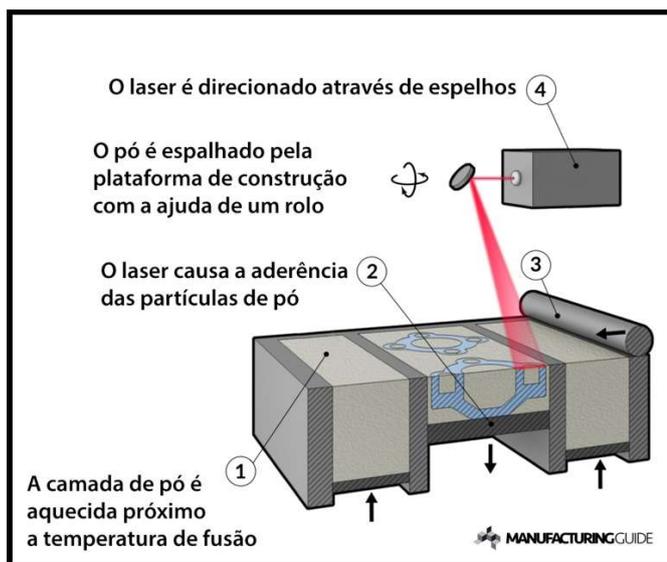


Figura 8: Representação do processo de SLS. (Fonte: manufacturingguide.com)

• **Impressão Tridimensional (3D Printing - 3DP):** este método de prototipagem tem o funcionamento semelhante a uma impressora de jato de tinta. Os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com pó a base de gesso ou amido. Um cabeçote de impressão por jato imprime seletivamente um líquido aglomerante que liga o pó nas áreas desejadas. O pó que continua solto permanece na plataforma para dar suporte ao protótipo que vai sendo formado. A plataforma é ligeiramente abaixada, adiciona-se uma nova camada de pó e o processo é repetido, conforme mostra a figura 9. Finalizado o processo, o pó despreendido é removido, liberando a peça fabricada.

Vantagens: Alta velocidade de construção do protótipo. O custo do equipamento e de seus materiais é relativamente baixo. Como o processo parte do princípio de uma impressora, é possível criar modelos coloridos, como por exemplo, protótipos com o rótulo do produto ou uma análise de CAE (*Computer-Aided Engineering*).

Desvantagens: Pequenas peças não apresentam uma boa definição devido às tolerâncias grosseiras do processo. Os protótipos oferecem baixa resistência.

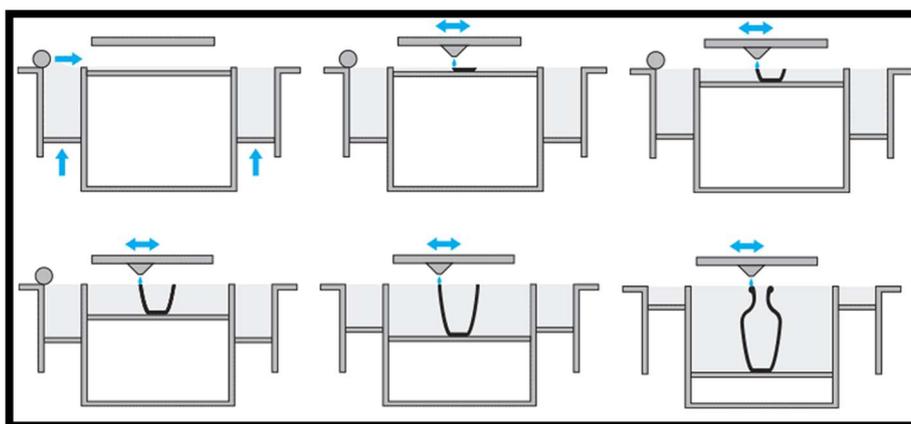


Figura 9: Representação do processo de 3DP. (Fonte: i.materialise.com).

• **Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (Laser Engineered Net Shaping - LENS):** o laser de alta potência é usado para fundir pó metálico, através de um cabeçote de deposição, conforme mostra a figura 10. O laser passa através do centro do cabeçote e é focado para um pequeno ponto através de uma ou um conjunto de lentes. A plataforma de construção é movida nos eixos X e Y, de forma a gerar cada camada do objeto. O laser pode ser conduzido até a área de trabalho através de espelhos ou fibra ótica.

Vantagens: O processo apresenta a vantagem de produzir protótipos de metal plenamente densos, com boas propriedades metalúrgicas e sob velocidades razoáveis de construção, conforme mostra a figura 11. É o único processo comercial disponível que

produz protótipos de metal 100% densos sem a necessidade de pós-fundição. Diversas ligas metálicas podem ser utilizadas neste processo, tais como aço inoxidável, cobre, alumínio e titânio.

Desvantagens: O acabamento superficial não é muito bom quando comparado aos outros processos. Frequentemente, uma posterior operação de usinagem é necessária.

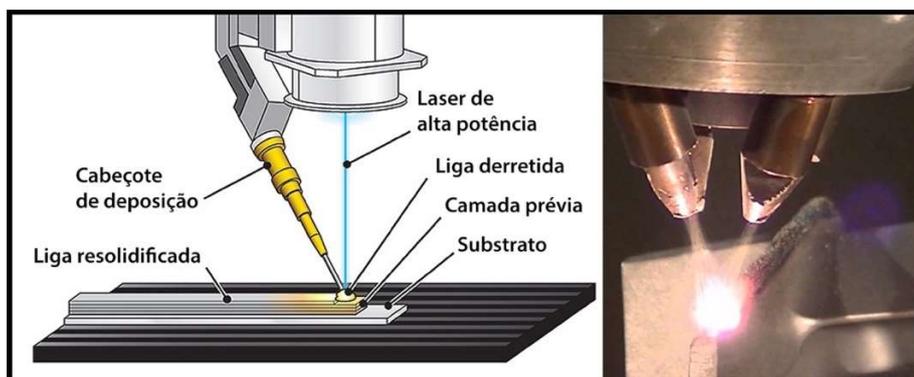


Figura 10: Esquema e foto do detalhe do laser fundindo o pó metálico. (Fonte: sciaky.com; i.ytimg.com).



Figura 11: Peças produzidas pelo processo de LENS. (Fonte: sandia.gov).

3.1.3. Processos que utilizam matérias-primas baseadas em sólidos

- **Manufatura de Objetos em Lâminas** (*Laminated Object Manufacturing - LOM*): as lâminas revestidas de adesivo são coladas umas nas outras formando o protótipo. Este processo usa uma deposição sucessiva de folhas de materiais como filmes plásticos, papel, tecido, ou folhas metálicas para construir a peça camada por camada, conforme mostra a figura 12. O modelo virtual do produto é seccionado para gerar as fatias correspondentes às camadas. O laser corta o contorno da primeira camada sobre o papel. Usando um rolo aquecido, a camada é unida à anterior e o processo continua até que a peça seja finalizada.

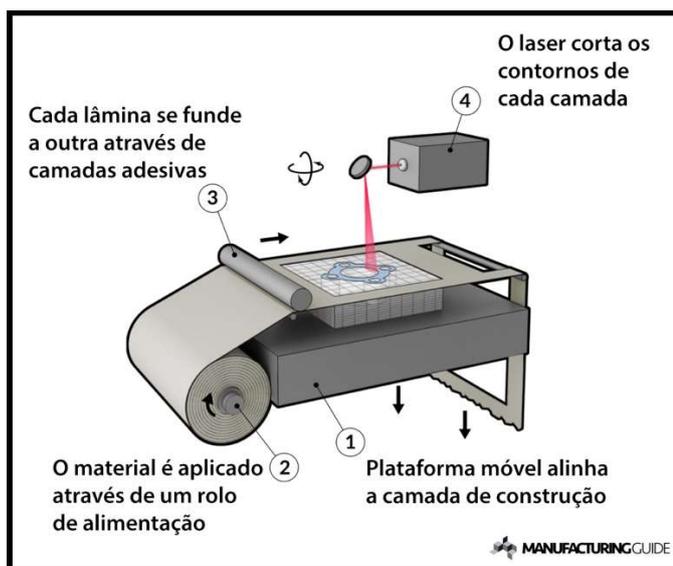


Figura 12: Representação do processo de LOM. (Fonte: manufacturingguide.com).

Vantagens: Apesar do processo mais simples de LOM ser confeccionado com papel, alguns materiais como plásticos, compostos de fibras de vidro, cerâmicas e até metais estão sendo utilizados com sucesso. Os modelos de papel em LOM podem ser maiores do que os produzidos por outros processos e o papel provavelmente é o material de menor custo.

Desvantagens: A remoção do suporte do protótipo requer habilidade e paciência para evitar estragos no modelo, conforme mostra a figura 13. Modelos de papel devem ser selados com tinta ou outro material para conferir estabilidade e rigidez ao protótipo.

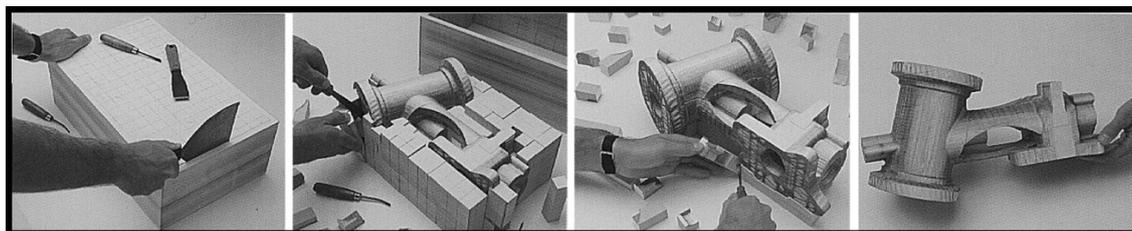


Figura 13: Dificuldade para remover peça feita pelo processo de LOM. (Fonte: blog.nus.edu.sg/).

• **Modelagem por Deposição Fundida** (*Fused Deposition Modeling - FDM*): o modelo é construído pela extrusão e pelo endurecimento de um filamento de material termoplástico aquecido, através de um cabeçote de extrusão que se move no plano horizontal, depositando continuamente o material, construindo sucessivamente as camadas da peça, conforme mostra a

figura 14. Em alguns caso, neste processo, é necessária a construção de suportes. As impressoras 3D, utilizadas nesta pesquisa, funcionam através do processo de FDM.

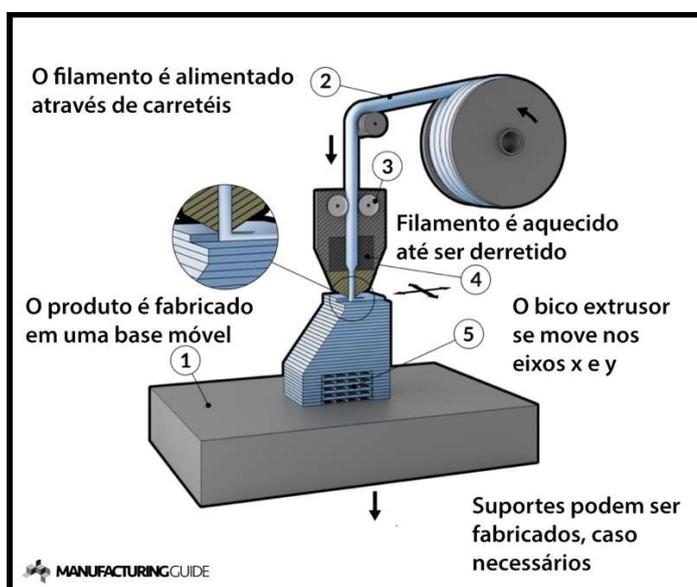


Figura 14: Representação do processo de FDM. (Fonte: manufacturingguide.com).

Vantagens: O processo de FDM pode construir modelos a partir de plásticos como PLA (*PolyLactic Acid* - ácido polilático) e ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene* - acrilonitrila butadieno estireno) que são leves e fortes, mas relativamente quebradiços. Filamentos coloridos podem ser aplicados. Os modelos de FDM possuem uma boa precisão geométrica.

Desvantagens: Muitas formas requerem a construção de suportes que precisam ser quebrados causando estragos ao modelo, conforme mostra a figura 15. O processo é limitado a polímeros termoplásticos. Longo tempo de fabricação, o nível de detalhes e o padrão da superfície que são piores quando comparados aos da estereolitografia.

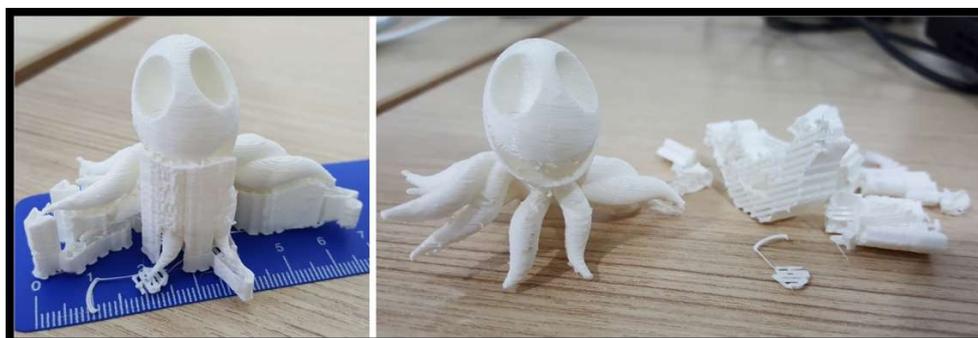


Figura 15: Dificuldade para remover suporte pode danificar a peça. (Fonte: produzida pelo autor)

Portanto, fica mais claro as diferenças entre cada uma das tecnologias e que, cada uma delas, apresenta vantagens e desvantagens em relação a outros processos. Beal (2002) explica que existem diferentes princípios físicos que distinguem os protótipos: precisão, qualidade superficial, material, operações de acabamento, tempo de fabricação e espessura de camadas. Logo, é importante o designer conhecer as diferentes opções de ferramentas para saber qual melhor se adequa a etapa, tempo, orçamento ou finalidade do projeto que está sendo desenvolvido.

3.2. PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

A tecnologia de impressão 3D evoluiu bastante ao longo dos anos. No início, quando a prototipagem rápida teve suas primeiras aplicações práticas, Lira (2008) explica que a aceitação era muito limitada devido ao custo muito alto, o tempo elevado de fabricação, a pouca disponibilidade de materiais e a pouca precisão dos protótipos resultantes. Com o passar dos anos, a tecnologia vem evoluindo e sendo mais aceita em diferentes campos de aplicação.

Apesar dos seus grandes avanços, o método de impressão 3D ainda requer planejamento, desde a preparação do arquivo digital até o seu acabamento. Junk & Matt (2015) explicam que, para que haja a impressão de algum objeto em três dimensões, é necessário, antes de tudo, um arquivo digital de um modelo 3D. Os arquivos digitais para impressões 3D podem ser criados através de um *software* de modelagem 3D ou através de uma digitalização de um determinado objeto em três dimensões (a partir de *scanners* 3D ou processos de captura). Outra opção é realizar uma busca em sites repositórios tais como: Cults⁷, Pinshape⁸, 3DShook⁹, Thingiverse¹⁰, Instructables¹¹, entre outros, que reúnem uma grande quantidade de modelos digitais além da participação de seus usuários que realizam *uploads* e/ou *downloads* de seus arquivos que podem ser comentados, compartilhados e alterados por outros membros da comunidade. Criando, de certa forma, um processo projetual *online* colaborativo.

O arquivo deve ser exportado para formatos compatíveis com o *software* de impressão, o mais utilizado é o STL (*Stereolithography*), também conhecido como Linguagem de Triangulação Padrão (*Standard Triangulation Language*). Pupo (2008) explica que nesta etapa o *software* tem a função de: verificar a integridade do arquivo STL enviado; definir os suportes

⁷ <https://cults3d.com/en>

⁸ <https://pinshape.com/>

⁹ <http://www.3dshook.com/>

¹⁰ <http://www.thingiverse.com/>

¹¹ <https://www.instructables.com/>

para algumas peças, caso seja necessário; definir parâmetros como escala, tempo de execução, posição e orientação do objeto. O modelo digital tridimensional será fatiado e cada uma de suas partes é transferida do computador para a impressora 3D, responsável em transformar os dados digitais, através de coordenadas matemáticas, em objetos sólidos, empilhando cada uma das fatias até formar um único modelo físico. Cada sistema procede de sua maneira específica para solidificar o objeto, camada a camada, conforme visto anteriormente. Após a impressão, a peça pode ainda passar por um processo de acabamento. Algumas tecnologias necessitam de polimento ou lixamento da peça, enquanto outras necessitam de resinagem ou pintura.

A impressora 3D funciona, segundo Tramontano & Pereira Junior (2015), de maneira análoga à de uma impressora gráfica comum, a qual deposita sobre o papel uma camada de tinta segundo as instruções que recebe advindas de um arquivo digital. A impressora 3D também deposita material por camadas, mas vai sobrepondo-as umas sobre as outras, conformando gradativamente um objeto tridimensional. O material, geralmente, utilizado nas impressoras 3D FDM, são: o PLA (ácido polilático, ou poli lactato) ou ABS (acrilonitrila butadieno estireno), ambos em forma de filamento. Eles têm comportamentos distintos, que os tornam, respectivamente, mais apropriados para determinadas aplicações. O ABS é mais resistente e mais flexível que o PLA, no entanto, requer maiores cuidados, como o aquecimento da mesa de impressão, para facilitar a aderência e a retirada da peça da mesa de impressão.

Barbosa Filho (2009) e Tramontano & Pereira Junior (2015) explicam que, no processo de síntese aditiva, as camadas são construídas sequencialmente por adição do filamento fundido, gerando a peça física, a partir da base até o topo, segundo camadas digitais definidas na etapa de fatiamento do modelo digital, informadas à impressora pelo arquivo do projeto. É importante que os alunos entendam esse processo e aprendam a operar a impressora porque, apesar de contar com máquinas de grande porte, a fabricação em escala industrial realiza-se segundo processos semelhantes. Tal compreensão permite antever problemas ou potencialidades do desenho proposto que podem revelar-se na fase de produção dos componentes construtivos.

Graças aos avanços de pesquisas e desenvolvimento na área de materiais, as soluções encontradas estão permitindo uma liberdade cada vez maior na criação das formas. As peças compostas por partes móveis, por exemplo, podem ser impressas toda de uma vez, eliminando a necessidade de montagem posterior do objeto, como o exemplo mostrado na figura 16. Ao diminuir a quantidade de peças na montagem de um determinado produto, também reduz a

necessidade do envio de cada uma de suas partes através de diversos fabricantes em diferentes partes do mundo economizando tempo, matéria-prima e dinheiro.



Figura 16: Peça composta por partes móveis e impressa toda montada. (Fonte: produzida pelo autor¹²).

Outro diferencial neste modo de produção é permitir uma tiragem baixa ou até mesmo uma impressão única de um determinado objeto, conforme consta na citação abaixo.

A mais impressionante característica no uso dessas novas tecnologias é, indiscutivelmente, a possibilidade de produção restrita. Não há mais a necessidade de se produzir peças em grande escala, em série, mas sim, personalizadas para serem testadas ou terem um uso final (PUPO, 2008, p.53).

Além da capacidade de poder imprimir peças em tiragens únicas, já é possível imprimir um protótipo totalmente funcional ou simplesmente a peça final pronta para o uso graças à variedade de materiais que podem ser utilizados na impressão. Pupo (2008) explica que é possível se obter peças finais fabricadas com pó de metal, titânio, cobalto e cromo, dentre outras, além de acabamentos em cobre, níquel ou materiais condutivos. Morris (2010) afirma que, graças aos avanços em computação aliada a tecnologia de polímeros, um protótipo já pode ser produzido em questão de horas após ter sido projetado.

Segundo Pupo (2008), Lara-Prieto *et al.* (2015) e Tramontano & Pereira Junior (2015), nos últimos anos, as impressoras 3D estão se tornando financeiramente mais acessíveis para pequenas e médias empresas, levando a prototipagem da indústria pesada para o ambiente de trabalho. O que leva a uma expansão da tecnologia para diversos ramos de produção, incluindo arquitetura, construção, design industrial, automotivo, aeroespacial, militar, engenharia, indústrias dentárias e médicas, biotecnologia, moda, calçados, joias, óculos, educação,

¹² Objeto impresso a partir de arquivo disponível em: <<https://www.thingiverse.com/thing:37783>>

alimentos e muitos outros campos. A impressão em 3D abre novas possibilidades de design, fabricação e produção, sendo uma ótima ferramenta cada vez mais acessível para as pessoas. A trajetória de impressão em 3D parece exatamente refletir a história do computador pessoal. Enquanto os primeiros computadores eram enormes e caros, agora eles podem ser encontrados na casa de cada indivíduo. Da mesma forma, as impressoras 3D são cada vez mais acessíveis, esta mudança traz um novo conjunto de aplicações, com seus desafios correspondentes, mas definitivamente inaugurando um novo estilo de projetar.

Com esta agilidade no processo de fabricação, um dos grandes diferenciais no modo de produção utilizando a tecnologia de prototipagem rápida está ligada ao tempo de resposta às questões projetuais durante o desenvolvimento de um produto. “A prototipagem rápida pré-anuncia um grande avanço no campo do processo criativo, permitindo o aprimoramento constante até que sejam atingidas as características desejadas do objeto em estudo”. (VEIGA & VIZIOLI, 2015, p.774). O processo segue a metodologia de projeto utilizando processos com *feedback*, segundo Bonsiepe *et al.* (1984), citado na introdução deste trabalho. Rufca (2012) explica que este pensamento centrado no projeto e usuário também segue o conceito do *design thinking*, o qual valoriza experimentar, questionar, sentir, modificar, testar e manter essa flexibilidade de retornar às fases anteriores e redirecionar o desenvolvimento das propostas. Para este conceito, nada é lógico e tudo deve ser experimentado.

Portanto, seja utilizando a estrutura projetual com *feedback* ou os conceitos de *design thinking*, a tecnologia de PR, ou até mesmo, sendo mais específico, a de impressão 3D FDM, permitem avaliar o produto ao longo de todo o seu processo de produção. As vantagens e desvantagens do processo de prototipagem rápida aplicada no processo de desenvolvimento de produtos serão abordadas, de forma mais detalhada, a seguir.

3.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO DE PR NO PDP

Volpato *et al.* (2007) associam o sucesso de um produto à habilidade da empresa em identificar as necessidades dos clientes e, com isso, desenvolver produtos de forma a atender essa demanda a um custo competitivo. Segundo eles, para atingir este objetivo, a aplicação de uma metodologia de projeto e o uso de ferramentas computacionais (CAD/CAE/CAM) são fundamentais para auxiliar o processo de desenvolvimento de produto (PDP). E explicam que, em meio a este processo, a utilização de representações físicas do produto é essencial no processo de entendimento rápido dos requisitos do produto por todos os envolvidos em cada estágio do PDP.

Com isso, a prototipagem rápida, de acordo com Macedo (2011), pode ser aplicada com diversas finalidades no PDP, tais como: aprendizagem, integração e marcos do projeto. E complementa afirmando que a taxa de sucesso do PDP pode ser melhorada por meio da utilização do protótipo, devido ao aumento da confiabilidade das informações que serão obtidas nas análises dos mesmos. Cada ciclo do projeto, no qual se utiliza a tecnologia de prototipagem, representa um ganho de experiência e se traduz em novas informações que serão úteis no direcionamento correto da equipe para o incremento de melhorias no produto. Volpato *et al.* (2007) destacam que este potencial pode ser colocado como um ponto-chave para o sucesso do desenvolvimento.

A partir de estudos realizados de Sass & Oxman (2006), Volpato *et al.* (2007), Carvalho & Volpato (2007), Barbosa (2009), Florio *et al.* (2007), Kaminski & Oliveira (2000), Baxter (2000), Macedo (2011), Müllerkegler *et al.* (2014), Ryberg *et al.* (2015), Tramontano & Pereira Junior (2015) e Veiga & Vizioli (2015), é possível listar **algumas vantagens da prototipagem rápida no desenvolvimento dos produtos:**

- garante uma maior integração (sem a necessidade de conhecimento de desenho técnico, por exemplo) entre as diversas equipes de pesquisa, através de uma linguagem unificada;
- capacidade para fabricar representações, através de artefatos físicos, de elevada qualidade para os desenhos complexos;
- independência da complexidade geométrica da peça. Muitos equipamentos de fabricação em série, encontrados na indústria, apresentam limitações e restrições em relação à geometria da peça, o que não acontece com o processo de PR;
- técnica que permite ajustes e testes, ainda nas etapas iniciais de projeto, sem que este precise ser levado à indústria para que os ajustes estruturais, funcionais, visuais e ergonômicos sejam executados;
- apoia o processo criativo de designers para produzir variações de um único artefato ou diversos artefatos em vários estágios de design;
- além de ser uma eficaz ferramenta de comunicação, também garante agilidade no processo de decisão, por antecipar testes que indicam erros cometidos no projeto ainda nas fases iniciais de desenvolvimento;
- nova maneira de projetar, principalmente para materialização de protótipos de maneira rápida e automatizada, garantindo otimização do tempo de análise do projeto, que antes era gasto no processo de construção dos protótipos, pode ser usado para a avaliação dos modelos;

- não requer dispositivo ou ferramental especial para a fixação, pois as peças construídas são fixadas nas plataformas de construção por suportes decorrentes da própria tecnologia;
- geralmente, não é necessária a troca de equipamento no processo de fabricação, pois um único meio de processamento do material é utilizado do início ao fim. Eventualmente, a peça produzida pode receber tratamento posterior;
- não são necessários cálculos complexos de trajetórias de ferramentas. O planejamento de processo é bastante simplificado pois ele se reduz basicamente a cálculos de trajetórias no plano 2D e, por isso, é realizado de forma praticamente automática por sistemas dedicados;
- pode ser utilizado para a obtenção de ferramental voltado à produção de um número maior de peças;
- menor tempo e custo de obtenção de protótipos, principalmente os de geometria mais complexa, quando comparados aos processos tradicionais, muitas vezes manuais;
- reduzir o tempo de lançamento (*Time To Market - TTM*), e assim, é esperado um prolongamento de sua vida comercial por não se tornar obsoleto tão cedo. E, em um mercado cada vez mais competitivo e internacionalizado, colocar um produto mais cedo no mercado é uma grande vantagem;
- a ampliação das possibilidades de criação de elementos com design exclusivo, não disponíveis, em outros meios de fabricação, mas que podem, eventualmente, ser produzidos através de técnicas de prototipagem rápida.

Entretanto, apesar das diversas vantagens do processo, Volpato *et al.* (2007), Barbosa (2009), Florio *et al.* (2007), Macedo (2011) e Lee (2016) listam também **algumas falhas e limitações do processo de prototipagem rápida**, entre elas:

- ao contrário dos modelos físicos tradicionais, onde se podem empregar diversos tipos de materiais, gerando uma aparência heterogênea, a PR, no geral, se utiliza apenas de um único material;
- os materiais empregados dependem diretamente das tecnologias de PR utilizadas, limitando os testes de mecânica e de resistência;
- a precisão e o acabamento superficial são inferiores aos das peças obtidas por usinagem. Por ser construída pela adição de camadas planas, uma característica de sua superfície é o serrilhado decorrente do efeito escada nas regiões inclinadas e curvas.

Este efeito provoca desvio da geometria da peça modelada no CAD, que é inerente ao processo de PR. O mesmo ocorre com texturas, que são facilmente criadas e simuladas em modelos digitais e físicos, mas não em protótipos rápidos;

- embora muitos estudos mostrem que a integração da PR no processo de projeto pode fornecer importantes *feedbacks* nas etapas iniciais, o uso de modelos físicos para representar formas ainda abstratas pode ser bastante limitado. O padrão de uso limita seu benefício para materializar formas virtuais complexas em objetos físicos ou mera assistência através de uma melhor compreensão das geometrias em andamento;

- devido ao custo envolvido, existe uma limitação na quantidade de protótipos que podem ser produzidos com os sistemas de PR atuais. Quando se deseja um número maior de protótipos, deve-se recorrer às tecnologias de obtenção de moldes-protótipo;
- em virtude da natureza térmica e/ou química de alguns processos, problemas como distorções, empenamento e inchaço podem ser observado em alguns processos. Esses problemas vêm sendo minimizados nos últimos desenvolvimentos das tecnologias de PR.

Como toda tecnologia de fabricação, a prototipagem rápida apresenta determinadas vantagens e também algumas falhas em seu processo. Dentre estas características, este estudo pretende focar, mais especificamente, na tecnologia de impressão 3D FDM, por ser um processo ágil de fabricação, de baixo custo, e explorá-la como uma ferramenta de comunicação formal, através de representações físicas, ao longo do processo projetual. No próximo capítulo, serão apresentadas de que forma estas e outras características da prototipagem rápida podem ser aplicadas e exploradas no ensino de design.

4. IMPRESSÃO 3D NO ENSINO DE DESIGN

As áreas de aplicação da prototipagem rápida, segundo Oliveira (2008), estão organizadas dentro de quatro grandes setores de atividades: indústria, saúde, serviços e acadêmico. Na **indústria**, a PR é utilizada no PDP e construção de moldes com ferramental rápido, buscando redução de tempo e custos. Na área de **saúde**, a PR se destaca na produção de biomodelos, que são réplicas, em modelos físicos, com escala 1:1 de partes do corpo de pessoas ou animais. Elas são utilizadas para diagnóstico, planejamento, treinamento cirúrgico e em avançadas técnicas de implantes personalizados ou técnicas para crescimento tecidual. Em **serviços**, destaca-se a área do design, artes e arquitetura, com grandes implicações no PDP das indústrias. E, finalmente, o **acadêmico** que busca novas ferramentas para aprimorar as suas atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), gerando, por consequência, novas demandas para o aprimoramento tecnológico e, também, novas aplicações.

Em relação às novas demandas, a evolução tecnológica na fabricação de produtos representa uma maior complexidade geométrica, melhor qualidade, além de um número crescente de exigências impostas por um mercado cada vez mais competitivo, como ciclos de produção mais curtos e maior durabilidade de componentes. Tais fatores, obrigaram as empresas a reverem os métodos utilizados para o desenvolvimento de projetos e na fabricação de protótipos. Neste caso, a prototipagem rápida, segundo Barbosa (2009), tem potencial para se tornar uma linguagem instrumental tecnológica informatizada de projeto que pode fornecer uma habilidade específica aos estudantes de design, para compreender as linguagens tecnológicas utilizadas pelas indústrias e expandir seu conhecimento e potencial. Para ele, o uso de tecnologias como CAE, CAD e CAM, em disciplinas de desenvolvimento de produtos, nos cursos de design, podem elevar os níveis de interesse e de criatividade nos acadêmicos, além de diminuir a distância entre as linguagens projetuais utilizadas no mercado de trabalho em relação àquelas utilizadas no ensino. Cândido & Kindlein Júnior (2009) identificam que a possibilidade do aluno utilizar a PR e poder apresentar uma proposta de produto e construí-lo tende a incentivá-lo no aperfeiçoamento do modelo e, conseqüentemente, aprimorar sua noção espacial em 3D. Barbosa (2009) ainda reforça a importância em ampliar a visão dos alunos em relação às ferramentas de fabricação pois, mesmo sabendo que a criatividade se baseia na maneira como se olha um problema, no design ela está relacionada à maneira pela qual os

designers são condicionados a ver, perceber e lidar com os problemas referentes aos seus projetos.

Para Batistello *et al.* (2015), o uso de uma linguagem projetual próxima da indústria e a possibilidade de fabricar um protótipo físico, a partir de um projeto acadêmico, dentro da própria universidade, não enriquece apenas as discussões metodológicas de projeto, mas também “possibilita transformar projetos em realidade; devidamente orientados por profissionais; facilitando a compreensão do processo de projeção e execução no acadêmico, tornando-o mais reflexivo e responsável pelas suas ações projetuais”. (BATISTELLO *et al.* 2015, p.141). Carvalho & Volpato (2007) reforçam que o uso do protótipo físico é algo essencial no desenvolvimento de novos produtos, reduzindo a possibilidade de falhas, melhorando a comunicação e a qualidade do produto final. Rocha *et al.* (2016) consideram que, nos últimos 30 anos, a importância do processo de projeto é inegável como estratégia pedagógica da prática docente. Hoje, a discussão atual é a transformação do processo tradicional em relação as possibilidades de uso da prototipagem rápida e da prototipagem rápida. Os autores apontam que os problemas surgidos no ensino de projeto com a implementação e uso das novas tecnologias é devido ao desconhecimento, por parte dos envolvidos no processo de aprendizagem, das características e da ideologia dos *softwares* computacionais. Sendo assim, a universidade se apresenta como um local ideal para aprender, testar e explorar as ferramentas e técnicas de produção de protótipos rápidos em um ambiente propício ao ensino, através de erros e acertos, preparando os alunos para o meio corporativo que requer inovações e não tolera falhas.

Entretanto, embora o ambiente acadêmico seja propício à introdução de novas visões do processo de ensino, para Bazzo (1998), é preciso cautela, pois um passo em falso e todo clima favorável pode se perder. Além disso, apesar do crescente avanço dos métodos de fabricação na indústria, Barbosa (2009) afirma que atualizar o processo de ensino e introduzir ferramentas digitais nos cursos de design não são tarefas simples. As dificuldades relacionadas a estes processos serão apresentadas e discutidas a seguir.

4.1. O USO DAS FERRAMENTAS DIGITAIS NO ENSINO DE DESIGN

Os cursos de graduação de design, segundo Barbosa (2009), valorizam o desenho tradicional como meio de representação, tanto que oferecem disciplinas de desenho técnico e desenho artístico em suas grades. Além da prática do desenho, Bertoldi (2014) explica que os cursos de design contam também com disciplinas, oferecidas nas fases iniciais, que abordam o

uso e a construção de modelos físicos e são, em sua grande maioria, de caráter instrumental, compostas por atividades desenvolvidas em oficinas de modelagem, moldagem, marcenaria, entre outras, voltadas ao ensino de técnicas para desenvolver um modelo tridimensional. Sendo assim, em todas as disciplinas anteriormente citadas, os alunos entram em contato com técnicas e ferramentas contemplando conhecimentos básicos necessários para as demais disciplinas de projeto de produto.

Porém, diferente das aulas de desenho e de modelagem realizadas de forma tradicional (manualmente), Barbosa (2009) aponta que parece não ser trivial o ensino de *softwares* nos cursos de design das universidades. De acordo com o autor, as tecnologias contemporâneas de prototipagem automatizadas como a prototipagem rápida, corte a laser e CNC somente poderão ser exploradas pelos designers com o domínio no manuseio das ferramentas, o que altera significativamente a maneira de trabalhar e ensinar o design. Veiga & Vizioli (2015) reforçam que não se pode ignorar o campo tecnológico, e o computador se tornou quase um item obrigatório no processo projetual, proporcionando uma procura cada vez maior por simulações virtuais e novas mídias de representação. No entanto, as soluções tidas como inovadoras, segundo Barbosa (2009), têm estado distanciadas do resultado prático por falta de instrumentalização técnica do designer. Ele afirma que, apesar do poder de transformação e criatividade, os designers estão falhando na implementação das ideias e conceitos em seus projetos.

No caso da modelagem digital 3D aplicada em arquitetura, Ledo & Pereira (2014) explicam que ela pode ocorrer em diferentes etapas do processo projetual. Ela pode estar presente logo no processo inicial de criação, durante a etapa de estudo preliminar, ou no final do processo projetual, como ferramenta de apresentação para o cliente. O processo de modelagem se difere de acordo com a etapa a qual ela for utilizada. Nas etapas iniciais, ainda não já uma forma definida, o uso da modelagem é voltado a gerar modelos que atendam a uma série de requisitos projetuais.

Quando a modelagem 3D é feita nas etapas iniciais do projeto ainda não há uma forma definida. O uso da ferramenta computacional é no intuito de gerar formas que atendam a uma série de requisitos projetuais. Quando a modelagem é feita ao final do processo não há um processo criativo em curso em termos de desenvolvimento de projeto. Só há a transformação da idéia num modelo 3D. (LEDO & PEREIRA, 2014, p.87).

Deste modo, Ledo & Pereira (2014) reforçam que tanto o ato de modelar quanto o de projetar atuam na resolução do problema, cada um com suas próprias características. Ao longo do processo projetual, a preocupação se divide entre o projeto em si e o modo como as ideias serão modeladas para atender os seus requisitos. Enquanto nas etapas finais, com o projeto já devidamente definido, o problema se resume apenas em como modelar em 3D. Neste caso, fica claro que a modelagem digital 3D faz parte do processo projetual. Segundo Rocha *et al.* (2016), a ação projetual na abordagem pedagógica do ensino de arquitetura, por exemplo, é considerada como parte inerente da construção do conhecimento durante o processo de ensino-aprendizagem. Em uma relação de aprendizagem a construção do conhecimento se dá entorno do projeto arquitetônico. Devido a inclusão das ferramentas digitais nas práticas projetuais, o processo sofre transformações em relação ao método tradicional. O aprendizado das ferramentas digitais se mostra como parte importante do raciocínio e desenvolvimento da prática projetual.

Os designers, segundo Smith *et al.* (2015), precisam de uma linguagem bem estabelecida para se comunicar sobre qualidades de design, tanto em relação ao produto quanto ao processo. O design também trabalha um processo social no qual a comunicação com outros participantes é crucial para o sucesso de um projeto de design. Neste caso, o idioma não é necessariamente limitado a palavras. Conforme visto, as ideias de design podem ser articuladas através de modelos, maquetes, protótipos ou *storyboards*, ou seja, são os recursos de comunicação no desenvolvimento de um projeto. Para implementar a impressora 3D como uma linguagem de design entre os alunos, é preciso estimular exercícios para que eles consigam um domínio cada vez maior e, conseqüentemente, a capacidade de articular os projetos sem ficar restrito a dificuldades referentes ao uso da ferramenta.

Apesar do uso de computadores como algo já estabelecido no meio profissional, o ensino de *softwares* ainda não é algo comum nos cursos de design, como acontece com os meios tradicionais de representação da forma. Com isso, os alunos e os professores das graduações de design questionam: “é obrigação da faculdade ensinar o aluno a trabalhar com *softwares* que auxiliam a criação e desenvolvimento de um produto? Ou o trabalho dos professores limita-se a um ensinamento teórico que leve o aluno a pensar e criar soluções, mas que não dê a capacidade de executá-las?” (FORTI, 2005, p.30). As opiniões são divididas. Segundo Forti (2005), de um lado, os professores alegam que os *softwares* são apenas ferramentas, e que um designer não deve ser apenas um operador de CAD, mas alguém que realmente pense, crie soluções e faça a diferença no mercado. Do outro, estão os alunos, vendo as empresas e

industrias exigindo como requisitos não um dado conhecimento teórico, habilidade criativa ou metodológica, mas sim uma experiência em determinados *softwares*.

A justificativa de que cursos de graduação em design não ensinam *softwares* por se tratar apenas de ferramentas e não fundamentos é questionada por Forti (2005). Para ele, ao observar as grades curriculares dos cursos de graduação em design, elas apresentam disciplinas práticas de desenho artístico, desenho técnico, oficina e algumas até de *rendering* manual. São nestas aulas que os alunos aprendem a dominar as ferramentas e as técnicas necessárias para expressar suas ideias, conceitos e projetos, comprovando a importância do conteúdo para a futura carreira profissional. Portanto, nesta lógica, não há motivo de não ensinar aos alunos os *softwares* que permitem fazer o mesmo que as disciplinas práticas tradicionais, ou seja, se expressarem, com a única diferença de utilizar o computador como meio de comunicação. As ferramentas digitais estão cada vez mais fazendo parte da etapa de geração de ideias, no desenvolvimento de um projeto, conforme pode ser visto na citação a seguir:

Atualmente, novas ferramentas têm sido inseridas no mercado com o intuito de aliar o desenho manual com o desenho digital permitindo o constante uso das ideias, próprio desta linguagem que se utiliza de linhas como verbo. (...) Por fim, discute-se a prototipagem rápida. Uma vez elaborados modelos digitais de um dado produto, é possível materializá-lo por meio da impressão 3D. O que pré- anuncia um grande avanço no campo do processo criativo, permitindo o aprimoramento constante até que sejam atingidas as características desejadas do objeto em estudo. (VEIGA & VIZIOLI, 2015, p.771).

Sendo assim, fica claro a relevância em aprender a lidar com os avanços que vem acontecendo no processo criativo. Algo importante a ser explicado é que os autores citados não questionam as disciplinas que exploram o aspecto manual, pelo contrário, eles as consideram importantes ao fornecer conhecimentos espaciais e experimentações plásticas, ampliando o aprendizado e o repertório dos alunos ao explorar ferramentas e técnicas em atividades como o desenho, modelagem e a prototipagem tradicional. Porém, mesmo considerando as disciplinas tradicionais importantes, Barbosa (2009) afirma que elas se mostram insuficientes na formação tecnológica dos futuros designers. O que acarreta em um paradoxo, em relação ao design, no pensar e projetar para o futuro sem o domínio instrumental das linguagens, ferramentas e tecnologias contemporâneas utilizadas no desenvolvimento dos produtos nas indústrias. Ele

considera o computador e os recursos que a informática proporciona como excelentes ferramentas profissionais e estão à serviço do método projetual.

Hoje é possível projetar através de computadores, pois a tecnologia permite que as ideias e conceitos de projeto se transformem em um produto mais rapidamente, com menor probabilidade de falhas e o Designer necessita estar muito bem preparado no que se refere ao conhecimento e aos instrumentais tecnológicos atuais utilizados nos projetos dos produtos industriais porque atua diretamente no desenvolvimento dos novos produtos. (...) O domínio da informática e das linguagens tecnológicas instrumentais e projetuais pelo Designer permitem um maior controle sobre os riscos envolvidos nos projetos e uma melhoria na qualidade das soluções que possa apresentar. (BARBOSA, 2009, p.66).

Por outro lado, Barbosa (2009) identifica mudanças radicais no panorama de alguns cursos de design, pois se antes valorizavam e defendiam o uso dos desenhos feitos à mão e a modelagem manual dos modelos e protótipos (prototipagem convencional), hoje migraram para a introdução do uso do computador e a modelagem virtual aplicada a projetos. Neste caso, as ferramentas tradicionais estão sendo substituídas por alternativas digitais. "Nos últimos 20 anos, os recursos informáticos estão presentes de forma incontestável na estrutura de todos os cursos de Design, mudando a cara dos mesmos, tornando-os mais digital e menos artesanal." (TAROUCO, 2011, p.220). Mesmo com as vantagens do uso da informática e dos computadores parecerem ser evidentes, Barbosa (2009) lembra que a supervalorização de um sistema de construção de modelos tridimensionais em detrimento de outro não demonstra ser uma atitude racional. Além disso, reforça que apesar da adoção de algumas disciplinas que utilizam ferramentas digitais voltadas a projetos, o problema maior é que o seu uso parece estar deslocado com o processo projetual.

Atualmente há um abismo instrumental e operacional entre o objeto modelado virtualmente em 3 dimensões e o protótipo físico nos Cursos de Design. Há uma urgente necessidade da introdução da materialização do objeto virtual para o objeto físico através das tecnologias contemporâneas de prototipagem mais eficientes, pois na grande maioria das vezes se vê um retrocesso - onde um objeto industrial modelado virtualmente projetado por Designers acaba sendo construído fisicamente por meios manuais devido à ausência de acesso a

equipamentos automatizados como o CNC, o corte a laser ou de prototipagem rápida. (BARBOSA, 2009, p.74).

Em meio a esta confusão da transição e confronto entre métodos tradicionais e digitais, Romcy & Tinoco (2015) explicam que graças os processos de fabricação auxiliada por computador (CAM) integrados as atividades de concepção, análise, fabricação e montagem, surge a possibilidade de estreitar as relações entre projeto e execução no ambiente acadêmico. Segundo eles, as técnicas de fabricação auxiliada por computador resgatam a discussão sobre a necessidade de retomar o uso dos modelos físicos como parte dos processos de concepção, verificação de soluções construtivas e realização de ajustes. Por outro lado, o uso de tais técnicas também acarreta em decisões de qual equipamento e método utilizar, sendo necessário de que o projetista também conheça o conteúdo técnico necessário para a utilização das ferramentas. Logo, o conceber (*design*) e o fazer (*making*) podem coexistir dentro da disciplina de projeto, mas como qualquer técnica e/ou ferramenta que se pretende utilizar, requer estudos a respeito de suas restrições e modos particulares de se trabalhar.

Alguns autores, preocupados em incorporar as tendências tecnológicas do mercado de trabalho, para não haver defasagem entre os alunos e os futuros profissionais, tais como Brasil e Ritto (2006), propõem que os currículos pedagógicos do design devem ser revistos e atualizados. A discussão sobre o uso de ferramentas digitais no ensino de design é antiga e se divide na falta da formação tecnológica apontada por duas referências já bem antigas, como por exemplo: “O curso manteve uma estrutura centrada no desenvolvimento de projeto e nas atividades nas oficinas, sem ênfase na formação tecnológica, que era a tônica do currículo originalmente proposto (...)” (NIEMEYER, 1997, p.15). Ou Bazzo (1998), que não acredita que apenas equipamentos sofisticados deem conta da complexa inter-relação que existe entre os alunos e o objeto de seus estudos pois a tecnologia serve apenas como facilitadora e não como única responsável no ensino.

Apesar de acreditar na necessidade de atualização, Barbosa (2009) também afirma que, pelo design ter disciplinas baseadas em tecnologia, corre o risco do conhecimento adquirido se tornar obsoleto no momento em que novos conhecimentos surgirem. Por isso, não se deve desprezar os processos convencionais de prototipagem, pois os cursos de design não conseguem acompanhar o desenvolvimento tecnológico que, nem mesmo a própria indústria, consegue devido a grande velocidade de mudanças.

Ao pesquisar documentos oficiais brasileiros que digam alguma coisa a respeito do uso de ferramentas digitais na prática do design no país, foi encontrado um relatório do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) cujo título é “Diagnóstico do design brasileiro”. Segundo ele, algumas tecnologias otimizam a área de design e são capazes de tornar as organizações mais competitivas e com produtos de melhor qualidade. “É importante que o designer domine essas tecnologias para potencializar sua capacidade de desenvolver soluções inovadoras e alinhadas a noções pertinentes a esse contexto, como as de produtividade, flexibilidade, confiabilidade e sustentabilidade.” (Ministério..., 2014, p.75). Entre as tecnologias apresentadas, se destacam a digitalização 3D, a prototipagem virtual e a impressão 3D. “A prototipagem rápida por meio de impressão 3D é essencial para o design, uma vez que auxilia nos processos decisórios e na gestão dos projetos inovadores, aumentando os índices de acerto nos projetos e diminuindo os riscos de investimento em inovação.” (Ministério..., 2014, p.75). Entre as vantagens, também é possível citar que “a prototipagem rápida pré-anuncia um grande avanço no campo do processo criativo, permitindo o aprimoramento constante até que sejam atingidas as características desejadas do objeto em estudo.” (VEIGA & VIZIOLI, 2015, p.774).

Entretanto, Forti (2005) e Volpato et al. (2007) afirmam que, apesar dos benefícios serem conhecidos e devidamente relatados em artigos e livros, o uso dessas técnicas ainda não é aplicado em grande parte das empresas pela falta de capacitação dos recém-formados que não possuem um conhecimento prévio em relação ao uso destas ferramentas. Através de rápida análise na estrutura das grades curriculares das escolas de design, perceberam a falta de importância dadas às disciplinas de cunho tecnológico. Seja por deficiência infra estrutural ou por despreparo dos docentes responsáveis por este tipo de disciplinas.

Embora essa informatização transforme cada vez mais o modo de trabalho de Designers de Produtos, sua utilização no meio acadêmico aparece de forma lenta e tardiamente. A falta de infraestrutura e de atualização dos professores faz com essas novas metodologias e tecnologias não consigam substituir o ensino das antigas práticas de desenvolvimento de projeto, resultando em alunos com conhecimento defasado e, portanto, mal preparados para o mercado. (FORTI, 2005, p.1-2).

Em contrapartida, Carvalho (2004) afirma que essa adaptação das disciplinas acontece devido o ensino estar em um período de transição. As técnicas computacionais estão em

constante estado de desenvolvimento. A autora acredita que, futuramente, o computador, a partir do desenvolvimento de suas capacidades quanto ao *hardware* e ao *software* e da adaptação do homem à mídia, irá estabelecer uma nova relação com a atividade projetual. A crença parte da premissa que os “estudantes estão em contato com uma nova metodologia de ensino que (bem ou mal) trabalha com o computador em sala de aula desde o início do curso”. (CARVALHO, 2004, p.118). Isto somado ao fato de que estes mesmos estudantes possuem uma visão diferente do computador, uma vez que este faz parte da vida deles em casa e na escola desde cedo.

Porém, mesmo considerando que a habilidade com as ferramentas digitais se tornará natural aos alunos e professores, ainda resta a questão da defasagem da instrumentação entre o ambiente acadêmico e o padrão vigente da indústria. Pois, apesar de identificar a necessidade por mudanças, como é possível “instrumentalizar tecnologicamente a academia de maneira que possa acompanhar o desenvolvimento tecnológico da profissão de maneira responsável, uma vez que o Design está intrinsecamente ligado a indústria, a instituição social onde as transformações tecnológicas ocorrem rapidamente?” (BARBOSA, 2009, p.103).

No começo de 2012, os Estados Unidos criaram um programa de construção de *markerspaces* (espaços equipados com ferramentas de prototipagem rápida, tais como impressoras 3D e cortadoras a laser) em mil escolas americanas. Algumas destas ferramentas também foram disponibilizadas para a comunidade em bibliotecas públicas. Anderson (2012) explica que o objetivo é desenvolver uma nova geração de projetistas de sistemas e de inovadores de produção. Algumas das grandes empresas como Autodesk, PTC e 3D Systems lançaram *softwares* gratuitos de projetos para amadores e até mesmo para crianças, além de birôs de serviços, os quais os usuários podem enviar os arquivos para serem impressos em 3D. Anderson (2012) faz um paralelo que este movimento é similar ao que a IBM fez quando inseriu seus equipamentos para as pessoas comuns e conseguiu criar o mercado de computadores pessoais. A difusão e o crescimento do uso não aconteceram devido às grandes empresas terem descoberto por que alguém precisaria de um computador pessoal, mas pelos próprios usuários que identificaram novos meios para atender às suas necessidades específicas.

Entretanto, alguns autores apontam que os desafios ligados ao ensino no Brasil parecem ser maiores, Mestriner (2005), por exemplo, reforça o caráter deficiente dos cursos de design brasileiros, carentes de equipamentos, defasados tecnologicamente, além de não contar com profissionais qualificados para o uso dos *softwares*. Forti (2005) também considera que nem professores, nem faculdades estejam aptos a ensinar essas novas ferramentas e metodologias de

forma efetiva. Mestriner (2005) chega a justificar que, em muitas vezes, o baixo aproveitamento dos alunos é resultante do distanciamento entre o ensino e a realidade do mercado. Inclusive reforça que, no caso do design, a distância é, às vezes, bem grande.

Na pesquisa elaborada por Barbosa (2009) sobre quais seriam as dificuldades da introdução dos processos digitais de prototipagem nos cursos de design (além do fator custo) foram apontados, nesta ordem, como sendo os maiores problemas:

- primeiro, a falta de professores que saibam utilizar e ensinar estas tecnologias;
- segundo, a falta de laboratórios adequados;
- terceiro, a falta de incentivo ao ensino e uso destas tecnologias.

A falta de professores qualificados e ambientes com equipamentos adequados para trabalhar podem levar os alunos a buscarem cursos específicos de especialização no uso das ferramentas. Porém, mesmo quando os alunos buscam aprender as ferramentas fora do curso de graduação, o problema não chega a ser resolvido, pois não basta criar profissionais altamente qualificados tecnicamente em linguagens instrumentais. Ao aprender tais linguagens fora do curso de design, o ensino ocorre desvinculado ao ato de projetar, limitando o aprendizado do aluno à apenas algumas funcionalidades da ferramenta, deixando de lado, a parte mais importante: raciocinar com o seu uso voltado a formas de expressar ideias e desenvolver projetos.

Um outro desafio é que, mesmo com a presença de equipamentos de prototipagem rápida nos centros de pesquisa e universidades, Petrusch *et al.* (2007) afirmam que, embora operacionais, tais ferramentas estão entrando na obsolescência por não haver previsão de recursos para atualização. Ainda ressaltam que a falta de recursos poderá, em médio prazo, comprometer os trabalhos de ensino, pesquisa e extensão além de outros que se beneficiam destes centros e universidades. Para Barbosa (2009), apesar de cada vez mais acessível, o custo dos equipamentos (e manutenção) de prototipagem rápida ainda é uma barreira a ser rompida no ensino de design pois, apesar de haver demanda, faltam os recursos. “As universidades já têm as oficinas de prototipagem e, na grande maioria das vezes não tem como bancar o custo dos equipamentos de prototipagem e os materiais consumidos. Com o barateamento e surgimento de novas tecnologias de prototipagem rápida, talvez o cenário nas instituições de ensino possa se alterar”. (BARBOSA, 2009, p.97).

Portanto, os desafios se concentram na capacitação dos professores, na melhor integração das tecnologias com as disciplinas, nas melhorias das salas de aulas e laboratórios de modo a tornar possível o ensino e a experimentação que envolvem o uso de diferentes

softwares e a utilização da prototipagem rápida como elementos facilitadores no ensino da prática projetual nos cursos de design. Os cursos, juntos às universidades, precisam buscar recursos e criar formas de manter toda a estrutura funcionando e o mais importante, a consciência de que é necessário estar alinhado com o estado da arte de projetar, reduzindo a distância entre o que é ensinado no meio acadêmico com o que é realizado na indústria e no mercado de trabalho.

Além disso, é importante lembrar que, mesmo com todas as vantagens da prototipagem rápida e seu possível auxílio para as disciplinas de projeto, nos cursos de design, ela não substitui as demais ferramentas de representação. A introdução da prototipagem rápida, no ensino do design, visa contribuir com a aprendizagem, ampliando o horizonte do conhecimento dos acadêmicos, auxiliando os futuros profissionais diante das competências exigidas pela profissão. Acredita-se que é pela interação com o objeto projetado e estudado que se adquire o conhecimento necessário. Florio *et al.* (2007) reforçam que diferentes meios de representação contribuem de modos distintos para o entendimento e solução do projeto que está sendo realizado. Portanto, eles são complementares e não excludentes entre si. Segundo os autores, os modelos, sejam eles digitais ou físicos, comunicam diferentes intenções projetuais, e devem ser utilizados para desencadear diferentes ações cognitivas em cada fase no processo de projeto. Ao substituir um meio de expressão por outro, reduz as possibilidades de experimentação, causando uma perda significativa do processo de aprendizado.

Araújo (2009) orienta que, independente do processo de representação utilizado, o importante é que valorize o seu potencial no processo projetual. Pois, a prática da experimentação estimula o aluno a investigar infinitas possibilidades de resultados para tomada de decisão. E complementa dizendo que cabe ao aluno experimentar todas as ferramentas disponíveis durante o curso, fazendo por si, o juízo e o momento em que determinada ferramenta poderá contribuir com seus projetos.

Portanto, além da habilidade de utilizar vários instrumentos de representação, é importante que o projetista seja capaz de identificar suas especificidades e selecionar aquele mais adequado para a compreensão dos problemas e soluções envolvidos em cada situação ao longo do processo de projeto. (ROMCY & TINOCO, 2015, p.323).

Barbosa (2009) esclarece que objetivo de inserir e difundir a PR, nos cursos de design, não visa criar profissionais tecnicistas, mas explorar o uso e conhecimento técnico a favor da

arte da criação. O uso das ferramentas permite uma evolução gradual do desenvolvimento de projeto e pode auxiliar no pensamento criativo relacionado à viabilidade das ideias e conceitos. Com isso, a prototipagem rápida amplia o potencial de conhecimento nas disciplinas de projeto, nos cursos de design, estimulando o espírito inventivo, incentivando a experimentar o erro e o acerto e, por fim, a conscientização no aluno da importância do pensar para projetar. Segundo Rocha *et al.* (2016), as ferramentas de fabricação digitais estão se tornando mais do que simples ferramentas de representação, elas são o meio cognitivo no processo de aprendizagem. Desta forma, o apoio ferramental transcende e interfere diretamente no seu modo de pensar e de interagir no ato de projetar.

Porém, Silva *et al.* (2014) reforçam que, mesmo com os benefícios que as novas tecnologias possam vir a proporcionar, ainda requer um domínio pleno e discernimento na utilização das mesmas. O que, neste caso, traz de volta toda a discussão sobre qual é o papel da universidade em relação ao ensino das novas tecnologias. Apesar de não ser um consenso entre os autores pesquisados, uma das críticas feitas ao ensino é a falta de importância dos cursos universitários de design em relação às disciplinas de cunho tecnológico. Por não estar claro se o ensino acadêmico deve ou não acatar os avanços tecnológicos em suas disciplinas, o tópico a seguir apresenta uma análise das diretrizes curriculares que regulamentam o ensino superior no Brasil. A análise busca identificar se os cursos acadêmicos devem, ou não, ter ênfase na formação tecnológica, assim como a preocupação em atualizar e alinhar os alunos como futuros profissionais no mercado de trabalho.

4.2. DIRETRIZES CURRICULARES

No Brasil, o órgão máximo que regulamenta a educação é o Ministério da Educação e Cultura (MEC). A graduação em design é oferecida em um currículo de duração de dois anos, recebendo um título de tecnólogo ou de quatro anos, para um título de bacharel. A partir de 2002, o MEC iniciou um processo de reavaliação e revisão das diretrizes curriculares dos cursos de graduação de nível superior, entre eles os cursos de design.

Para o governo brasileiro, o curso de design deve obedecer às diretrizes curriculares gerais, determinadas para a área de design como um todo, portanto não há uma grade curricular específica para gráfico, produto, moda, interiores, entre outros. Suas diretrizes são gerais e determinam um nível mínimo de qualidade para todos esses cursos, sobre a pena de não ser reconhecido e não possuir seu diploma validado pelo MEC. Portanto, o documento possui um caráter mais amplo e generalista em relação às especificidades e competências de cada uma das

áreas do design e, conseqüentemente, em relação ao uso de ferramentas tecnológicas em seus cursos de graduação.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional 4.024/61, em seu art. 9º, posteriormente também a Lei de Reforma Universitária 5.540/68, no art. 26, estabeleciam que incumbia ao Conselho Federal de Educação a fixação dos currículos mínimos dos cursos de graduação, válidos para todo o Brasil. Eram então fixados currículos mínimos para estabelecer um patamar uniforme entre cursos de instituições diferentes, inclusive quanto à carga horária obrigatória, que prevalecia sobre a complementar e optativa, além da falta de exigência, em alguns cursos, de implementação profissional através de estágio.

Contudo, com a publicação da Lei 9.131, de 24/11/95, o art. 9º, § 2º, alínea c, conferiu à Câmara de Educação Superior (CES) do Conselho Nacional de Educação (CNE) a competência para a elaboração do projeto de Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que orientam os cursos de graduação, a partir das propostas a serem enviadas pela Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação ao CNE, tal como viria a estabelecer o inciso VII do art. 9º da nova LDB 9.394/96, de 20/12/96, publicada em 23/12/1996. Posteriormente, aprovaram o Parecer 776/97, no qual estabelece que as DCN devem: se constituir em orientações para a elaboração dos currículos; ser respeitadas por todas as IES; e assegurar a flexibilidade e a qualidade da formação oferecida aos estudantes.

Segundo Rodrigues (2012), as DCN são normas obrigatórias para a educação básica, discutidas, concebidas e fixadas pelo Conselho Nacional de Educação, que orientam o planejamento curricular das escolas e dos sistemas de ensino. As diretrizes buscam promover igualdade na aprendizagem, de forma a garantir que os conteúdos básicos sejam ensinados para todos os alunos sem deixar de levar em consideração os diversos contextos os quais eles estão inseridos.

O parecer do CNE / CES nº 146, de 3 de abril de 2002¹³, que aprova as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Administração, Ciências Contábeis, Ciências Econômicas, Dança, Design, Direito, Hotelaria, Música, Secretariado Executivo, Teatro e Turismo e que, foi posteriormente revogado pelo parecer CNE/CES 67, de 11 de março de 2003¹⁴, que aprova as Diretrizes Curriculares Nacionais dos cursos de graduação em Música, Dança, Teatro e Design, evidencia que as DCN devem observar, dentre outros princípios, que: “incentivar uma sólida formação geral, necessária para que o futuro graduado possa vir a

¹³ Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES0146.pdf>>.

¹⁴ Disponível em: <http://www.cmconsultoria.com.br/legislacao/pareceres/2003/par_2003_0195_CNE_CES.pdf>.

superar os desafios de renovadas condições de exercício profissional e de produção do conhecimento, permitindo variados tipos de formação e habilitações diferenciadas em um mesmo programa”, assim como “estimular práticas de estudos independentes, visando uma progressiva autonomia profissional e intelectual do aluno”. Em relação aos conteúdos curriculares, um dos itens, especificados resolução CNE/CES nº 5, de 8 de março de 2004¹⁵, é especificado que os cursos de design devem contemplar em seus projetos pedagógicos e em sua organização curricular os conteúdos básicos que consistem em: “estudo da História e das Teorias do Design em seus contextos Sociológicos, Antropológicos, Psicológicos e Artísticos, abrangendo Métodos e Técnicas de Projetos, Meios de Representação, Comunicação e Informação, Estudos das Relações Usuário/Objeto/Meio Ambiente, Estudo de Materiais, Processos, Gestão e outras relações com a produção e o mercado”. No detalhamento dos Projetos Pedagógicos é definido que “poderão admitir modalidades e linhas de formação específica, para melhor atender às necessidades do perfil profissional que o mercado ou a região assim exigirem”.

Portanto, como é possível perceber nestes trechos citados, as especificações das DCN apresentam a preocupação com a relação da formação do aluno e a sua integração com o mercado de trabalho. Fica claro também que a grade obrigatória não conseguirá fornecer todas as informações necessárias para a formação do aluno e que cabe a ele procurar formações e estudos complementares, sejam elas dentro e também fora do curso e, até mesmo, fora da instituição de ensino.

Os estudos posteriores à graduação também ficam amarrados, de certa forma, às necessidades do mercado segundo a especificação do Projeto Pedagógico que define que “cursos de pós-graduação *lato sensu*, nas modalidades especialização integrada e/ou subsequente à graduação, de acordo com o surgimento das diferentes manifestações teórico-práticas e tecnológicas aplicadas à área da graduação, e de aperfeiçoamento, de acordo com as efetivas demandas do desempenho profissional”.

Em relação a preparação para o futuro profissional, são citadas as principais diferenças entre Currículo Mínimo e Diretrizes Curriculares Nacionais, de modo a apresentar os avanços e as vantagens proporcionadas às DCN, entre as quais, se destacam: “as Diretrizes Curriculares Nacionais orientam-se na direção de uma sólida formação básica, preparando o futuro graduado para enfrentar os desafios das rápidas transformações da sociedade, do mercado de trabalho e

¹⁵ Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/rces05_04.pdf>.

das condições de exercício profissional” e “enquanto o Currículo Mínimo profissional pretendia, como produto, um profissional ‘preparado’, as Diretrizes Curriculares Nacionais pretendem preparar um profissional adaptável a situações novas e emergentes”. Nestes trechos, os currículos mínimos são apresentados como uma estrutura engessada e direcionados para o exercício profissional, e que nem sempre significou a plenitude de uma coerente e desejável proposta pedagógica, contextualizada, que se ajustasse permanentemente às emergentes mudanças sociais, tecnológicas e científicas. Desta forma, o modelo antigo é definido como prejudicial pois os graduados se encontravam defasados em relação ao desempenho exigido no novo contexto, necessitando preparação específica para o exercício da ocupação ou profissão.

As DCN definem que as instituições de ensino superior responderão necessariamente pelo padrão de qualidade na oferta de seus cursos, o que significa, no art. 43, preparar profissionais aptos para a sua inserção no campo do desenvolvimento, em seus diversos segmentos, econômicos, culturais, políticos, científicos, tecnológicos, etc. Com isso, deveria existir uma nova concepção da autonomia universitária e das instituições não-universitárias, em sua harmonização, de modo a formar não mais o profissional preparado, mas o profissional apto às mudanças e, portanto, adaptável.

O perfil de formação de nível superior deve consistir em processo contínuo, autônomo e permanente, com uma sólida formação básica e uma formação profissional fundamentada na competência teórico-prática, observada a flexibilização curricular, autonomia e a liberdade das instituições de inovar seus projetos pedagógicos de graduação, para o atendimento das contínuas e emergentes mudanças para cujo desafio o futuro formando deverá estar apto. Sendo assim, as DCN definem que as instituições deverão adotar práticas pedagógicas e também métodos de ensino/aprendizagem inovadores, direcionados à garantia da qualidade do curso. Além de aferir a importância do caráter inter e multidisciplinar das ações didáticas e pedagógicas, criando uma interface da graduação com a pós-graduação sob diferentes mecanismos, em especial com estímulo à pesquisa, o incentivo à produção científica e a inserção na comunidade sob as diversas formas ou programas de extensão.

O parecer do CNE/ CES, também estabelece um perfil desejado do formando graduado em design de forma bastante ampla e generalista o qual “tem como perfil o profissional que se ocupa do projeto de sistemas de informações visuais, objetos e os sistemas de objetos de uso através do enfoque interdisciplinar, consideradas as características dos usuários e de seu contexto sócio-econômico-cultural, bem como potencialidades e limitações econômicas e tecnológicas das unidades produtivas onde os sistemas de informação e objetos de uso serão

produzidos.” Além disso, estabelece também que o perfil desejado desse formando é “o designer capaz de produzir projetos que envolvam sistemas de informações visuais, artísticas, culturais e tecnológicas de forma contextualizada e observado o ajustamento histórico e os traços culturais e de desenvolvimento das comunidades”. O tema deste trabalho está relacionado a estas definições, pois é voltado às pesquisas e aplicações das potencialidades tecnológicas (respeitando claro, suas limitações, até mesmo de ordem financeira), de forma contextualizada e alinhada às ferramentas contemporâneas de prototipagem rápida, ligadas ao desenvolvimento das comunidades (por exemplo, as comunidades virtuais de prototipagem rápida, o movimento *maker* e o movimento faça você mesmo).

Dentre as competências e habilidades definidas no documento, vale destacar:

- capacidade criativa para propor soluções inovadoras, utilizando do domínio de técnicas e de processo de criação;
- capacidade para o domínio de linguagem própria expressando conceitos e soluções, em seus projetos, de acordo com as diversas técnicas de expressão e reprodução visual;
- visão sistêmica de projeto, manifestando capacidade de conceituá-lo a partir da combinação adequada de diversos componentes materiais e imateriais, processos de fabricação, aspectos econômicos, psicológicos e sociológicos do produto;
- conhecimento do setor produtivo de sua especialização, revelando solida visão setorial, relacionado ao mercado, materiais, processos produtivos e tecnologias abrangendo mobiliário, confecção, calçados, joias, cerâmicas, embalagens, artefatos de qualquer natureza, traços culturais da sociedade, softwares e outras manifestações regionais.

Sendo assim, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) estabelecem, para os cursos de graduação de nível superior de design, que o perfil teórico-prático pretende preparar um profissional adaptável às continuas e emergentes mudanças do mercado de trabalho. Da mesma maneira, os projetos pedagógicos poderão adotar formações específicas para atender o perfil profissional do mercado ou de uma determinada região. Logo, a preocupação em diminuir a distância entre o que é ensinado nos cursos acadêmicos com o processo de fabricação de produtos nas indústrias está alinhado com o foco das diretrizes. Da mesma forma, as instituições de ensino superior (IES) são responsáveis por adotar práticas pedagógicas, como também, métodos de ensino/aprendizagem inovadores, para atender a qualidade de seus cursos. A

integração dos sistemas CAD com as ferramentas de PR na geração de formas complexas, que antes eram difíceis de ser exploradas manualmente pelos projetistas, é um excelente exemplo de como as ferramentas tecnológicas podem vir auxiliar em soluções inovadoras no processo de criação.

Ao longo da história, o uso de diferentes ferramentas de representação estimulou a criatividade dos projetistas. O uso da prototipagem rápida, entre diversas outras aplicações, pode ser utilizada ferramenta para representar, rascunhar e gerar formas complexas, não apenas nas etapas finais, mas desde as etapas iniciais do projeto. O que reforça o conceito de que os novos meios de produção proporcionam novas maneiras de entender a geração da forma. Logo, limitar o ensino de design às ferramentas tradicionais sem abertura ou devida atenção ao domínio técnico da formação tecnológica informatizada pode atrapalhar o desenvolvimento dos alunos e atrapalhar a visão do pensar e projetar para o futuro sem o domínio das linguagens, ferramentas e tendências tecnológicas aplicadas no processo contemporâneo de fabricação de produtos. O que vai contra os princípios das DCN, os quais definem os cursos como responsáveis pela formação do aluno adaptável aos desafios impostos pelo mercado de trabalho e também autônomo na progressão profissional e na produção de conhecimento.

Portanto, segundo as DCN, as práticas pedagógicas, assim como, os métodos de ensino e aprendizagem deverão ser inovadores e adotados pelas instituições, buscando melhorar a qualidade de seus cursos. A formação do aluno deve ser sólida o suficiente para que ele possa superar os desafios em relação às práticas profissionais, de forma que ele consiga se adaptar às contínuas e emergentes mudanças do mercado de trabalho. O que, neste caso, reforça a necessidade da aproximação entre o ensino acadêmico das práticas profissionais do mercado e/ou da indústria. Ao mesmo tempo, o documento aponta que a grade obrigatória do curso não será suficiente para suprir todas as informações necessárias para a formação do aluno e que cabe a ele procurar informações e estudos complementares de forma independente visando a autonomia intelectual e profissional, o tornando um indivíduo adaptável a mudanças, sendo capaz de conduzir a construção do próprio conhecimento.

Conforme apresentado anteriormente, o uso das ferramentas digitais de forma integrada nos cursos de design requer uma reformulação das práticas pedagógicas vigentes. Desta forma, a próxima etapa deste trabalho se propõe a analisar o que vem sendo feito em relação à integração das ferramentas digitais e as tecnologias de impressão 3D no ensino de design.

4.3. AS NOVAS TECNOLOGIAS NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

O design, segundo Barbosa (2009), permeia diversas áreas, entre elas, estão a ciência e a tecnologia. A estreita relação com a tecnologia, segundo Moura (2003), é um dos pilares do design e que não é possível desenvolver um projeto sem ela. Entretanto, lembra que projeto não é “(...) apenas e tão-somente a tecnologia, ou puro tecnicismo. É a tecnologia que dá a sustentação aos aspectos culturais, estéticos, funcionais e de linguagem do projeto que serão refletidas no produto que foi desenvolvido”. (MOURA, 2003, p.106). Apesar do potencial das novas tecnologias na educação, Blikstein (2013) afirma que os educadores devem lembrar que das bases do construcionismo de Papert, nas quais o poder real de qualquer tecnologia não está na própria técnica ou no fascínio que gera, mas nas novas formas de expressão pessoal que permite diferentes maneiras de interação humana e facilita exteriorizar as ideias. Sendo assim, Barbosa (2009) reforça que não se pode apenas criar profissionais altamente qualificados tecnicamente em linguagens instrumentais, pois também é preciso instruí-los a adquirir outras habilidades relevantes e o conhecimento técnico necessário para implementar as ideias em produtos. No entanto, Orciuoli (2009) defende a importância do amadurecimento em relação ao uso das tecnologias digitais para que os alunos ou profissionais possam explorar ao máximo seus recursos, tirando delas todo o seu potencial. Afinal, quanto melhor conhecer as tecnologias, mais possibilidades o designer terá na hora de projetar.

O uso das tecnologias de prototipagem rápida está sendo reconhecido, segundo Sass & Oxman (2006), como ferramentas de grande potencial para o design e, à medida em que elas são absorvidas na prática, tanto os profissionais quanto as escolas de design começam a incorporar seus dispositivos no processo projetual. Para Blikstein (2013), um dos benefícios da prototipagem rápida é que ela acelera os processos de ideação e invenção. Ela elimina a habilidade manual como meio intermediário na transformação de uma ideia em um produto. Sendo assim, os alunos podem concentrar as atenções na melhoria de seus projetos em vez de cuidar de outras questões referentes à fabricação dos objetos físicos. Com isso, muitos mais ciclos de redesign são possíveis durante o processo de prototipagem rápida. Para Lee (2016), a PR é extremamente valiosa não apenas para representações finais de apresentação ou como um assistente para entender melhor as geometrias de formas complexas, mas como um participante ativo e na integração com outros meios de representação nos projetos de design. Porém, é importante lembrar que mesmo as ferramentas tecnológicas ajudando a desenvolver propostas ousadas e inovadoras, elas devem ser sempre encaradas como auxílio e suporte para o projeto e não a solução em si. Além disso, de nada adianta adotar os equipamentos nos cursos de design se não existe um planejamento ou objetivo a ser alcançado, afinal elas são apenas ferramentas.

Elas são parte da ajuda e parte da estratégia em buscar diferentes e atualizadas formas de projetar. Milincu & Feier (2015), afirmam que os designers precisam experimentar todos os métodos de trabalho possíveis, conhecer suas vantagens e limitações e usá-los com discernimento.

Neste caso, a relação do ensino com a tecnologia no design, de acordo com Barbosa (2009), se comporta como uma atividade dividida entre o saber e o fazer. O autor prevê que novas estratégias de utilização das tecnologias contemporâneas de prototipagem possam emergir e, com maiores pesquisas junto às ações pedagógicas e institucionais, tais ações podem contribuir na construção de uma maior sintonia entre as necessidades do design, da universidade e da indústria. Algumas mudanças são necessárias neste processo e, ao tomar como exemplo a arquitetura que, segundo Righi (2009), atualmente se mistura com os meios digitais, mas teve que passar por um o processo de adaptação. No início, era esperado que o computador fosse utilizado para auxiliar o processo de projeto, contudo, foi utilizado apenas como simples ferramenta de representação. Mas, aos poucos, os computadores foram se tornando importantes ferramentas no processo criativo, o que resultou no desenvolvimento de novos *softwares* e dispositivos de projeto, tais como a prototipagem rápida e a digitalização 3D de maquetes físicas. Rocha *et al.* (2016), explicam que, nos últimos vinte anos, matrizes teóricas e estudos de caso mais aprofundados estão sendo efetuados nas universidades numa tentativa de entender as repercussões da tecnologia, não como uma ferramenta técnica, mas como um meio de transformar o mundo.

Consequentemente, em virtude da inserção de novas tecnologias para concepção, desenvolvimento e materialização, Ryberg *et al.* (2015) explicam que o processo projetual, nas áreas de design e arquitetura, está sendo repensado. Iniciativas, como a CDIO, por exemplo, vem sendo adotada por instituições de ensino ao redor do mundo, como parte de seu planejamento curricular, utilizando a avaliação baseada em resultados e que todos educadores podem aprender dos exemplos práticos aplicados em outros lugares. Segundo a definição de seu site¹⁶, a CDIO é uma metodologia educacional inovadora e fornece aos alunos os fundamentos baseados nos contextos de Concebendo - Projetando - Implementando - Operando (*Conceiving - Designing - Implementing - Operating*, CDIO) aplicados a sistemas e a produtos do mundo real, buscando reduzir as lacunas da educação com as exigências do mundo real.

¹⁶ <http://www.cdio.org/>

Verner & Merksamer (2015) relatam a necessidade de atualizar o currículo dos cursos com base na abordagem CDIO, como também equipar o laboratório de educação tecnológica com modernas ferramentas de *software* CAD e impressoras 3D para aprimorar o conhecimento e habilidades dos alunos no ensino de design e prototipagem rápida. Para Verner & Merksamer (2015) e Huang & Lin (2017), a metodologia CDIO contribui para criar o equilíbrio dos fundamentos pedagógicos de aprendizado, o treinamento de habilidades tecnológicas e a prática de ensino. Além da mudança da metodologia projetual, Verner & Merksamer (2015) consideram a impressora 3D como sendo um importante elemento para o laboratório, pois para estudos de design e prototipagem rápida, ela é um dispositivo acessível, compacto e fácil de usar que oferece prototipagem rápida de modelos físicos em pequena escala, proporcionando *feedback* operacional ao aluno. A impressão 3D permite minimizar algumas restrições no design ao remover barreiras na transição do projeto como conceito para a sua fabricação.

Para Smith *et al.* (2015), o uso da impressão 3D na educação está intimamente ligado ao crescimento do movimento *maker* e à evolução das tecnologias de prototipagem rápida, que permitem as pessoas a criarem e a aprimorar as coisas através das tecnologias digitais. O movimento FabLab foi responsável por introduzir a prototipagem rápida na educação como uma forma democrática de desenvolvimento de novos artefatos. Esta democratização da produção através do processo de prototipagem rápida foi aplicada em ambientes educacionais, por alguns pesquisadores, tais como Blikstein (2013), Smith *et al.* (2015), Pantazis & Priavolou (2017), por exemplo. Hoje em dia, o emprego da prototipagem rápida na educação fornece aos alunos uma melhor compreensão do uso da tecnologia digital na sociedade pós-moderna e os apoiam a realizar atividades utilizando ferramentas digitais.

Huang & Lin (2017), por exemplo, buscando aprimorar os métodos tradicionais de ensino, realizaram alguns experimentos utilizando desenho técnico, a partir de vistas ortogonais, combinado com modelo físico, materializado através da impressão 3D. A manipulação dos objetos físicos permitiu examinar diferentes ângulos de cada modelo, comparando com as vistas dos desenhos, facilitando a compreensão espacial, além de auxiliar os alunos a desenvolverem a capacidade de criar modelos tridimensionais por conta própria. Os autores identificaram que, através de uma participação mais ativa, os alunos adquirem habilidades, aumentam a autoestima e aplicam seus conhecimentos nas atividades, gerando melhores resultados no processo de aprendizagem. Huang & Lin (2017) explicam que, de acordo com a teoria do processamento da informação, as pessoas percebem o mundo através de

múltiplos estímulos sensoriais e graça a maior diversidade em fontes de estímulo, se produz mais conhecimento sólido.

Além de estimular uma quantidade maior de sentidos, a introdução dos equipamentos de prototipagem rápida, como cortadoras a laser e impressoras 3D, segundo El-Zanfaly (2015), também trouxeram mudanças positivas para a arquitetura, para o design e para a indústria, tais como precisão, aceleração da construção e facilidade de comunicação entre todas as partes envolvidas em um projeto. Em 1966, o professor do MIT, Steven Coons, anunciou que as máquinas CAD / CAM seriam como escravos perfeitos que libertariam o homem das inúmeras tarefas mecânicas tediosas que prejudicam suas energias e permitem que ele se concentre plenamente no ato criativo. Apesar desta abordagem ser bastante discutível, não há dúvida de que as máquinas economizam tempo e esforço, possibilita o uso de *feedback* no processo de iteração, resultando em benefícios para o processo projetual e de fabricação.

Por outro lado, El-Zanfaly (2015) acredita que a instalação de tais ferramentas em ambientes educacionais, que deveriam ser destinados a servir de meio criativo para fabricar e aprender, automatiza partes do processo de fabricação impedindo uma interação direta entre o aluno, o material e o objeto. A autora afirma que a interação direta é essencial para a improvisação e a aprendizagem na elaboração pois o aluno desenvolve a experiência sensorial e o seu raciocínio espacial. O raciocínio espacial significa ser capaz de imaginar artefatos em três dimensões com a menor quantidade de informação possível. Para isso, é essencial ter uma experiência tátil, analisar, reagir às mudanças no objeto e pensar sobre como as peças se juntam. Para ela, do mesmo modo que para aprender qualquer ofício, o aprendiz tem que sujar as mãos e interagir diretamente com o objeto no seu processo de desenvolvimento.

Embora o pré-planejamento seja comum em um processo de fabricação, El-Zanfaly (2015) observou que as máquinas de prototipagem rápida em ambientes educacionais eliminam ou minimizam a variação ou a improvisação. A autora observou tal problema em algumas universidades, escolas e sites de DIY (*Do It Yourself*, Faça Você Mesmo). A metodologia utilizada, nestes lugares, geralmente se baseia na estrutura a qual os alunos devem desenhar primeiro e modelar na sala de aula, para depois ir ao laboratório apenas para executar seu projeto pré-planejado. Do mesmo modo, como acontece nos sites de DIY, tais como o instructables.com e makezine.com, onde os usuários fornecem instruções detalhadas do passo a passo sobre a construção dos projetos. Em alguns casos, como thingiverse.com, os alunos só precisam fazer o download dos arquivos prontos para serem impressos em qualquer impressora 3D. Para a autora, esse tipo de aprendizagem baseada em instruções para fabricar algo não

permite que o aluno transfira o que foi aprendido para outro problema ou projeto. Ela afirma que a habilidade de operar e conhecer as capacidades de uma ferramenta não é suficiente para que os alunos possam improvisar e criar algo por conta própria.

El-Zanfaly (2015) coloca que, ao utilizar o CAD / CAM como complemento do ensino de projeto, o aluno é forçado a se acostumar com as capacidades e limitações das ferramentas como sendo parte do processo ao invés de utilizá-las no desenvolvimento pleno do design. Apesar de ter essa visão, a própria autora valoriza algumas propostas de ensino em laboratórios de prototipagem rápida, tais como a de Celani (2012), na qual aplica métodos científicos explícitos para formalizar o ensino nos laboratórios de prototipagem rápida, estruturando instruções passo a passo, conferindo habilidades técnicas que permitem aos estudantes resolver um problema prático. Assim como as pesquisas sobre a integração de máquinas de prototipagem rápida no processo de aprendizagem prático no ensino do processo projetual.

Buscando resolver a falta de interação dos alunos com as ferramentas digitais automatizadas, El-Zanfaly (2015) propõe novos métodos de aprendizagem e de fabricação inspirados no aprendizado artesanal e observações de experiências que ela realizou. Testado em diversas instituições, desde o ensino médio até o ensino superior, o método é chamado I3 por contar com três camadas de operação: Imitação, Iteração e Improvisação (*Imitation, Iteration, Improvisation*). Ela afirma que o método I3 traz de volta à interação perdida com as novas ferramentas e permite que os alunos desenvolvam suas experiências sensoriais. Com o processo I3 aplicado na prototipagem rápida, ela explica que o designer constrói sua experiência sensorial com julgamento e destreza. A imitação envolve a cópia de um objeto ao analisar e processar muitos aspectos do objeto, a iteração envolve variáveis do artefato com mudanças, e a improvisação envolve a criação de algo novo ou espontaneamente alterando o objeto. O processo I3 é sequencial e estruturado em camadas, sendo que a improvisação inclui iteração e imitação, e iteração inclui imitação. O processo inicia com a imitação, o aluno pode fazer uma cópia exata, copiar um conceito ou simplesmente copiar objetos diferentes. Tanto a imitação quanto a engenharia reversa são bons exemplos de aprender fazendo. Da mesma forma como acontece nas oficinas tradicionais, os alunos copiam os movimentos de seus mestres e aplicam seus julgamentos para construir o mesmo artefato. A imitação proporciona aos alunos experiência e sensação de uma prática qualificada. As iterações são guiadas, ou seja, os alunos são convidados a experimentar diferentes aspectos do objeto, como material e geometria. Conseqüentemente, o aprendiz melhora a sua experiência perceptiva na elaboração e aprende mais sobre as capacidades e limitações das máquinas. Por fim, a improvisação envolve a

detecção de coisas novas e a reação às surpresas à medida que surgem. Mesmo nos estágios de imitação e iteração, existe improvisação. As habilidades de criação e detecção do aluno aumentam durante o processo I3 para que o aluno possa improvisar e criar algo dele. No geral, ao terminar as iterações, os alunos adquirem a experiência necessária para tomar suas próprias decisões. Como resultado, os alunos desenvolvem sua experiência sensorial e são capazes de fazer julgamentos por conta própria.

Para Smith *et al.* (2015), tais processos de criação, ideação e reflexão da prototipagem rápida tem uma estreita semelhança com o *design thinking*, estimulando o estudante a se envolver na definição de problemas e explorações através do método de tentativa e erro, para fazer suas próprias escolhas, com base em ideias ou experiências passadas. Neste tipo de processo de design colaborativo, o professor atua como mentor e facilitador. Os experimentos de Smith *et al.* (2015) mostraram que, ao incorporar elementos de *design thinking* na prototipagem rápida, os alunos progrediram para uma melhor compreensão do processo de design assim como os seus resultados. Os estudos revelam que a prototipagem rápida no ensino fundamental e médio pode se beneficiar do *design thinking* pois ele auxilia a capacidade dos alunos de trabalhar em um espaço de solução, no qual a falha, processos iterativos e reflexões contínuas sobre materiais de fabricação são partes integrantes do processo.

Enquanto que, para Braida (2014), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), se mostra como um método flexível o suficiente para se adaptar a diversos contextos de aplicação, bem como aos mais variados objetivos educacionais, que se destaca como uma estratégia voltada a produção do conhecimento e a formação de profissionais preparados para os desafios deste novo século. Mas, embora o emprego da ABP venha sendo recorrente no ensino de projeto na área de design, Braida (2014) afirma que a adoção das salas de aulas convertidas em ateliês, laboratórios, bureau ou estúdios de projeto já denota a adoção de alguns operativos da Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project Based Learning*, PBL) e que, deste modo, os métodos utilizados não são (ou não deveriam ser) os tradicionais.

Neste caso, até mais que a Aprendizagem Baseada em Problemas, nos dias de hoje, a Aprendizagem Baseada em Projetos, segundo Braida (2014), oferece um aporte metodológico para os alunos encontrarem as soluções integradas, criativas e coerentes à altura das demandas contemporâneas, desenvolvendo suas habilidades e competências por meio da proposição de projetos cujos problemas fundamentam-se em temas transversais e em abordagens (inter, multi e trans)disciplinares. A PBL, segundo Braida (2014), é uma modalidade de aprendizagem de caráter ativo e colaborativo, que enfatiza as atividades de projeto, cuja principal característica

é a construção coletiva do conhecimento interdisciplinar e centrada no aluno. O foco da PBL não recai sobre os conteúdos, mas sobre as habilidades e competências necessárias para a atuação profissional contemporânea as quais os alunos deverão desenvolver de acordo com o perfil de egresso desejado em cada curso ou instituição. Ela promove a articulação direta entre a teoria e a prática, culminando com a apresentação de uma solução para um problema relacionado com uma situação, sempre que possível, mais próxima da realidade (e da atuação profissional). Por suas características, a PBL promove a consciência do aluno para sua participação ativa no processo de aprendizagem, cuja forma de ação se dá por meio da construção de novos conhecimentos, sobretudo fundamentada em experiências cotidianas. Portanto, exige do professor também uma postura diferenciada daquela de um simples transmissor de informações.

Os conceitos dos projetos, que se apresentam como efetivos, segundo o Buck Institute for Education, de acordo com Braida (2014), trabalha com o método de Aprendizagem Baseada em Projetos e possuem os seguintes atributos: “reconhecem o impulso para aprender, intrínseco dos alunos; envolvem os alunos nos conceitos e princípios centrais de uma disciplina; destacam questões provocativas; requerem a utilização de ferramentas e habilidades essenciais, incluindo tecnologia para aprendizagem, autogestão e gestão do projeto; especificam produtos que resolvem problemas; incluem múltiplos produtos que permitem feedback, utilizam avaliações baseadas em desempenho; estimulam alguma forma de cooperação.” (BRAIDA, 2014, p.144).

Ou seja, independente do método utilizado, é necessário adotar uma abordagem de um ambiente de aprendizagem híbrido que combina a prototipagem rápida, *design thinking* e os processos de ideação e inovação colaborativos, tais como o CDIO o I3, a ABP, a PBL, ou qualquer outro para resolver desafios (complexos) da sociedade. Para Blikstein (2013) e Smith *et al.* (2015) é importante notar que não se trata apenas de uma atividade orientada para o aprendizado de design utilizando ferramentas de prototipagem rápida, tais como impressoras 3D e cortadoras a laser. Portanto, não se trata apenas de recursos tecnológicos, mas criar ambientes de aprendizagem envolventes que reconheçam os múltiplos recursos epistemológicos de seus alunos.

Conseqüentemente, a aplicação das novas tecnologias no ensino requer ambientes de aprendizagem envolventes que reconheçam os múltiplos recursos epistemológicos de seus alunos. A demanda por alunos mais criativos e preparados para mudanças resulta em atualizações nas salas de aula, tanto em relação a estrutura do espaço físico quanto na do ensino. Algumas dessas mudanças serão abordadas no tópico a seguir.

4.4. ATUALIZAÇÕES NOS ESPAÇOS E NAS PRÁTICAS DE ENSINO

As práticas de ensino estão passando por mudanças. O aprendizado não-formal, segundo Pantazis & Priavolou (2017), não tem como objetivo principal o diploma ou a certificação, mas a aquisição de conhecimento e habilidades através da participação, observação e comunicação. Mas o que vem a ser o conceito do não-formal? O aprendizado denominado formal se concentra na abordagem clássica que trabalha com o conceito de hierarquia centrada no professor e promove a produção de conhecimento acadêmico padronizado. Por outro lado, a educação informal refere-se ao acúmulo acidental de experiência ou habilidades decorrentes da vida diária e interação com o seu ambiente. As práticas educacionais não-formais, portanto, se encontram entre os dois conceitos anteriormente mencionados, elas são abertas, inovadoras e adaptáveis às mudanças de condições e às necessidades individuais.

Com o objetivo de melhorar a eficiência do aprendizado através da experiência, Pantazis & Priavolou (2017) explicam que, as configurações educacionais não-formais estão correlacionadas com o conceito de construcionismo. O desenvolvimento da teoria construcionista de aprendizagem, por Seymour Papert (que por sua vez utilizou teoria epistemológica desenvolvida por Jean Piaget para repensar a educação), foi um movimento importante para o envolvimento ativo dos alunos no processo de ensino. O construcionismo de Papert, segundo Blikstein (2013), baseia-se no construtivismo de Piaget e alega que a construção do conhecimento ocorre notavelmente bem quando os estudantes constroem, criam e compartilham os seus objetos. Sua teoria é o cerne do que a atividade do fazer (*making*) e a prototipagem rápida significam para a educação e subentendem o que muitos entusiastas do movimento maker propõem. Maltempo (2005) explica que o aprendizado, segundo o construcionismo, ocorre especialmente quando o aprendiz está engajado em construir um produto de significado pessoal que possa ser mostrado a outras pessoas pois ao construir, qualquer que seja o produto, está, ao mesmo tempo, construindo conhecimento em sua cabeça. Este novo conhecimento o possibilita a construir produtos mais sofisticados que, por sua vez, o levam a novos conhecimentos, e assim por diante. Logo, as ideias construcionistas sugerem uma forte relação entre projetar e aprender. A abordagem pedagógica se difere do papel passivo dos alunos ao ficarem absorvendo informações de seus professores pois a construção do conhecimento se faz a partir de explorações práticas que estimulam a experiência e a inventividade.

Consequentemente, o construcionismo foi responsável por difundir discussões sobre a utilização da tecnologia no ensino. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) foram reconhecidas como ferramentas capazes de proporcionar experiências pessoais, a interação humana e fabricar artefatos poderosos rompendo com o padrão estabelecido do ensino tradicional. Os alunos se envolvem na descoberta de soluções, focando em problemas significativos, que melhoram os resultados educacionais. Dentro de tal ambiente, os professores atuam como facilitadores e atuam junto aos estudantes com o objetivo de estimular a motivação dos alunos na execução de suas atividades.

Segundo o site da UNESCO¹⁷ (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura), as TIC podem contribuir com o acesso universal e a equidade na educação, a qualidade de ensino e aprendizagem, o desenvolvimento profissional de professores, bem como melhorar a gestão, a governança e a administração educacional ao fornecer a mistura certa e organizada de políticas, tecnologias e capacidades. O site descreve que as TIC exercem um papel cada vez mais importante no modo que as pessoas se comunicam, aprendem e vivem. Sendo assim, a UNESCO assume o desafio em ajudar a equipar essas tecnologias efetivamente de forma a atender aos interesses dos aprendizes e das comunidades de ensino e aprendizagem. Em relação ao uso da TIC no Brasil, a UNESCO aponta que o país precisa melhorar a competência dos professores em utilizar as tecnologias de comunicação e informação na educação. A forma como o sistema educacional incorpora as TIC afeta diretamente a diminuição da exclusão digital existente na educação brasileira.

Entretanto, Vieira (2011) aponta que o desafio não se resume a simplesmente inserir as TIC no espaço educacional, a qualquer custo, por entender o potencial delas como ferramentas interativas. A interatividade em sala de aula pressupõe a troca, o diálogo, o fazer junto. Porém, a educação ainda é baseada no modelo de transmissão de informação e conhecimento pelo professor. O aluno se comporta apenas como receptor passivo, que no máximo responde a questões propostas pelo professor. Neste caso, não basta se focar apenas em incluir novas tecnologias na sala de aula, mas buscar formas de comunicação em sala de aula que incentive a participação dos alunos, o que por sua vez, acarreta em mudanças no perfil de ensino e no papel do professor em sala de aula.

Além da revisão do papel dos professores no ensino, Pantazis & Priovolou (2017) reforçam que para alcançar o pleno potencial do construcionismo é preciso contar com a

¹⁷ <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/communication-and-information/access-to-knowledge/ict-in-education/>

participação dos estudantes. Atrair o interesse dos alunos desempenha um papel vital no surgimento de resultados positivos, levando em consideração a motivação dos estudantes na busca do próprio conhecimento. Para Maltempo (2005), o papel do professor é fundamental, organizando as interações do aluno com o meio (físico e social) e problematizando as situações de modo a favorecer a aprendizagem por parte do aluno. Entretanto, Vieira (2011) explica que as TIC sozinhas são apenas ferramentas, mas quando bem utilizadas, elas podem colaborar para que haja de fato uma mudança radical no processo ensino-aprendizagem. Contudo, a autora reforça que não são as ferramentas digitais que vão “modificar uma prática arraigada de transmissão do conhecimento, na qual não se escuta o aluno, não se valoriza suas experiências, os espaços de vivências e de busca de informações nos quais este aluno participa”. (VIEIRA, 2011, p. 67).

Certamente que os papéis tanto do aluno quanto do professor em sala de aula precisam ser revistos. No entanto, apenas rever a relação entre eles não basta. As mudanças no ensino visando estimular o aluno a construir o conhecimento a partir de exercícios práticos utilizando as novas tecnologias requer espaços adequados para a execução de tais atividades. Rocha *et al.* (2016), em seus experimentos realizados, buscaram propor diferentes formas de ensino, ao sair dos limites físicos do ateliê de projeto acadêmico e desenvolver o processo de aprendizagem em conjunto com cooperativas em uma oficina de *makerspace*. O objetivo da proposta metodológica foi permitir aos alunos investigar o potencial de novos processos de projeto e de novas tecnologias digitais e de fabricação, através do desenvolvimento de um projeto inserido em um contexto real e dialogar com diferentes participantes durante a sua execução. O processo de ensino se baseou em três aspectos centrais: cooperação, (auto)responsabilidade e (auto)interesse, levando os estudantes a direcionarem seus trabalhos de pesquisa e assumir um novo papel no processo de aprendizagem, passando de receptores para produtores de conhecimento.

A atividade realizada por Rocha *et al.* (2016) foi importante ao trazer um amadurecimento aos alunos (e também aos professores) em relação a busca por conhecimento. Da mesma forma, o trabalho realizado remotamente favorece o desenvolvimento de atividades que não necessariamente contam com a infraestrutura fornecida pela instituição de ensino. Em contrapartida, Batistello *et al.* (2015) afirmam que, visando contribuir com a formação do profissional projetista, capaz de atender à demanda do mercado, a universidade precisa estar preparada para oferecer meios e ferramentas a fim de subsidiar a formação do aluno. O que, neste caso, reflete diretamente a questão de possuir espaços adequados e preparados para o uso

das novas tecnologias na execução das atividades de ensino. Paula & Lima (2014) destacam que, mesmo timidamente, as universidades brasileiras vêm incorporando as tecnologias da modelagem digital e da prototipagem, o que repercute nas mudanças de alguns dos paradigmas do ensino de projeto. A “criação dos laboratórios de modelagem virtual, de prototipagem e de prototipagem rápida, geralmente vinculados a algum grupo de pesquisa, incorporam as características das oficinas de maquetes e modelos, dos ateliês e laboratórios de projeto e, em alguns casos, de pequenas indústrias, hibridizando-as em um único espaço de produção do conhecimento”. (PAULA & LIMA, 2014, p.580).

Esse tipo de estrutura se baseia no construcionismo de Papert, que descreve a ideia de um projeto baseado em um ambiente de aprendizagem preparado para o uso da tecnologia. Os *makerspaces* são espaços preparados para o uso da tecnologia de prototipagem rápida. Segundo Saorín *et al.* (2017), os *makerspaces* são oficinas de acesso aberto para criação que, através do uso de máquinas controladas digitalmente, realizam trabalhos criativos em projetos inovadores e tecnológicos onde o conhecimento é compartilhado entre seus membros. Embora não exista uma definição genérica para este espaço, termos como espaços de *coworking*, laboratórios de inovação, Media Labs, Fablabs ou Hacklabs, todos têm um aspecto em comum: eles se tornaram autênticos laboratórios em design e prototipagem rápida, onde os alunos têm a oportunidade de desenvolver sua capacidade criativa através da inovação. Um processo que coloca novas ideias em prática onde a criatividade funciona como uma ferramenta vital.

Segundo Junk & Matt (2015), graças ao barateamento do custo dos equipamentos, as universidades estão comprando cada vez mais impressoras 3D. Nos centros educacionais, a criação de ferramentas e máquinas de baixo custo foi fundamental (e também um grande diferencial) para começar a integrar este novo fenômeno de laboratórios de design e prototipagem rápida. Nos últimos anos, fatores como a redução do custo, não só do *hardware*, mas também do *software*, e o estímulo de grandes empresas, tais como a Autodesk ou a 3D Systems, ao fornecerem algumas das suas ferramentas de forma gratuita para o ensino, incentivaram o crescimento destes espaços nos centros educacionais. Uma estrutura reduzida de um *makerspace* pode contar apenas com scanners 3D portáteis, impressoras 3D e computadores com *software* 3D, uma configuração que já permite projetar e construir. A prática pedagógica no ateliê de projeto, segundo Rocha *et al.* (2016), precisa incluir todos os sistemas, programas e processos no sentido exploratório e experimental para propiciar a reflexão e o diálogo com as novas gerações de estudantes na era digital. O ateliê é um espaço de pesquisa onde os alunos participam ativamente no processo de produção de conhecimento.

Entretanto, contar com ateliês de projeto devidamente equipados, não necessariamente, resolve o problema relacionado às ferramentas. Segundo Rocha *et al.* (2016), apesar das escolas de arquitetura estarem competindo pelos melhores e mais equipados laboratórios de prototipagem rápida, nem todas sabem o que fazer com seus equipamentos. Assim como, Araújo (2009), destaca que, apesar do enorme potencial dos dispositivos digitais, alguns alunos podem ingressar no curso com dificuldades em lidar com o computador e, por consequência, surgir uma severa barreira do aprendizado, inibindo os primeiros contatos e a explorar as vantagens das ferramentas. O autor reforça que tanto a aproximação ao novo quanto a experimentação são fundamentais no campo acadêmico, logo, cabe ao professor estimular tais alunos a superar dificuldades básicas, para assim promover o aprendizado e as experimentações projetuais. Tramontano & Pereira Junior (2015) apontam que para despertar o interesse dos alunos a utilizar as ferramentas digitais, é necessário inserir o processo de PR dentre os assuntos tratados no atelier de projeto, assim como seus procedimentos técnicos referentes à preparação dos arquivos e à operação das impressoras 3D. Os autores afirmam que mesmo algumas especificidades, tais como a geração G-code (código computacional com todas as informações do modelo a ser impresso), por exemplo, mesmo sendo gerado de forma automática pelos *softwares* das impressoras, é interessante que os alunos entendam a operação para, posteriormente, conseguirem entender a razão de alguns eventuais erros de impressão.

Mas a mudança na estrutura do ensino em virtude do uso das novas tecnologias na sala de aula acarreta também em outros desafios, entre eles, conseguir conciliar a visão dos professores em relação as propostas pedagógicas que devem ou não ser adotadas. Nunes *et al.* (2014), exemplificam que a reformulação ocorrida na grade curricular da arquitetura gerou alguns embates, pois alguns professores são contrários ao uso de tecnologias digitais de representação logo nos primeiros semestres por acreditarem que os alunos deveriam utilizar apenas ferramentas tradicionais. O avanço tecnológico acarreta diretamente em mudanças nos meios de representação e no ato de projetar. Righi & Celani (2008) descrevem que, nas últimas décadas, a prática de esboçar manualmente as ideias passaram a concorrer com as práticas digitais proporcionadas pelos avanços tecnológicos.

O desenho enquanto parte fundamental do processo criativo está sofrendo transformações proporcionadas pelos meios tecnológicos, alterando e interferindo nas ações cognitivas dos arquitetos. Esse panorama nos leva a avaliar que a metodologia de trabalho do arquiteto está se modificando e se adaptando as ferramentas digitais. É necessário discutir os

efeitos dessas mudanças, principalmente quanto ao ensino de projeto de arquitetura, para que não ocorram perdas ou limitações da criatividade e das ações cognitivas. (RIGHI & CELANI, 2008, p.4).

Vizioli *et al.* (2014) apontam, por exemplo, que é inevitável o ato de ensinar a desenhar e a projetar sofram transformações diante das novas tecnologias. As práticas e procedimentos do desenho deveriam ser revistos no sentido de incorporar as novas ferramentas digitais. Não se trata de uma simples alteração de suporte, da mudança do papel à tela do *tablet*, mas a possibilidade de uma sinergia entre as duas ferramentas. Integrar a precisão e conjunto de opções de edição dos *softwares* com a imprecisão, ambiguidade e fluidez do desenho gestual à mão livre.

As ferramentas digitais utilizadas nos dias de hoje não devem competir com os meios tradicionais, devem se unir a eles proporcionando uma integração entre tecnologias digitais e analógicas. Os usos de tais ferramentas no auxílio do processo criativo são muitos e a exploração formal possibilitada por ferramentas como digitalizadores 3D, máquinas de prototipagem rápida, impressoras a laser, estimulam os alunos a buscar inovações. Entretanto há de se salientar que mesmo diante de tantas possibilidades tecnológicas, muitos estudantes e arquitetos sentem necessidade e utilizam meios tradicionais como os croquis manuais. (RIGHI, 2009, p.71).

Entretanto, apesar dos benefícios das ferramentas digitais aplicadas no ensino, a preocupação de muitos professores, segundo Nunes *et al.* (2014), é em relação ao foco do curso estar nas tecnologias digitais pois, por consequência, vai resultar no declínio nas habilidades gráficas, sendo que a maior preocupação deveria estar na formação dos alunos através do estudo crítico das formas e espaços. Outros se preocupam com os rumos da liberdade formal ao abusar das formas complexas, ainda mais por considerar os alunos muito imaturos, nas primeiras disciplinas de projeto.

Por outro lado, Nunes *et al.* (2014), ressalta que também existem professores que valorizam a importância de momentos de experimentações de forma que os estudantes possam criar seus próprios métodos de projeto. Tais professores chegam até mesmo defender as novas tecnologias de representação como meios para tais experimentos. Conforme visto

anteriormente, tal prática está alinhada com os métodos CDIO ou I3, assim como também nos fundamentos do construcionismo em relação a formação do conhecimento.

Os benefícios do uso das novas tecnologias estão sendo verificados em pesquisas científicas. Ao tomar como exemplo os experimentos conduzidos por Vasconcelos *et al.* (2014), que se utilizam do uso do desenho paramétrico logo no início do curso de arquitetura, os seus resultados apontaram uma melhor compreensão espacial por parte dos alunos.

A hipótese é de que a experiência proporcionada aos estudantes, de compreensão do desenho paramétrico, em um primeiro momento de formação em arquitetura, ative a lógica de pensar a forma de maneira associativa e conceitual. E, até este momento, considera-se que a experiência realizada comprovou a hipótese de sua capacidade em promover a compreensão dos limites e potencialidades de cada um dos métodos de representação envolvidos, assim como suas complementaridades para a ação projetual (VASCONSELOS *et al.*, 2014, p.300).

Outros estudos também estão apontando a necessidade da revisão e/ou atualização das grades curriculares dos cursos de forma a acompanhar a inclusão das ferramentas digitais às novas linguagens projetuais. Através da análise de recentes pesquisas, Nunes *et al.* (2014), comentam, por exemplo, que o uso da geometria associada às potencialidades atuais das tecnologias digitais de representação tem gerado questionamentos sobre a necessidade de reestruturações curriculares no âmbito do ensino/aprendizagem da arquitetura. Os questionamentos são referentes a quais estruturas do saber devem ser veiculadas para que estudantes construam um repertório de conceitos e procedimentos para a compreensão do panorama atual de produção arquitetônica.

Em estágios iniciais de formação os estudantes exercitam processos de representação de produções arquitetônicas envolvendo diferentes níveis de complexidade geométrica. Tenta-se avançar no uso de técnicas de desenho paramétrico, demonstrando a possibilidade de conferir à forma arquitetônica uma liberdade escultórica suportada pela precisão matemática. Realizam-se exercícios de materialização destas formas através de processos de prototipagem, utilizando-se de técnicas de corte a laser e de impressão 3D. Este processo de apropriação das tecnologias de representação para o domínio da geometria tem sido acompanhado de um discurso didático dirigido à construção de vocabulário e repertório geométricos prévios à atividade projetual (NUNES *et al.*, 2014, p.294).

O aprendizado de novas técnicas e ferramentas influenciam diretamente a forma como se executa e até mesmo raciocina o projeto. A evolução do processo informatizado está sendo responsável por buscar diferentes abordagens no processo projetual. Soluções computacionais formais, como por exemplo, para a etapa de geração de alternativas já contam com ferramentas de parametrização ou do design generativo (*generative design*). Segundo Veiga & Vizioli (2015), a presença do desenho ainda é fundamental para o processo projetivo, independentemente do meio em que ele é executado, seja no papel, seja numa plataforma digital, como um tablet, mesa digitalizadora ou notebook com caneta digitalizadora. No entanto, o processo de parametrização rompe com a autonomia dada pelas mãos de quem desenha, de quem domina a forma por suas próprias intenções está mudando para a programação de uma máquina à concepção criativa de um dado produto.

Diferentes abordagens no processo projetual, tais como o design generativo, estão sendo adotadas por ferramentas, como por exemplo, o *software Dreamcatcher*¹⁸. Ainda em desenvolvimento, pelo departamento de pesquisa da Autodesk, ele gera formas, a partir de metas e restrições. A partir da combinação de algoritmos, inspirados no biomimetismo, cria diversas variações, a partir das especificações pré-definidas. O designer pode retroalimentar as soluções geradas definindo quais estão mais próximas do seu interesse. Então cabe ao computador gerar mais alternativas buscando soluções mais adequadas ao projeto que está sendo desenvolvido. E assim, da mesma forma como acontece com as ferramentas paramétricas, o design generativo também está trazendo o computador como membro ativo no processo projetual.

Segundo Oxman (2006), à medida em que as novas tecnologias se tornam mais complexas e mais exigentes em relação ao conhecimento de múltiplos tipos de *software*, conhecimento de linguagens de *script*, manipulação e manutenção de modelos de dados complexos, uma nova geração de especialistas em design digital está surgindo. Este é particularmente o caso hoje com sistemas paramétricos, todos os quais requerem conhecimento especializado para operá-los e mantê-los. O pensamento do designer em relação às ferramentas digitais reflete tanto o potencial de personalização de seus projetos como a necessidade de conhecimento especializado necessário para operar esses meios de comunicação. Com isso,

¹⁸ Disponível em: < <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher> >

atualmente, a ideia de uma categoria de *digerati*, ou *literários digitais*, como designers avançados de sistemas digitais, parece ser uma descrição precisa da situação contemporânea.

Oxman (2006) explica que esse choque do novo não é simplesmente em relação a descoberta de novos vocabulários formais, mas no estabelecimento de novas abordagens de design. Aqui a integração da impressão 3D, prototipagem rápida, modelagem paramétrica, design generativo, entre outros, oferecem novas vias para o pensamento de design. “No que diz respeito aos conceitos das teorias tradicionais de design, as implicações dessas transformações de modelos de pensamento de design digital têm implicações revolucionárias.” (OXMAN, 2006, p.262). Paula & Lima (2014) sugerem uma maior utilização das ferramentas digitais para estudos de suporte à concepção e metodologia de projeto. Os autores vislumbram um cenário em que as novas tecnologias de informação e comunicação já não se apresentam apenas como ferramentas de representação, mas são solicitadas em todas as fases projetuais, de maneira a contribuir para o processo de projeto dos alunos. A ênfase, segundo Smith *et al.* (2015), não deve ser relacionada às próprias tecnologias ou ao foco da produção de artefatos, mas à prototipagem rápida como ferramenta reflexiva e material para trabalhar com contextos sociais reais e complexos.

Porém, entre as muitas dificuldades em transpor tais tecnologias para o ensino acadêmico, Vasconcelos *et al.* (2014) apontam a eliminação de disciplinas focadas em matemática e física da grade curricular já que elas são responsáveis pelo conhecimento prévio dos estudantes em relação ao conteúdo teórico necessário para o uso destas ferramentas. A falta destas disciplinas é evidenciada pelo despreparo dos alunos ao utilizar determinadas ferramentas de desenho paramétrico, cujos parâmetros envolvidos utilizam modelos de cálculos. A decisão tomada pelos cursos acadêmicos se mostra contraditória, considerando que os planos de ensino vêm sendo reestruturados nos últimos anos, buscando atribuir competências aos estudantes para o reconhecimento das potencialidades das ferramentas digitais para a geração e controle da forma.

As novas tecnologias estão influenciando diretamente as práticas de ensino nas disciplinas de projeto. Para Vasconcelos *et al.* (2014), o emprego de determinadas atividades, tais como o desenho paramétrico, representa uma mudança de paradigma para a área de representação pois pensar a forma a partir de algoritmos não é o mesmo que através da linguagem gráfica e de procedimentos projetivos. Neste caso, fica claro o embate entre a abordagem tradicional e o ensino voltado ao uso das novas tecnologias. Ao considerar manter ambas abordagens na grade curricular, se faz necessário, neste caso, criar uma cultura que

ensine o potencial da parametrização de forma paralela ao ensino dos métodos tradicionais de forma a explorar exercícios cognitivos estabelecidos para cada método.

Para Pupo (2008), o currículo ideal é aquele que respeita a importância dos métodos de ensino de projeto, mas que também traz a tecnologia do computador, gradualmente para dentro de cursos já existentes como um catalisador na mudança de perspectivas nas áreas relevantes da metodologia e teoria de projeto. Araujo (2009), em seu artigo, identificou a inclusão dos recursos tecnológicos emergentes no ambiente acadêmico, assim como, a sua relevância. E afirma que, no caso do projeto de arquitetura, busca a integração do processo de ensino, pelos meios tradicionais e digitais, como também o envolvimento e a constante atualização metodológica dos educadores. Para isso, se faz necessário a participação de agentes corporativos, por intermédio de convênios, dando suporte e acesso aos equipamentos de impressão 2D e 3D, passando conhecimentos e experiências a comunidade acadêmica.

Ao longo deste capítulo foram apresentados os desafios em inserir as novas tecnologias, incluindo a impressão 3D, no ensino de design. As DCN pregam que as práticas pedagógicas e os métodos de ensino e aprendizagem devem ser inovadores, buscando uma formação sólida para os alunos, de modo que eles consigam superar os desafios através de um perfil que consiga se adaptar com as constantes mudanças relacionadas às práticas profissionais. As pesquisas relacionadas à aplicação da PR no PDP, no campo acadêmico, buscam por aprimoramento tecnológicos e a utilização de novas ferramentas nas atividades de pesquisa e desenvolvimento. Segundo os autores pesquisados, a PR demonstra ser uma ferramenta tecnológica capaz de fornecer aos alunos a habilidade em compreender a linguagem projetual utilizada nas indústrias, ampliar a noção espacial, permite implementar os projetos e com isso torna os alunos mais reflexivos e responsáveis por suas ações, elevar o interesse e a criatividade nas disciplinas de projetos. Logo, o uso da PR no ensino de design demonstra ser um grande ganho para o processo ensino-aprendizagem de design. Ao trazer os conceitos do construcionismo, com a formação do conhecimento associada à relação entre o projetar e o aprender, ter um ambiente de aprendizagem preparado para o uso das novas tecnologias se mostra essencial para incorporar a impressão 3D no ensino da prática projetual.

Com a chegada do equipamento de impressão 3D FDM no laboratório Nexus, do departamento de Design da UFPE, foi possível estruturar parte de um *makerspace* e poder realizar os próprios experimentos práticos, tirando as próprias conclusões, graças aos estudos realizados utilizando as novas tecnologias aplicadas no ensino de projeto em disciplinas acadêmicas. No entanto, Celani (2012) explica que a aquisição de máquinas controladas por

computador não é suficiente para transformar uma oficina em um laboratório de prototipagem rápida. A essência de um laboratório está na abordagem científica do trabalho experimental, que necessariamente inclui sistematização, uso de variáveis de controle, elaboração de conjecturas e documentação de todos os processos. Sendo assim, a pesquisa se preocupou em trazer a primeira parte do próximo capítulo, uma descrição detalhada dos experimentos pedagógicos realizados nas disciplinas de projeto com os alunos da UFPE. Nestas duas disciplinas, se buscou explorar o uso de representações físicas ao materializar as ideias através de processos cíclicos de análises formais utilizando a tecnologia de impressão 3D FDM. Logo depois, uma oficina de impressão 3D oferecida para crianças e adolescentes que nunca tiveram contato com ferramentas de modelagem digital. Por fim, um conjunto de entrevistas realizadas com profissionais, tanto do meio acadêmico como também de empresas, que serviram de base para traçar um breve panorama a respeito do uso e aplicações da impressão 3D e PR em projetos de design, desenvolvidos na cidade do Recife. Para cada uma das etapas serão apresentadas as metodologias utilizadas, as observações realizadas, assim como as análises e sínteses dos resultados obtidos.

5. EXPERIMENTOS PEDAGÓGICOS E COLETA DE DADOS

A tese se propõe a gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, o que, neste caso, a classifica como uma pesquisa aplicada, segundo Gerhardt *et al.* (2009). A pesquisa seguiu a linha exploratória, que segundo Cervo *et al.* (2007), se restringe a definir objetivos e buscar mais informações sobre determinado assunto de estudo. Para isso, o seu início foi a partir do levantamento bibliográfico do estado da arte, etapa fundamental para compreender o cenário atual das tecnologias, entender as potencialidades e eventuais limitações do uso das ferramentas de prototipagem rápida na prática profissional e no ensino acadêmico. Em meio a esses estudos, foi possível verificar relatos de diferentes formas de uso e aplicações das ferramentas em projetos de arquitetura e de design. Além disso, ter contato com as dificuldades e desafios relacionados a aplicação das novas tecnologias na prática e no ensino de design.

Para Niemeyer (1997), o design se trata de um planejamento o qual o designer tem como compromisso tanto a produtividade do processo de fabricação como a atualização tecnológica. Seguindo esta linha de pensamento, o presente trabalho também se propõe a estudar técnicas e ferramentas que promovam atualizações tecnológicas nas disciplinas de projetos e também realizar análises em relação aos possíveis ganhos de produtividade neste processo. Gomes (2004) complementa ao descrever que as habilidades do designer estão tanto nas técnicas e processos que utiliza como metodologia, quanto na capacidade de gerar conhecimento, transformar o contexto e projetar novas soluções para diferentes problemas de forma criativa.

Entretanto, apesar da abordagem se basear nas mudanças referentes ao avanço tecnológico dos processos de prototipagem, não se trata apenas de um desafio técnico ao implementar determinadas ferramentas no ensino acadêmico. Um dos diferenciais da tese é analisar e apontar as dificuldades em relação à utilização da prototipagem rápida, através de impressoras 3D *open source* por FDM, e como o uso desta ferramenta se comporta ao ser empregada no ensino do processo projetual. Como o objetivo requer o estudo da impressão 3D no ensino de design, umas das preocupações foi, justamente, poder verificar na prática os benefícios e os impedimentos da inserção da ferramenta em disciplinas projetuais, avaliar o seu desempenho durante as aulas e como ela se comporta em um cenário real de uma disciplina. Desta forma, os experimentos realizados buscam constatar ou contestar as informações previamente apresentadas na etapa de fundamentação teórica deste trabalho.

Para este trabalho, a pesquisa exploratória se mostrou como sendo a mais adequada pois, segundo Prodanov & Freitas (2013), ela tem como objetivo proporcionar mais informações sobre o assunto a ser investigado, proporcionando maior familiaridade com o problema de modo a torná-lo mais explícito. Para isso, os mesmos autores também explicam que a grande maioria das pesquisas exploratórias envolvem: levantamento bibliográfico; análise de exemplos que estimulem a compreensão; e entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado. Assim sendo, para a etapa de experimentos, esta pesquisa se propõe a apresentar e discutir os resultados de duas disciplinas que utilizaram impressão 3D no desenvolvimento de projetos. Ambas foram oferecidas no Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco, a primeira foi realizada durante o primeiro semestre de 2016, em parceria com o curso de Licenciatura em Expressão Gráfica e contou com alunos de diversos cursos. A segunda foi ofertada no segundo semestre de 2016, para os alunos de graduação no curso de Bacharelado em Design. Neste capítulo, serão apresentadas as estruturas das disciplinas, os exercícios realizados, os critérios de avaliação dos experimentos. Ao final da apresentação de cada disciplina, serão apresentados e discutidos questionários aplicados junto aos alunos em relação às disciplinas oferecidas e também ao uso da ferramenta de impressão 3D na execução dos projetos.

A pesquisa também contou com uma oficina, disponibilizada para adolescentes da comunidade do município de Vitória de Santo Antão, interior do estado de Pernambuco, e jovens menores de idade em conflito com a lei integrantes da Fundação de Atendimento Socioeducativo (Funase). Com isso, este experimento se diferenciou dos demais por trabalhar com alunos que não fazem parte do ensino universitário, com uma faixa etária entre 12 a 18 anos que não possuem conhecimento prévio de projeto de produto, modelagem tridimensional e impressão 3D.

Logo após as disciplinas e a oficina, será apresentado um apanhado de entrevistas que contam com a opinião de profissionais, tanto da área acadêmica quanto da empresarial, em relação a experiência de cada um quanto ao uso da ferramenta de impressão 3D no processo projetual de design. Ao cruzar e comparar as opiniões destes profissionais, espera-se compreender um pouco melhor os campos de atuação, diferentes usos da ferramenta e as formas que está sendo empregada a tecnologia de impressão 3D nas diversas etapas dos projetos que estão sendo desenvolvidos na cidade do Recife.

Por fim, realizar uma análise geral de todos os resultados obtidos, através dos experimentos e entrevistas, para identificar as vantagens e limitações da inserção da tecnologia

de impressão 3D FDM no processo de materialização de ideias e indicar recomendações de como aplica-la no ensino de projeto de design.

5.1. DISCIPLINA I

A disciplina de prototipagem rápida aplicada a projetos aconteceu no primeiro semestre de 2016 no curso de Licenciatura em Expressão Gráfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A primeira proposta de experimento do uso da impressora 3D dentro de uma disciplina de projeto surgiu através da parceria interdisciplinar entre os cursos de Design e Expressão Gráfica, ambos do Centro de Artes e Comunicação (CAC) da UFPE. A professora Letícia Mendes e o professor Pedro Alessio, ambos do Departamento de Expressão Gráfica, tinham interesse em montar uma disciplina acadêmica que utilizasse as tecnologias de prototipagem rápida como ferramentas de suporte ao processo projetual. A disciplina também contou com a participação de Eduarda Rabelo, ex-aluna, formada em Licenciatura em Expressão Gráfica pela UFPE. Além dos alunos de Expressão Gráfica, a disciplina foi aberta também aos cursos de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo, Design e Engenharias.

Após algumas reuniões de planejamento, foi acertado que a disciplina trabalharia com um único projeto ao longo de todo semestre. Outro requisito estabelecido foi o de adotar a Aprendizagem Baseada em Desafios (*Challenge Based Learning, CBL*)¹⁹, metodologia de aprendizagem colaborativa na qual os professores e alunos atuam como tutores e aprendizes trabalhando conjuntamente sobre um determinado desafio comum. Ela foi escolhida por ser um método de motivação educacional centrada no estudante que propõe temas e desafios baseados em problemas reais e nos interesses e perspectivas dos alunos. Um dos aperfeiçoamentos do CBL em relação aos métodos de ensino focado em problemas é que os problemas propostos pelos professores podem não fazer parte dos interesses dos alunos. Logo, o método focado em desafios e não em problemas estimula o aluno a buscar um problema que esteja no escopo e contexto que o interessa.

A metodologia CBL começa com a definição de uma grande ideia (*big idea*), um conceito amplo que pode ser explorado de várias maneiras, tem como objetivo ser envolvente e ter grande importância para os alunos. Para esta disciplina, a grande ideia, estabelecida pelos professores, foi a palavra brincar. Logo na primeira atividade, os alunos foram responsáveis por formar grupos e escolher um outro conceito a ser associado com a grande ideia. Para isso, foi

¹⁹ Disponível em: <<http://www.challengebasedlearning.org/pages/about-cbl>>. Acesso em 1 de abril de 2016.

realizado um *brainstorm* com toda a turma para sugerir diferentes conceitos. Depois de gerar diversas ideias, as alternativas foram reduzidas a 6 diferentes conceitos os quais dividiram a turma em pequenos grupos. As palavras selecionadas foram: animais, carnaval, gastronomia, inclusão, música e saúde. Cada grupo ficou responsável em criar um artefato a partir da combinação da palavra brincar (grande ideia) com o segundo conceito escolhido pelo grupo. As ideias criadas pelos grupos foram sendo refinadas através de reuniões com os professores e apresentações para toda a turma.

A estrutura da disciplina adotou o método em que os alunos aprendem a projetar através da própria execução de projetos. O método escolhido foi devido a disciplina ter um caráter majoritariamente prático, apesar de também contar com algumas aulas teóricas. Ele é baseado em Bonsiepe *et al.* (1984) que afirmam que entre as diversas formas de ensinar projeto, destacam-se três:

- **O método de abandono à própria sorte:** nesse caso, o aluno recebe todas as informações técnicas, econômicas, culturais, etc., ficando com a tarefa de assimilá-las e transformá-las num projeto. O docente limita a sua participação a uma ocasional visita na sala de projeto;

- **O método de osmose:** esse funciona na presença de um grã-mestre, ao qual o aluno trata de copiar. Neste caso, os autores afirmam que tanto a crítica quanto a autonomia dificilmente podem se desenvolver num ambiente desse tipo;

- **O método baseado na hipótese de que a melhor forma de aprender a projetar é projetar mesmo:** utiliza-se, nesse caso, um método de diálogo. Para os autores, o docente perde a responsabilidade de saber tudo. Ele expõe a sua situação de não saber a solução previamente, colocando-se ao mesmo nível do aluno, participando diretamente nas tentativas de resolver um problema.

Quanto ao acompanhamento dos professores nesta disciplina foi adotado o modelo guia, acompanhando o desenvolvimento dos trabalhos dos alunos, ajudando a solucionar eventuais dúvidas e intervindo pontualmente através da divisão em tarefas semanais com apresentações e discussões das etapas do projeto. Bonsiepe *et al.* (1984) classificam o ensino do projeto de produto de acordo com três enfoques diferentes:

- **O modelo bengala:** o docente ajuda o aluno a ir em frente. Proporciona a maior parte das informações técnicas, pré-estruturando o campo no qual deve buscar uma solução;

- **O modelo guia:** o docente orienta o aluno que já se move com uma maior autonomia, interferindo só ocasionalmente no processo;

• **O modelo consultor:** o docente acompanha a marcha livre do aluno, limitando sua função a uma intervenção crítica ocasional.

O método de acompanhamento adotado junto à metodologia CBL resultou tanto em professores e alunos com voz ativa nos comentários, sugestões e decisões, reforçando o caráter misto de tutores e aprendizes a todos os participantes da disciplina. As discussões ao final de cada apresentação semanal contribuíam para os grupos refinarem cada vez mais as ideias de seus projetos em conjunto com estudos e resultados obtidos através do desenvolvimento de protótipos.

5.1.1. O uso das ferramentas de representação na disciplina

Segundo Paula *et al.* (2014), atualmente, a produção de maquetes híbridas como processo de concepção, desenvolvimento e apresentação de projetos, não se resumem apenas ao universo profissional como também já podem ser verificados no âmbito acadêmico. Da mesma forma, ao longo de toda a disciplina, os alunos foram estimulados a utilizar variadas ferramentas de representação como suporte à geração de ideias, refinamento formal, soluções projetuais e validação do projeto. Grande parte dos alunos utilizaram esboços e modelos físicos feitos de forma manual, modelos digitais em CAD, modelos físicos materializados através do corte à laser e também de impressão 3D, que podem ser vistos através de alguns exemplos mostrados na figura 17. Os professores incentivavam a utilizar qualquer material, técnica ou ferramenta que pudesse auxiliar os alunos a compreender melhor as etapas do processo projetual em busca da solução para o problema proposto.

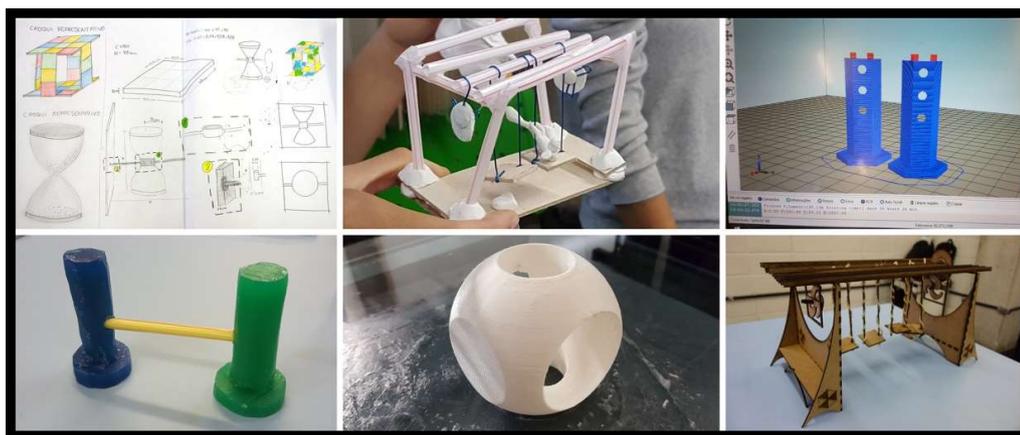


Figura 17: Representações dos projetos dos alunos utilizando diferentes técnicas. (Fonte: elaborada pelo autor).

Em relação ao ensino do uso de *softwares*, para auxiliar na criação dos modelos digitais, foram realizadas aulas técnicas com oficinas de 123D Make, da Autodesk voltada à criação de

arquivos para a ferramenta de corte à laser, conforme mostra a figura 18, e Rhinoceros, da Robert McNeel & Associates para criar os modelos digitais tridimensionais. Apesar das oficinas terem trabalhado apenas com estes *softwares*, não foi cobrado dos alunos a obrigatoriedade em utilizar algum deles ao longo da disciplina. Eles foram apenas sugeridos e cabia ao aluno escolher quais os *softwares* mais adequados às suas necessidades e desenvolvimento dos projetos. Desta forma, os alunos também seriam responsáveis pelo aprendizado e eventual aprofundamento na utilização dos *softwares* escolhidos.



Figura 18: Oficina para aprender a utilizar o *software* 123D Make. (Fonte: elaborada pelo autor).

Quanto às ferramentas de prototipagem rápida, a disciplina contava apenas com uma impressora Sethi3D modelo BB. Ela é fabricada por uma empresa brasileira e utiliza o método de impressão 3D por FDM, a partir de filamentos PLA de 1,75mm com saída do bico extrusor de 0,4mm. Ela possui resolução ajustável de 0.1mm a 0.3mm (altura da camada) e a sua área de impressão é de 400mm x 400mm x 400mm. Para o gerenciamento de impressão, o fabricante recomendava, no período da disciplina, o *software* livre Repetier²⁰ (hoje ele recomenda utilizar o Simplify 3D, que é pago). A impressora conta com um manual de instalação e configuração tanto da impressora quanto do *software* para conseguir fatiar e imprimir os arquivos digitais.

A vantagem em se trabalhar com uma impressora *open source* é que tanto o *hardware* quanto o *software* permitem diferentes configurações, criando um amplo leque de configurações, permitindo alterar diversas características que acabam influenciando os resultados das impressões. Nas configurações referentes à impressora é possível ajustar, por exemplo, temperatura do bico extrusor, distância do bico em relação à mesa, velocidade de retração, diferentes velocidades de impressão (base, borda, preenchimento e topo do modelo),

²⁰ Disponível em: < <https://www.repetier.com/>>. Acesso em 29 de junho de 2017.

velocidade da ventoinha para resfriamento do bico, etc. Nos ajustes do modelo a ser impresso diversas características também podem ser modificadas, por exemplo, espessura das camadas (base borda, preenchimento e topo do modelo), diferentes padrões de preenchimento (retilíneo, circular, cruzado, hexagonal, etc.), com ou sem saia, com ou sem suporte, entre outros.

O ponto negativo em ter tantas opções é a confusão e dificuldade para quem está começando a utilizar a impressora 3D. São muitos parâmetros de ajustes e quando não se consegue o resultado esperado é muito difícil saber o que foi configurado de forma errada ou o que é preciso ser alterado para melhorar a qualidade da impressão. Em alguns experimentos realizados foram utilizadas impressoras de mesmo fabricante, mesmo modelo, imprimindo o mesmo arquivo com as mesmas configurações (tanto da impressora quanto do *software* de fatiamento/ impressão) e que produziram modelos com acabamentos diferentes, conforme pode ser visto na figura 19, o que demonstra a influência de outros fatores externos que também alteram o resultado final.



Figura 19: Diferentes resultados de acabamento utilizando impressoras de mesmo modelo com as mesmas configurações. (Fonte: elaborada pelo autor²¹).

Por se tratar de um equipamento recém-adquirido, os professores foram aos poucos se familiarizando com a impressora 3D e o seu *software* de fatiamento e gerenciamento de impressão ao longo das aulas. As dificuldades foram tantas que, no início, um dos grandes desafios era conseguir ajustar a distância do bico extrusor em relação à mesa de modo que o filamento conseguisse ficar grudado na base sem precisar aplicar uma grande quantidade de cola bastão. A figura 20 mostra diferentes tentativas em conseguir imprimir um mesmo modelo para conseguir obter o resultado desejado. Hoje, para efeito comparativo, as impressoras estão

²¹ Modelo impresso a partir do arquivo disponível em <<https://www.thingiverse.com/thing:287978>>

bem configuradas e praticamente não se utiliza cola na base a não ser uma camada muito fina para deixar o vidro um pouco mais áspero. Mas na época da disciplina foi muito complicado conseguir acertar este e diversos outros ajustes de modo a conseguir bons resultados na impressão.



Figura 20: Diversas tentativas de impressão para conseguir o resultado esperado (modelo à direita). (Fonte: elaborada pelo autor²²).

No decorrer da disciplina, o que foi observado é que não existe um ajuste padrão para as configurações do *software* de fatiamento, gerenciamento de impressão e da impressora 3D. Existe um perfil básico criado de forma a atender de maneira razoável grande parte da demanda de materialização dos modelos, mas o ideal é regular de acordo com cada arquivo, buscando aprimorar um grau cada vez maior de acabamento com um menor tempo de impressão. O que também pode variar de acordo com os resultados que se busca para as diferentes aplicações dos modelos físicos ao longo das etapas do projeto como, por exemplo, tamanho do modelo, rigidez, complexidade, maior ou menor fidelidade, etc.

Nesta disciplina, os alunos foram atendidos em uma espécie de birô de serviços onde traziam os seus arquivos digitais que, posteriormente, eram entregues já impressos a eles. Desta forma, os alunos, apesar de acompanharem as impressões ao longo das aulas, acabaram não aprendendo a mexer e configurar a impressora 3D durante a disciplina.

Vale lembrar que uma parte da disciplina foi dedicada também ao corte à laser. Na época, por não contar com esta ferramenta disponível dentro da própria universidade, foi preciso estabelecer uma parceria com o FabLab Recife, localizado no bairro do Recife Antigo, para que os alunos pudessem realizar os cortes de suas peças. O modelo da máquina de corte à

²² Modelo impresso a partir do arquivo disponível em <<https://www.thingiverse.com/thing:860156>>

laser é TR-6040, fabricada pela empresa Triumph. Apesar de terem sido oferecidas oficinas dedicadas ao ensino do uso do *software*, assim como aulas específicas para a preparação dos arquivos e para tirar dúvidas, muitos alunos tiveram dificuldades ou problemas de compatibilidade de seus modelos digitais no envio para a máquina de corte à laser. Com isso, muitos tiveram atrasos no desenvolvimento de seus projetos até conseguirem corrigir os arquivos e finalmente poder cortar os seus modelos.

5.1.2. Observações a respeito da disciplina I

Alguns conhecimentos foram adquiridos de forma empírica, através de observações de acontecimentos ocorridos ao longo de todo o semestre, tanto no preparo e execução das aulas, dificuldade no uso das ferramentas (sejam pelos alunos ou pelos próprios professores), como também em relação ao comportamento e desempenho dos alunos na resolução dos projetos. Neste caso, as próximas observações se baseiam no método hipotético-indutivo que, segundo a explicação de Gerhardt *et al.* (2009), tem a sua construção a partir da observação, sendo o seu indicador de natureza empírica. E a partir dela, constroem-se novos conceitos e modelos que serão submetidos à prova dos fatos.

Entre as observações é possível destacar que a impressão 3D de modelos físicos, durante as aulas, foi bastante conturbada pela inexperiência dos professores em relação a seus ajustes e, conseqüentemente, dificuldade em não saber reduzir o tempo de materialização de cada arquivo, levando muito tempo para concluir cada peça. A previsão do tempo estimado de impressão também apresentava bastante diferença entre o indicado pelo *software* e o tempo real, sempre levando muito mais tempo para o término. Uma curiosidade é que as versões dos *softwares* Slicer e Repetier (utilizados para fatiamento e gerenciamento de impressão respectivamente) para Windows apresentava uma margem de erro menor do que a sua versão para Mac OS. De todo modo, ambos erravam o tempo previsto, prejudicando um planejamento melhor das impressões e organização da fila de arquivos no decorrer das aulas.

Ainda a respeito da impressão 3D, com o passar do tempo, a dificuldade em conseguir imprimir os modelos foi diminuindo por ganhar mais experiência no uso do *software* e do equipamento. No entanto, ainda existe uma dificuldade e diferença muito grande em simplesmente materializar um arquivo digital e obter exatamente o resultado desejado. Mais uma vez, vale reforçar que a ampla gama de opções no gerenciamento de impressão em equipamentos *open source* acaba resultando em uma liberdade maior nas configurações, em

contrapartida, acarreta em um grande problema em saber identificar qual parâmetro deve ser ajustado para conseguir o resultado inicialmente pretendido.

Em relação às dificuldades observadas nos alunos, no decorrer do semestre, foi possível verificar a falta de experiência em relação ao uso de protótipos ao longo do processo projetual. Os alunos não conseguiram explorar o uso de diferentes protótipos utilizando baixa e alta fidelidade de acordo com as diferentes etapas do projeto, o que acarretou numa grande demanda de tempo para desenvolver os modelos iniciais. Por sua vez, por eles terem gasto muito tempo e esforço em elaborar os primeiros modelos, não foram desenvolvidos muitos estudos e variações de soluções dos projetos. Alguns alunos também se limitaram a utilizar apenas o computador a geração de estudos, ficando restritos apenas ao raciocínio projetual através das representações digitais por meio de *softwares* CAD, o que acabou limitando alguns grupos a utilizarem outras técnicas e ferramentas nas etapas criativas do projeto.

Apesar da geração de modelos de estudos como ferramenta auxiliar no processo projetual ser um pré-requisito da disciplina, os alunos acabaram passando boa parte das aulas trabalhando em arquivos digitais, seja pela facilidade e praticidade no uso da ferramenta como também um pouco de resistência e bloqueio frente às novas ferramentas apresentadas. Possivelmente o bloqueio em relação à ferramenta de impressão 3D foi devido à dificuldade no seu manuseio e demora na materialização das peças e o corte à laser pela dificuldade do acesso já que não era possível utilizá-la dentro da própria universidade.



Figura 21: Projetos finais da disciplina feitos com corte à laser. (Fonte: elaborada pelo autor).

No entanto, mesmo com a dificuldade de acesso ao equipamento, grande parte dos grupos desenvolveram os seus modelos finais utilizando a ferramenta de corte à laser, conforme pode ser visto na figura 21. A facilidade no aprendizado, familiaridade, domínio e confiabilidade dos resultados da ferramenta certamente contribuíram no maior emprego da ferramenta na execução dos resultados finais. A impressão 3D foi utilizada apenas em poucos modelos que foram feitos mais pela obrigatoriedade da disciplina do que por serventia prática real nos processos projetuais.

A baixa produção de modelos físicos indica tanto dificuldade técnica, quanto falta de acessibilidade aos equipamentos de prototipagem rápida. Além disso, muitos alunos ainda têm a visão de que os modelos físicos servem apenas para a etapa final e se resume a ilustrar apenas o visual e a aparência do projeto. O que, neste caso, apenas reforça a percepção ultrapassada do uso de protótipos voltados apenas ao aspecto estético e como recurso visual de apresentação do projeto já finalizado.

Durante as aulas, os alunos também demonstraram falta de interesse em explorar melhor a etapa de geração de alternativas através de uma variação maior dos estudos, diferentes propostas, retroalimentação e reestudos em busca de soluções aos problemas projetuais. Além de se contentarem logo com as primeiras ideias que surgem, poucos promoveram testes de validação do projeto como aspecto de solução de um determinado problema apenas para refinar aspectos estéticos da forma original. Com isso, todos os grupos acabaram apresentando um número muito reduzido de geração de alternativas (independente do método de representação utilizado) e o resultado final pouco se difere dos estudos iniciais.

Os poucos modelos físicos gerados também apresentaram dificuldades em explorar o potencial de cada ferramenta e seus materiais. Muitos tentaram obter formas ou modelos incompatíveis com as ferramentas utilizadas não respeitando a limitação das mesmas, o que ocorreu aparentemente por falta de experiência em seu uso e acabou agravando, de certa forma, o estímulo ao utilizá-las de forma mais ampla ao longo do projeto. Alguns alunos, por exemplo, acabaram imprimindo, em 3D ou cortando à laser, determinados objetos que poderiam ser obtidos de maneira mais fácil e prática através de outras técnicas e/ou ferramentas. São estudos válidos como experimentação da forma ou até mesmo em testar os limites das ferramentas. Mas para efeito prático, poderiam pensar em soluções mais rápidas e eficientes. Por exemplo, os projetos precisaram de um objeto em forma de um cilindro. Ao invés de construí-lo nas ferramentas de corte à laser ou impressão 3D, poderia simplesmente ter utilizado um rolo de papel ou qualquer outro material similar, conforme mostra a figura 22. Neste caso, fica claro

que não basta simplesmente inserir uma nova tecnologia em sala de aula se não existir um preparo de como explorar melhor o uso destas ferramentas.



Figura 22: Cilindro feito a partir das tecnologias de corte à laser (esquerda), impressão 3D (centro) e um simples rolo de papel (direita). (Fonte: elaborada pelo autor).

Os alunos também tiveram dificuldade em elaborar maquetes híbridas, deixando de integrar diferentes técnicas, ferramentas e materiais em um mesmo modelo. Os modelos físicos acabaram sendo feitos em sua totalidade por uma única ferramenta, conforme visto na figura 21, sendo que poderiam ter explorado o que cada uma faz de maneira mais fácil e melhor e integrar com as outras na busca de uma otimização do processo.

5.1.3. Os questionários aplicados - disciplina I

De forma a avaliar os alunos, através de recursos mais científicos e embasados do que simplesmente a abordagem empírica, a disciplina também contou com um questionário de avaliação aplicado ao final da disciplina. Do ponto de vista metodológico, a tese utiliza o procedimento de pesquisa de campo, utilizando a pesquisa-ação que, segundo Prodanov & Freitas (2013), pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada. Na etapa anterior, foi possível verificar uma série de conhecimentos, provenientes da participação do pesquisador, que serão o substrato para a realização da sua análise reflexiva sobre a realidade e os elementos que a integram. Para Gerhardt *et al.* (2009), a reflexão sobre a prática implica em modificações no conhecimento do pesquisador.

A seguir, serão apresentados os resultados dos questionários aplicados aos alunos cruzando com as observações realizadas anteriormente, com o objetivo de validar as informações e até mesmo obter novos dados que poderão promover estudos futuros. O

questionário aplicado é uma importante ferramenta para documentar e analisar o ponto de vista dos alunos em relação ao conteúdo das aulas e também conhecer a percepção deles frente ao uso das ferramentas de prototipagem rápida utilizadas durante a disciplina.

A análise dos dados coletados se baseia na pesquisa qualitativa, ou seja, não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de informações que, segundo Gerhardt *et al.* (2009), buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos e se valem de diferentes abordagens.

O questionário foi elaborado utilizando questões mistas, alternando entre a seleção de alternativas e outras dissertativas com campos para preenchimento das respostas. Foi aplicado apenas um modelo de questionário sendo o conteúdo e a ordem das perguntas as mesmas para todos os alunos. Deste modo fica mais fácil coletar e cruzar as informações obtidas. Todos os questionários foram reunidos, suas respostas foram transcritas e agrupadas em uma compilação de respostas que podem ser examinadas nos anexos (apêndice I) deste trabalho.

Após a coleta, os questionários passaram por uma etapa de pré-análise e tratamento de seus dados. O processo utilizado para a análise dos dados foi baseado na técnica de análise de conteúdo. Do ponto de vista operacional, as informações transcritas dos questionários passaram por uma análise temática, estabelecendo relações de seus conceitos representados graficamente a partir do agrupamento das respostas através de um feixe de relações de suas palavras, frases ou resumos. Os resultados obtidos serão apresentados a seguir através de descrições e gráficos destacando algumas de suas informações.

5.1.4. Análise dos resultados dos questionários - disciplina I

Dos 23 alunos que participaram da disciplina e responderam o questionário, 11 deles faziam parte do curso de Licenciatura em Expressão Gráfica, 11 alunos eram do curso de Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo e apenas 1 era aluno do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, conforme pode ser visto no gráfico 1. A disciplina não contou com nenhum aluno dos dois primeiros semestres de seus cursos e também, apesar de ter sido oferecida, não teve nenhum aluno matriculado do curso de Bacharelado em Design. O perfil da turma foi composto por alunos que já cursavam os semestres intermediários e a outra metade já estava nos semestres finais de seus cursos, também mostrado no gráfico 1.

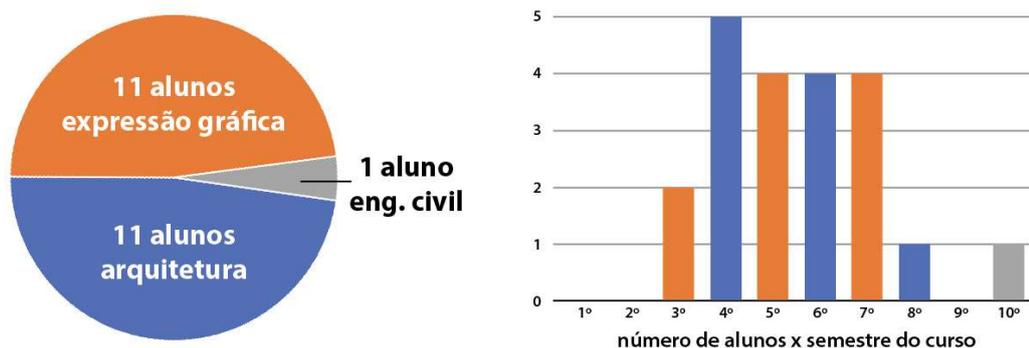


Gráfico 1: Qual o curso e em qual semestre estão os alunos da disciplina? (Fonte: elaborado pelo autor).

Em relação às técnicas de prototipagem rápida, antes de cursar a disciplina, 2 alunos já conheciam apenas o corte à laser, 5 alunos conheciam apenas a impressão 3D, 13 alunos conheciam as duas e apenas 3 não conheciam nenhuma delas, conforme mostra o gráfico 2. Importante destacar que o fato de conhecer não necessariamente demonstra habilidade em manusear as ferramentas, o que pode ser verificado na disciplina pela dificuldade dos alunos em utilizar o corte à laser ou mesmo a impressora 3D. Mais importante do que saber operá-las, é o conhecimento de como projetar utilizando estas ferramentas, habilidade a qual não foi identificada nos alunos ao longo do semestre. Quanto aos *softwares* de modelagem 3D, 19 alunos já conheciam pelo menos um, enquanto 4 nunca haviam utilizado nenhum deles antes de cursar a disciplina. O mais utilizado foi o SketchUp (15 alunos), seguido do AutoCAD 3D (6 alunos), e empatados o Rhinoceros e o Revit com 2 alunos cada e o Artlandis e o ArchiCAD com 1 aluno cada, apresentados no gráfico 2.

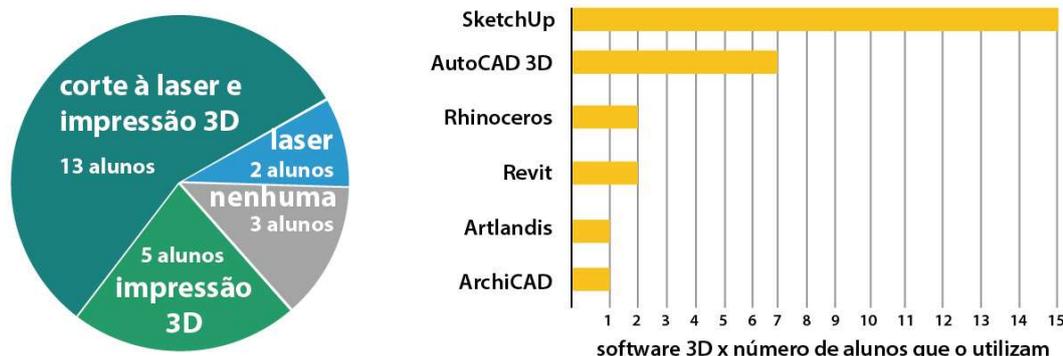


Gráfico 2: Quais ferramentas os alunos já conheciam antes da disciplina. (Fonte: elaborado pelo autor).

Sobre o uso das técnicas de corte à laser e impressão 3D, 11 alunos responderam que elas ajudaram na etapa de geração de ideias. Entre eles, 7 afirmaram que as ferramentas

auxiliaram nas soluções de possíveis problemas e melhorias para o projeto, 3 disseram que ajudou nos estudos da construção do produto e apenas 1 relatou que auxiliou na definição da forma. Para os 12 alunos que responderam que elas não ajudaram, 7 deles preferiram utilizar outras formas de representação, 3 utilizaram apenas para a forma final do produto e 2 não responderam o motivo. Uma imagem comparativa das respostas, assim como suas devidas argumentações podem ser vistas no gráfico 3. A turma se mostrou bastante dividida em relação ao auxílio do corte à laser para a fase de ideação. Segundo os resultados alcançados, metade da turma não se sentiu à vontade com o uso das ferramentas de prototipagem rápida, seja o corte à laser ou a impressão 3D. Da mesma forma como uma pequena parcela, mesmo tendo cursado a disciplina, utilizou tais ferramentas apenas para a concepção final do projeto.

O uso do corte à laser e impressão 3D ajudou na etapa de geração de ideias?



Gráfico 3: Contribuição da prototipagem rápida na geração de ideias. (Fonte: elaborado pelo autor).

Ainda em relação ao uso das técnicas de corte à laser e impressão 3D, 19 alunos responderam que as ferramentas ajudaram na etapa de criação do protótipo. 3 alunos responderam que não. Dos que responderam que elas ajudam, 12 alunos afirmam que elas contribuem com a etapa de testagem e verificação da funcionalidade do protótipo. Para 3 alunos, elas contribuem auxiliando na percepção formal do protótipo, em aspectos como escala, por exemplo. E para 2 alunos, as ferramentas contribuem no processo de acabamento por ter uma precisão maior do que os processos manuais de modelagem. Os que responderam não acabaram não apresentando argumentos relevantes, mas as respostas podem ser conferidas na etapa de anexos deste trabalho (apêndice I). A imagem comparativa mostrando seus resultados e comparações podem ser conferidas no gráfico 4. Ao confrontar os resultados do gráfico 4 com o gráfico 3 é interessante notar que mesmo com metade da turma sem acreditar na prototipagem rápida como ferramenta de suporte à geração de ideias, a grande maioria da turma afirma que elas ajudam na criação de protótipos. O leva a refletir de que o maior bloqueio não está no uso

das ferramentas de prototipagem rápida, mas possivelmente na dificuldade em utilizá-las de maneira eficiente na etapa de ideação.

O uso do corte à laser e impressão 3D ajudou na etapa da criação do protótipo?

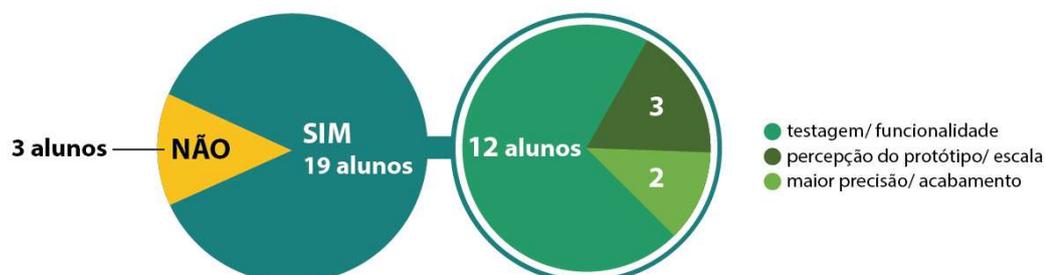


Gráfico 4: Contribuição da prototipagem rápida na criação do protótipo. (Fonte: elaborado pelo autor).

Os alunos também foram questionados em relação à dificuldade em modelar utilizando diversas técnicas e ferramentas. No processo manual de modelagem (tradicional), conforme mostra o gráfico 5, 4 alunos tiveram dificuldades em encontrar materiais adequados, 4 alunos criticaram a falta de habilidade no processo, 3 alunos não gostam da falta de precisão, seja no aspecto funcional ou estético, 3 alunos criticam a complexidade em ter que modelar algo em escala. Apenas 3 alunos disseram que não tiveram dificuldade nenhuma ao usar a técnica de modelagem manual.

Quais as maiores dificuldades em relação à modelagem manual?



Gráfico 5: Dificuldades dos alunos em relação à modelagem manual. (Fonte: elaborado pelo autor).

Em relação aos *softwares* de modelagem 3D, 14 alunos criticaram a dificuldade em dominar as ferramentas, 4 alunos tiveram problemas de compatibilidade ao exportar os arquivos entre diferentes programas, apenas 1 aluno reclamou que o uso das ferramentas digitais

restringe o processo criativo e 1 aluno teve dificuldades em relação ao ajuste de escala, conforme pode ser visto no gráfico 6. Neste caso vale retomar as informações apresentadas no gráfico 2 as quais indicam que boa parte da turma afirmou que já sabia utilizar algum *software* de modelagem 3D. Ao comparar os resultados dos gráficos 5 e 6 é possível notar que a dificuldade em relação a modelagem está diretamente ligada ao domínio da técnica e ou ferramenta, seja ela manual ou digital. O uso cada vez mais intenso de computadores no ensino acadêmico acarreta na mudança no processo de ensino-aprendizagem. Disciplinas e espaços baseados no aprendizado de atividades práticas de modelagem manual estão perdendo força e até mesmo deixando de existir em alguns cursos. A pequena quantidade de alunos que não demonstraram dificuldade alguma na prática de modelagem manual acaba refletindo essa mudança. Em relação à modelagem digital, vale retomar os resultados do gráfico 2, o qual mostra que grande parte da turma já conhecia algum *software* de modelagem 3D. No entanto, ter uma base de conhecimento em um *software* de uma determinada empresa, por maior que seja a habilidade com as suas ferramentas, não necessariamente torna mais fácil a utilização de outros *softwares* de modelagem 3D, o que leva o aluno a um processo de um reaprendizado caso queira ou precise utilizar diferentes opções. A quantidade de alunos que relataram a dificuldade em dominar o uso de *software* de modelagem digital aponta uma das grandes barreiras em querer utilizar ferramentas digitais nas disciplinas de projeto. A falta de habilidade na utilização destes *softwares* pode limitar ou mesmo comprometer o desempenho dos alunos na execução de seus projetos.

Quais as maiores dificuldades em relação à modelagem digital?

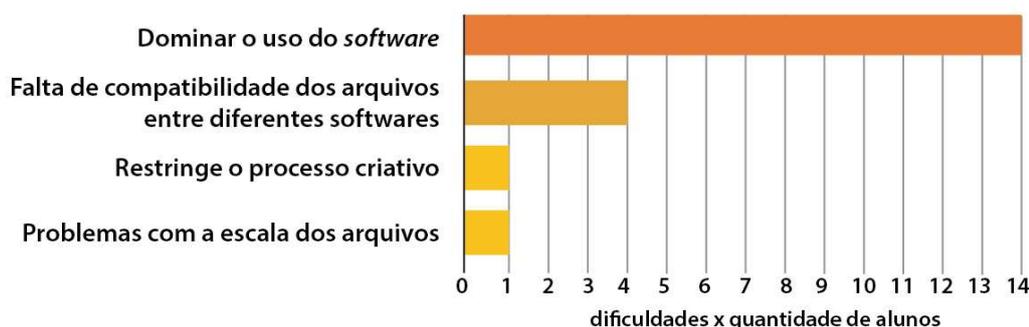


Gráfico 6: Dificuldades dos alunos em relação à modelagem digital. (Fonte: elaborado pelo autor).

Entre as dificuldades em relação ao uso do corte à laser, conforme apresentado no gráfico 7, o que mais se destaca são os problemas de compatibilidade dos arquivos gerados com

o *software* da máquina (6 alunos citaram esse problema), seguido da dificuldade em gerar o arquivo de corte corretamente (5 alunos), e a dificuldade em operar o *software* na elaboração do arquivo (1 aluno). Apenas 1 aluno relatou que não teve problema algum. Apesar da quantidade de alunos que demonstraram dificuldade em utilizar a cortadora à laser, os problemas estão quase todos relacionados a parte operacional da máquina e que consiste em algo fácil de ser resolvido. Considerando o uso específico de um equipamento de corte à laser, basta desenvolver um tutorial demonstrando o manuseio do equipamento através de um passo a passo, o que já resolveria quase todas as dificuldades relatadas.

Quais as maiores dificuldades em relação ao corte à laser?

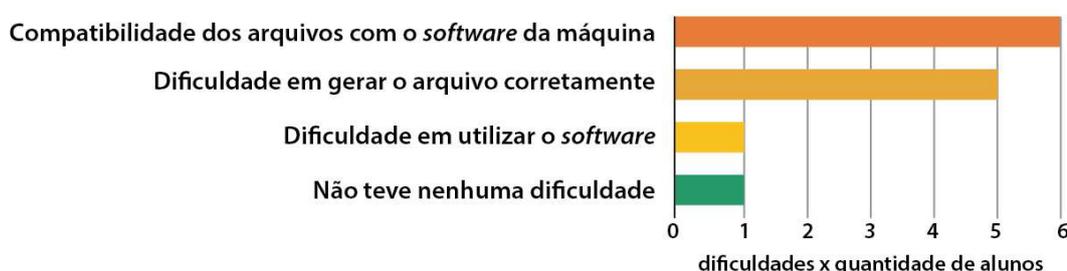


Gráfico 7: Dificuldades dos alunos em relação ao corte à laser. (Fonte: elaborado pelo autor).

Quais as maiores dificuldades em relação à impressão 3D?

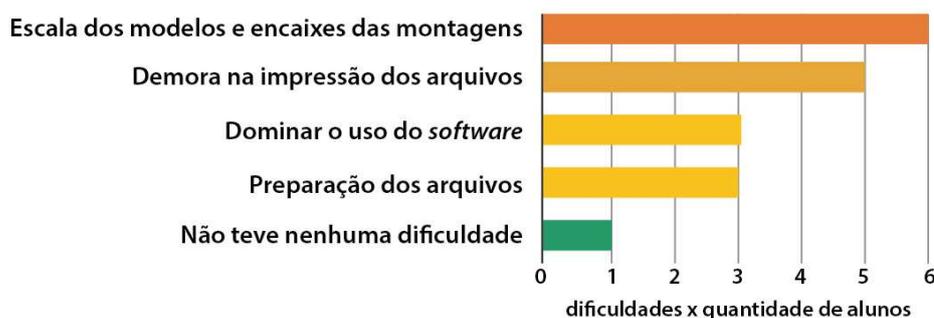


Gráfico 8: Dificuldades dos alunos em relação à impressão 3D. (Fonte: elaborado pelo autor).

No caso da impressão 3D, as dificuldades que mais se destacaram, conforme mostra o gráfico 8, são: os problemas com a escala dos modelos e dificuldade nos encaixes das montagens (6 alunos), demora na impressão dos arquivos (5 alunos), dominar o uso do *software* (3 alunos) e preparação dos arquivos (3 alunos). Assim como aconteceu no corte à laser, apenas 1 aluno relatou que não teve problema algum. Diferente do corte à laser, os problemas relatados

da impressão 3D consistem em um maior aprendizado por parte dos alunos em relação ao *hardware* e ao *software* do equipamento. Para se obter um melhor desempenho da impressora, é preciso aprender a ajustar e manusear o equipamento. Além disso, também é preciso aprender a configurar e operar os *softwares* de modelagem e de impressão.

Buscando verificar se a experiência dos alunos foi positiva ou não, eles foram questionados em relação ao uso da impressão 3D em seus futuros projetos. 14 alunos responderam que voltariam a utilizar a impressão 3D. 9 afirmaram que é uma ferramenta que auxilia a compreender melhor a forma, volumetria e encaixes do projeto que está sendo desenvolvido. 1 aluno disse que a impressão 3D auxilia em novas ideias e 1 aluno destacou a possibilidade que a ferramenta traz ao permitir realizar testes com protótipos físicos. 5 alunos disseram que não voltariam a utilizar impressão 3D, sendo 3 deles devido ao custo muito alto em se obter a ferramenta. 3 alunos disseram que ainda preferem a ferramenta de corte à laser devido a sua maior precisão na materialização. As respostas estão agrupadas no gráfico 9. Apesar das experiências de uso da impressão 3D nos projetos executados durante a disciplina não terem sido positivas, boa parte dos alunos afirmaram que voltariam a utilizar a ferramenta. O que demonstra um alto grau de entusiasmo pela tecnologia por parte dos alunos.

Você voltaria a utilizar a impressão 3D em seus próximos projetos?



Gráfico 9: Interesse dos alunos em voltar a utilizar impressão 3D nos projetos. (Fonte: elaborado pelo autor).

Nos comentários finais do questionário a respeito da disciplina, os alunos elogiaram a iniciativa dos professores em apresentar as técnicas de prototipagem rápida, e a oportunidade de ter mais contato com ferramentas tecnológicas aplicada a projetos. Entretanto, eles também reforçaram a dificuldade em ter que aprender a utilizar os *softwares* necessários para a execução de seus projetos. Alguns estranharam a estrutura do acompanhamento realizado pelos professores, que foi bem diferente do método tradicional de aula expositiva o qual muitos estão

acostumados. Poucos alunos chegaram até a comentar que ficaram um pouco perdidos durante as aulas. Mas, no geral, grande parte da turma gostou de ter participado e aprovou a proposta da disciplina. Os resultados finais mostram que é preciso estabelecer algumas mudanças em relação ao processo de ensino-aprendizagem nas disciplinas de projeto. A inclusão de novas ferramentas no processo projetual foi bem recebida pelos alunos, contudo, apontou falhas que precisam ser corrigidas para um melhor aproveitamento da disciplina. Entre elas, é possível destacar a necessidade de um preparo dos alunos em relação ao uso de *softwares* sejam eles vetoriais para o uso de corte à laser ou modelagem no caso da impressão 3D. Devido ao fato da prototipagem rápida ser baseada no uso de arquivos digitais é necessário que os alunos aprendam a mexer e que consigam expressar as suas ideias e os seus projetos através destes *softwares*. O estranhamento em relação ao método de ensino trabalhado na disciplina é devido a mudança de perfil ao que a grande maioria estava acostumada com aulas centradas em um professor que repassa um conteúdo a ser replicado pelos alunos. No caso da metodologia CBL, os alunos são parte importante do processo e é preciso que eles amadureçam e tomem um papel mais ativo na construção do conhecimento. Este paradigma enaltece a ideia do aprender fazendo e de que o conhecimento de longa duração é melhor construído com a vivência e concretização de ideias.

5.1.5. Considerações sobre a disciplina I

A disciplina I foi o primeiro experimento realizado para a tese e contou com algumas ferramentas de prototipagem rápida, como a cortadora à laser e a impressora 3D, incorporadas no processo de ensino-aprendizagem em uma disciplina de projeto. Por ter sido a primeira vez que a disciplina foi ofertada no curso de Licenciatura em Expressão Gráfica da UFPE, foi muito difícil prever como seria o seu andamento, as maiores dificuldades, além do interesse e comprometimento da turma em relação às aulas. Parte da proposta da disciplina conseguiu ser cumprida ao realizar projetos que se utilizam das ferramentas de prototipagem rápida em seu desenvolvimento, permitindo o contato dos alunos com as novas tecnologias. Este tipo de proposta aproxima o ensino acadêmico do processo de fabricação utilizado nas indústrias e estimula o raciocínio projetual dos alunos associado ao uso de ferramentas digitais.

Um outro ponto bastante positivo foi a grande procura pela disciplina. Ela contou com um perfil misto, integrando um aluno da Engenharia Civil com quase metade da turma composta por alunos de Expressão Gráfica e a outra metade por alunos da Arquitetura. Esta diversidade permitiu mesclar os cursos na divisão dos grupos, trazendo um caráter mais

interdisciplinar aos projetos e, ao mesmo tempo, tirando os alunos de sua zona de conforto por não trabalharem juntos de seus colegas de sala mais próximos. No entanto, nenhum aluno do curso de design fez parte da disciplina. O motivo não ficou muito claro, mas acredita-se que tenha sido uma falha no sistema de ofertas de disciplinas da UFPE que acabou não mostrando como disponível no momento da matrícula para os alunos de design.

A dificuldade em ter alunos de diferentes cursos em uma mesma disciplina é não saber qual o embasamento teórico e técnico que cada um deles possui. Segundo os resultados dos questionários, grande parte da concentração dos alunos está nos semestres intermediários de seus cursos e mais da metade da turma afirmou conhecer as ferramentas de corte à laser e de impressão 3D. No entanto, os números analisados de forma isolada podem dar uma falsa ideia do cenário real.

Conforme apontado na etapa de observações da disciplina, os alunos apresentaram dificuldade em relação ao uso de protótipos ao longo do processo projetual. Da mesma forma, foi identificado que apesar deles conhecerem as ferramentas de corte à laser e impressão 3D, não necessariamente representa que eles saibam utilizá-las. Do ponto de vista técnico, além das dificuldades encontradas no manuseio destas ferramentas, a turma também não tinha muita experiência com modelagem, seja ela manual ou digital. Os questionários apontaram a falta de habilidade como uma das grandes barreiras no processo tradicional de modelagem tradicional (manual). Ela pode ser justificada pela carência de disciplinas e espaços para o desenvolvimento das práticas manuais e o uso cada vez mais constante do computador para o desenvolvimento de projetos acadêmicos.

Apesar da proximidade maior com os computadores, as dificuldades se estendem ao uso das ferramentas digitais. O SketchUp foi apontado por um pouco mais da metade da turma nas respostas dos questionários como o *software* que eles já sabiam utilizar para modelagem 3D, possivelmente por ser gratuito e mais simples de mexer. Poucos já sabiam utilizar o Rhinoceros, e o modo encontrado para nivelar o domínio da turma na ferramenta foi oferecer treinamentos, através de oficinas, dentro da própria disciplina. Inclusive, segundo a pesquisa realizada, um pouco mais da metade da turma apontou a falta de domínio em relação ao uso de *softwares* como um dos grandes impeditivos em utilizar as ferramentas digitais no desenvolvimento dos projetos. Da mesma forma como acontece com as práticas manuais de modelagem, os alunos não conseguem desenvolver os seus projetos de forma eficiente pela falta de habilidade em lidar com os *softwares*. Logo, assim como aconteceu anos atrás com a chegada do computador nas instituições de ensino, é o momento de refletir de que forma os cursos universitários vão lidar

com o uso cada vez mais intenso de ferramentas digitais em suas aulas. Este assunto será melhor discutido nas próximas etapas neste mesmo capítulo.

Algumas questões relacionadas ao processo ensino-aprendizagem podem ser identificadas de forma mais clara com o término da disciplina. A adoção da metodologia CBL requer maturidade dos alunos pois é necessário rever a forma como eles encaram as aulas e o próprio processo de aprendizagem. O perfil de tutoria, por parte dos professores, acabou deixando alguns alunos confusos pois estão mais acostumados com o modelo bengala (BONSIEPE *et al.*, 1984), ou seja, ainda são muito dependentes, necessitando um maior acompanhamento docente. Apesar de alguns alunos terem elogiado nos questionários a maior liberdade dada na execução dos projetos, alguns estudantes ainda se identificam muito com o método de osmose (BONSIEPE *et al.*, 1984), aguardando que o professor execute primeiro as atividades para que depois eles possam simplesmente replicá-las. O que traz novamente à questão das ferramentas digitais que, apesar da grande quantidade de informações, exemplos e tutoriais disponíveis em livros técnicos, apostilas, sites e até mesmo em diversos vídeos que se encontram facilmente na internet, os alunos ainda preferem aulas presenciais, dentro da disciplina, para aprender a utilizar determinados *softwares*. Neste caso, a disciplina que, originalmente, foi concebida para discutir questões projetuais, acaba tendo que dedicar parte de sua carga horária também ao ensino operacional, com explicações de como mexer em *softwares*, além de outros aspectos técnicos tais como preparar e corrigir arquivos, configurar equipamentos, etc.

Entretanto, apesar das dificuldades, os alunos se sentem bastante confortáveis ao utilizar o computador para a execução dos projetos, conforme verificado nas aulas. Este comportamento justifica, em parte, o grande interesse dos alunos em se aprofundarem cada vez mais no aprendizado dos *softwares*, chegando a demonstrar certo impedimento para utilizar recursos e ferramentas tradicionais, como a modelagem ou até mesmo os desenhos manuais. Mesmo com os avanços tecnológicos, a disciplina não busca substituir as técnicas e ferramentas manuais pelas digitais, pelo contrário, incentiva a combiná-las. Porém, mesmo com o incentivo por parte dos professores, nesta disciplina não foi explorado o conceito de protótipos híbridos, combinando diferentes técnicas em um mesmo modelo. Não se sabe ao certo, mas ao incentivar os alunos a experimentarem diferentes formas de representação em seus projetos talvez os estimulem, de alguma forma, a utilizar o hibridismo. Afinal, mesmo tendo preferência pelo computador, os grupos chegaram a trabalhar com diferentes técnicas conforme apresentado na figura 17.

Outro problema verificado foi a inversão em relação ao uso das novas tecnologias, pois algumas peças foram desenvolvidas através da prototipagem rápida devido ao pré-requisito da disciplina e não pelo auxílio real que elas podem trazer para a prática projetual. O que reforça a necessidade em preparar melhor os alunos para experimentar e explorar mais o uso destas ferramentas no desenvolvimento de seus projetos. Além disso, o objetivo da disciplina busca além de simplesmente aprender a utilizar as ferramentas de prototipagem rápida, mas saber incorporá-las no processo de forma natural, de modo a auxiliar na execução de todas as etapas e estimular o raciocínio projetual utilizando estes novos recursos. Lembrando que mais importante do que o aprendizado ferramental é a mudança da forma como pensar o desenvolvimento do projeto associado ao uso das novas tecnologias.

Uma parte da disciplina também contou com aulas teóricas as quais trouxeram conteúdos complementares servindo de suporte aos projetos desenvolvidos. Entretanto, refletindo sobre os resultados da disciplina, acredita-se que outros tópicos, principalmente alguns mais voltados à prática projetual, mereciam ter sido apresentados, tais como o uso de protótipos de baixa e alta fidelidade em diferentes fases de desenvolvimento, explicar a importância em criar diferentes estudos e variações na etapa de ideação, validação dos estudos gerados, etc., pois foram dificuldades encontradas nos alunos ao longo da disciplina.

As dificuldades operacionais não estiveram presentes apenas para os alunos, a falta de experiência dos professores com o equipamento recém-adquirido, aliado ao comportamento instável e as próprias limitações da impressora 3D acabaram resultando em grandes esperas na materialização dos arquivos e defeitos nas peças geradas. Em relação ao uso da ferramenta durante as aulas, não foi encontrada uma solução adequada para conseguir conciliar a fila de impressão dos arquivos durante o horário de aula. Os imprevistos tais como falhas de impressão, correção dos arquivos e dos parâmetros da impressora, além da longa espera na materialização dos objetos físicos, resultaram em muitas dificuldades em conseguir tornar o processo ágil e dinâmico para os alunos. Consequentemente, os constantes atrasos resultaram na diminuição do interesse (por parte dos alunos) em utilizar a impressão 3D para a etapa de ideação e no processo cíclico de retroalimentação de arquivos digitais em objetos físicos, conforme era esperado pela pesquisa. Um dos grandes desafios identificados na impressão 3D, mesmo com a redução de falhas, em virtude da maior experiência na utilização do equipamento durante o semestre, é conseguir materializar um objeto físico exatamente como o seu arquivo digital de origem. Outro ponto a ser estudado é a diferença de uniformidade nos resultados obtidos, conforme foi mostrado na figura 19.

No entanto, apesar dos contratempos ocorridos ao longo da disciplina e da turma se mostrar dividida em relação ao uso da prototipagem rápida na etapa de geração de ideias; felizmente, boa parte da turma avaliou de forma positiva o uso das ferramentas na criação de protótipos e quase 75% dos alunos (conforme apresentado no gráfico 9) disseram ter interesse em voltar a utilizar impressão 3D em seus futuros projetos. Estes resultados demonstram que a disciplina cumpriu o seu papel ao apresentar as ferramentas de prototipagem rápida aos alunos, resta agora estruturar estratégias pedagógicas de como explorar melhor o uso delas em diferentes etapas do projeto e não apenas nas fases finais de apresentação.

Por fim, após a conclusão da disciplina I, foi realizada a análise dos resultados obtidos, seja através das próprias observações do pesquisador, assim como as respostas dos questionários trazendo o ponto de vista dos alunos. Através das informações apresentadas, foram pensadas algumas mudanças na estrutura das aulas, no conteúdo das atividades e nas propostas dos projetos que resultaram em uma nova disciplina que será descrita a seguir.

5.2. DISCIPLINA II

A disciplina II segue com a proposta de integrar o uso de novas tecnologias no processo projetual. No entanto, após a análise dos resultados alcançados com a disciplina I, foram feitas algumas mudanças, principalmente buscando explorar o que não havia sido estudado anteriormente ou mesmo experimentar diferentes abordagens no processo ensino-aprendizagem.

Apesar de ter contado com um perfil interdisciplinar de alunos e professores na disciplina I, oferecida no curso de Licenciatura em Expressão Gráfica, o qual contribuiu bastante para a pesquisa, ainda perduravam questionamentos de como seria a dinâmica das aulas com a participação dos estudantes de design. De forma a contornar essa ausência, a disciplina II foi oferecida na grade do curso de Bacharelado em Design no CAC da UFPE, para estimular a participação de seus alunos.

Infelizmente, em meio a tantas mudanças, a disciplina II não contou com a participação dos professores Letícia Mendes e Pedro Alessio, do Departamento de Expressão Gráfica, nem da Eduarda Rabelo. No entanto, o Prof. Leonardo Castillo (orientador desta pesquisa), professor do Departamento de Design, participou ativamente desde a elaboração do conteúdo programático da disciplina assim como também ministrou em conjunto as aulas durante todo o semestre.

Em conjunto com o orientador, foram realizadas algumas discussões sobre o que havia ou não funcionado na disciplina anterior. Entre as diversas mudanças, uma das principais foi a alteração na estrutura geral da disciplina. Diferente da anterior, ela não consiste apenas em um único projeto durante todo o semestre. A disciplina II foi dividida em três atividades e essa mudança foi feita de modo a estabelecer uma curva crescente no aprendizado das ferramentas digitais e, aos poucos, integrá-las ao processo projetual.

Assim como antes, foi mantido o método de que os alunos aprendem a projetar através da própria execução de projetos (BONSIEPE *et al.*, 1984). Com isso, apesar de contar com uma introdução teórica em algumas aulas, a disciplina foi caracterizada, em boa parte de seu conteúdo, por atividades práticas. O acompanhamento dos professores foi baseado no modelo guia (BONSIEPE *et al.*, 1984), acompanhando de perto o progresso de cada aluno ao longo das atividades, auxiliando com possíveis dúvidas e/ ou dificuldades, mas ao mesmo tempo proporcionando uma maior liberdade aos alunos para desenvolverem os seus projetos.

5.2.1. O uso das ferramentas de representação na disciplina

Diferente da disciplina anterior, em relação às ferramentas de prototipagem rápida, desta vez foi utilizada apenas a tecnologia de impressão 3D FDM. Além da impressora Sethi3D modelo BB, utilizada anteriormente, agora também estava disponível outra impressora Sethi3D, porém do modelo AiP. Ela é muito semelhante ao modelo BB, também utiliza o método de impressão 3D por FDM, com filamento PLA de 1,75mm, e o bico extrusor com saída de 0,4mm. No entanto a sua resolução ajustável é de 0.05mm a 0.3mm (altura da camada). A área de impressão é menor, com 220mm x 210mm x 200mm. E por contar com uma mesa aquecida, ela permite utilizar também o filamento em ABS como material de impressão. Uma outra grande vantagem em utilizar a mesa aquecida, após algumas regulagens, foi deixar de utilizar cola na base para realizar as impressões, seja utilizando ABS ou mesmo o PLA. Para o gerenciamento de impressão, ainda foram utilizados o Repetier e o Slicer para fatiamento dos arquivos. Assim como o Sethi3D BB, a AiP também é uma impressora baseada em *open source*, possuindo as mesmas vantagens e limitações já discutidas anteriormente.

Em relação ao local das aulas, elas foram quase todas ministradas no Laboratório Nexus, que contava com 4 computadores iMac, da Apple, bancadas para os alunos que preferiam trazer seus próprios notebooks e conexão WiFi. Porém, nas últimas aulas da disciplina, foi preciso realocar a turma para uma sala de aula convencional pois todos os laboratórios do Departamento de Design entraram em processo de reforma. Tanto a importância da integração entre um

laboratório de pesquisa com as disciplinas acadêmicas quanto a necessidade de uma infraestrutura para os cursos baseados em tecnologia serão questões discutidas de forma mais detalhada no capítulo 6.2.1.

Apesar de não utilizar a ferramenta de corte à laser, a disciplina buscou explorar outros recursos tecnológicos, entre os quais foram realizados experimentos utilizando técnicas de escaneamento 3D. Por não contar com equipamentos específicos, foram utilizadas alternativas experimentais como a adaptação da câmera Kinect (primeira versão), acessório do videogame Xbox 360, fabricado pela Microsoft com alguns *softwares* de escaneamento 3D tais como o Skanect 3D, da empresa Occipital e o Kscan 3D, da LMI Technologies. Também foram utilizadas ferramentas de capturas de fotos para gerar modelos tridimensionais, como o 123D Catch, da Autodesk, que utilizava o próprio smartphone para capturar as imagens e através do aplicativo gerar o modelo 3D, ou o *software* Remake, também da Autodesk, caso o modelo fosse gerado utilizando um computador.

Ainda em relação ao uso de *softwares*, nesta disciplina, foi explicado, desde o início, que o aprendizado estaria a cargo dos alunos, ou seja, os professores não se responsabilizariam em ensinar a utilizá-los. Diferente da disciplina anterior, não foram oferecidas oficinas explicando em como utilizar os *softwares* de modelagem 3D. Exceto por uma breve apresentação do Repetier, gerenciador de impressão 3D, do Slicer, responsável por fatiar os arquivos para impressão e a única oficina disponibilizada, ministrada pelo professor Pedro Alessio do Departamento de Expressão Gráfica, sobre modelagem paramétrica utilizando o *plugin* Grasshopper do programa Rhinoceros, a disciplina considerou como responsabilidade do aluno em buscar informações, tais como tutoriais ou vídeo-aulas para aprender a utilizar os *softwares* de sua preferência. Esta ação teve como objetivo verificar a independência dos alunos ao ter que aprender os *softwares* necessários por conta própria e também focar a carga horária da disciplina especificamente em questões projetuais. Hoje, ao analisar a decisão tomada, ela pode parecer bastante arriscada já que não existia uma uniformidade ou nivelamento dos alunos no manuseio e domínio dos *softwares* de modelagem 3D que, mesmo não sendo o foco principal, se tornam pré-requisitos importantes no desenvolvimento das atividades propostas na disciplina. Pois, mesmo que o domínio em uma determinada técnica ou ferramenta não seja o fator decisivo na execução de um projeto, ele acaba influenciando na forma e limitação que o aluno vai ter ao representa-lo. Sendo assim, apesar da total liberdade dos alunos em escolher a ferramenta de sua preferência, desde que ela fosse capaz de realizar os exercícios, todas as atividades contavam com uma lista indicada pelos professores de alguns *softwares*

recomendados para a execução das tarefas solicitadas. As sugestões foram feitas de modo a auxiliar, assim como controlar ou, pelo menos, reduzir a amplitude de *softwares* utilizados pelos alunos na execução das atividades.

5.2.2. As atividades realizadas durante a disciplina

Nas reuniões de planejamento, foram discutidas formas de estimular os alunos a utilizarem a impressora 3D como ferramenta auxiliar na solução de seus projetos. A alternativa encontrada foi propor ao invés de um único projeto, diferentes atividades de modo que os alunos possam conhecer, experimentar e se aprofundar cada vez mais no uso da ferramenta. Para isso, foram pensadas três atividades com níveis de dificuldade crescentes: a primeira com caráter mais introdutório, a segunda exploraria um pouco mais o uso da ferramenta e uma terceira, mais complexa, responsável por utilizar todos os conhecimentos adquiridos na disciplina. Elas serão apresentadas de forma mais detalhada a seguir.

Atividade 1

Os alunos nunca tiveram contato prévio com a ferramenta, em virtude disso, a primeira atividade teve como objetivo apresentar os fundamentos e conhecer o funcionamento da impressora 3D. Os alunos se separaram em grupos de até 3 pessoas e tiveram que escolher uma fruta ou legume para o experimento. Todas as etapas tiveram que ser documentadas, sendo necessário apresentar um relatório no final da atividade. Com o alimento escolhido, o primeiro passo era fotografar a vista lateral. Depois foi preciso demarcar um espaçamento uniforme para cortar o alimento em fatias espaçadas o mais homogêneo possível. Com a demarcação feita, chegou o momento de cortar e separar os pedaços para o próximo passo o qual consiste em fotografar ou digitalizar (com a ajuda de um *scanner*) todas as fatias de modo a ter uma versão digital de cada uma delas, mostrado na figura 23. Nesta primeira etapa, os alunos passaram por um processo de desconstrução do alimento real, o transformando em diversas fatias. Essas fatias serviram de molde para o redesenho das camadas que deu o início do processo de reconstrução do elemento real em meio digital.

Com a ajuda de um *software* gráfico, era preciso redesenhar cada uma das fatias de modo a obter o seu contorno exato. Logo depois, colocar cada uma dessas formas redesenhadas em um *software* de modelagem 3D, espaçar com as mesmas distâncias do objeto real original e reconstruir a forma digitalmente utilizando as suas camadas digitais. A segunda parte do exercício deu continuidade ao processo de reconstituição da forma original em meio digital. O

modelo tridimensional representa uma cópia muito próxima feita através do processo de fatiamento e reconstrução a partir das camadas do alimento original e pode ser visto na figura 23.

Por fim, foi preciso levar o arquivo para o *software* de impressão 3D para realizar o processo de materialização do modelo digital em um objeto físico. Ou seja, a atividade foi planejada para apresentar aos alunos o processo de impressão 3D através da metáfora de desconstrução e posterior materialização de um objeto. Assim como a impressora 3D realiza o fatiamento de um arquivo digital e posteriormente imprime camada por camada, na síntese aditiva, os alunos replicaram o processo, de modo semelhante, ao fatiar o alimento para depois redesenhar cada fatia digitalmente e reconstruir a sua forma em um *software* de modelagem 3D. Cada etapa do processo pode ser observada na figura 23. No final da atividade, os modelos físicos gerados puderam ser comparados com os alimentos originais fotografados para verificar a proximidade de suas formas.

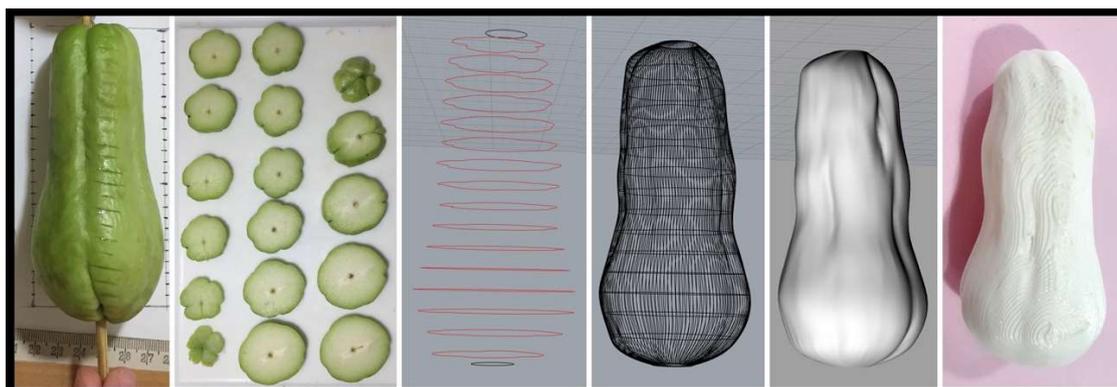


Figura 23: Alimento real fatiado, modelo digital formado com as camadas redesenhadas e modelo final impresso. (Fonte: elaborada pelos alunos da disciplina II).



Figura 24: Mesmo com mais experiência, a impressão 3D alterna bastante entre resultados ruins (à esquerda) e bons (à direita). (Fonte: elaborada pelo autor).

O exercício contribuiu ao aproximar os alunos, em seu primeiro contato, com a ferramenta de impressão 3D, detalhando de forma lúdica todo o processo de fabricação aditiva. A atividade proporcionou uma maneira deles replicarem os passos realizados pela impressora, além da oportunidade de utilizar o processo automatizado de materialização de um objeto a partir de um arquivo digital. Por ser a o primeiro contato com a impressora 3D, os alunos ainda não tiveram um papel muito ativo em relação aos ajustes da configuração e controle da impressão de seus arquivos. Ainda foi mantido o processo semelhante a um birô de serviços que, assim como foi feito na disciplina I, os alunos forneciam seus arquivos e na aula da outra semana já encontravam os seus modelos devidamente impressos.

No aspecto técnico, apesar de contar com uma experiência maior nos ajustes e manuseio das impressoras, os resultados ainda se mostravam bastante inconsistentes, alternando entre resultados bons e ruins, como pode ser visto na figura 24.

Entre os problemas mais comuns que aconteceram nesta primeira atividade estavam o posicionamento dos objetos, pois como suas formas eram, na grande maioria, compostas por superfícies irregulares, eles não se fixavam da maneira correta na mesa de impressão. Uma das soluções encontradas foi de separar o objeto em duas partes e colar manualmente depois de impressos. Foram feitos testes utilizando suportes gerados automaticamente pelo próprio *software* de fatiamento. Contudo, os suportes gerados automaticamente nem sempre resultavam em boas soluções. Em alguns momentos eles se mostravam insuficientes para suportar a estrutura da impressão, deixando a peça com falhas (pode ser visto nas falhas presentes nas metades das maçãs ou no preenchimento imperfeito do chuchu, na figura 24).



Figura 25: Acabamento x velocidade de impressão para os chuchus e resultados inesperados no caso da carambola. (Fonte: elaborada pelo autor).

Outro desafio ainda longe de ser resolvido foi o gerenciamento de impressões dentro do horário das aulas. Cada objeto ainda levava muito tempo para ser finalizado e não era raro

encontrar impressões malsucedidas ao deixar imprimindo de um dia para o outro. As tentativas em encontrar as configurações certas para cada modelo ainda se mostravam como um grande problema. Cada impressão acaba representando um novo desafio e seus ajustes terminam sendo pelo método de tentativa e erro. Decisões constantes para cada caso, como por exemplo na figura 25, no caso do chuchu (à esquerda da imagem), ao tentar chegar em um meio termo entre os extremos, sendo um deles bastante rígido e com um bom acabamento, porém muito demorado para ser concluído e outro finalizado bem mais rápido, porém com falhas no seu preenchimento. No caso das carambolas (à direita na imagem) é possível verificar resultados diferentes apesar de usar o mesmo arquivo e as mesmas configurações.

Apesar dos problemas, o primeiro exercício conseguiu mostrar aos alunos o potencial da impressora 3D em representar com eficiência e com alto grau de qualidade um modelo composto por formas complexas. Ao tomar como exemplo o chuchu da figura 23, é difícil perceber os detalhes de sua forma e conseguir compreender o seu volume apenas através das representações bidimensionais. A impressão 3D permite fazer uma leitura diferenciada da forma, escala e volume através do modelo físico gerado, sendo possível avaliar e, se preciso, realizar alterações o quanto for necessário até alcançar o resultado esperado em um processo iterativo de materialização de ideias. Este processo de retroalimentação por *feedback* foi planejado para ser trabalhado a partir da atividade 2 que será detalhada a seguir.

Atividade 2

A atividade 1 foi responsável por apresentar os fundamentos básicos da impressão 3D. No caso da atividade 2, ela teve como objetivo explorar e comparar diferentes técnicas e ferramentas de representação e verificar como elas podem trabalhar de maneira complementar no estudo formal de um produto. Para isso foi proposto desenvolver um personagem fictício, criado pelos próprios alunos, e utilizar diferentes meios de representação para estudar a sua forma e aparência. Entre as técnicas utilizadas foi sugerido o uso de esboços e estudos utilizando lápis e papel (desenho tradicional), massa de modelar (modelagem manual), modelagem digital e impressão 3D, conforme mostra o exemplo da figura 26.

Conforme explicado anteriormente, os alunos tinham total liberdade na escolha de *softwares*, mas para este exercício foi sugerido o uso de ferramentas orgânicas de modelagem 3D, tais como ZBrush e Sculpttris, ambos da Pixologic e Mudbox, da Autodesk. O diferencial deles é que trabalha com uma metáfora de modelagem digital muito próxima a modelagem manual feita em argila. Como os alunos já estavam trabalhando com o método tradicional,

através da massa de modelar, a sugestão de utilizar esses *softwares* de modelagem orgânica foi justamente para criar uma proximidade das ferramentas manuais com as digitais, conforme mostra o exemplo da figura 27.

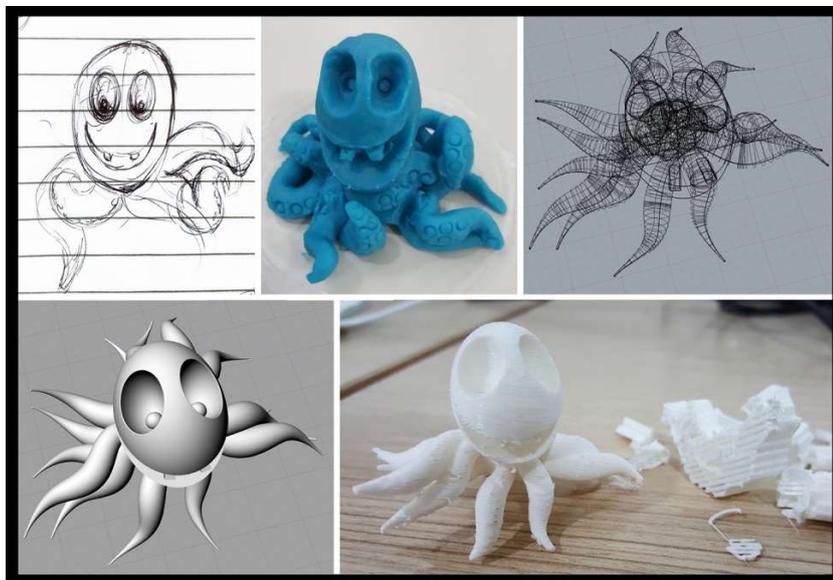


Figura 26: Diferentes ferramentas de representação utilizadas para o estudo do personagem. (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).

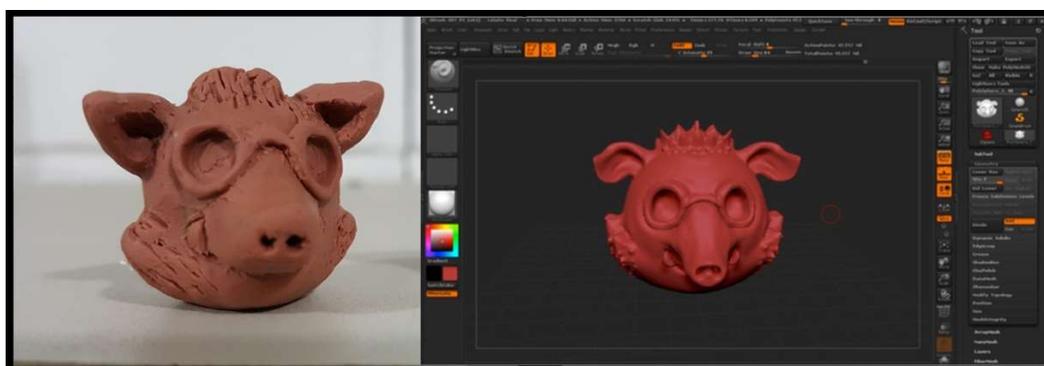


Figura 27: Modelos criados pelos alunos em argila (esquerda) e digital (direita). (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).

Na tentativa de explorar o processo cíclico de retroalimentação, utilizando a materialização de arquivos digitais em objetos físicos para as etapas de geração de ideias e estudos formais, foi preciso pensar em formas de tornar o processo mais ágil e fluído para os alunos. A solução encontrada foi realizar testes de algumas ferramentas de escaneamento 3D para digitalizar os modelos físicos, auxiliando na fase de ideação ao combinar os modelos físicos feitos através da modelagem manual com as ferramentas digitais. Para isso, foram utilizadas diferentes ferramentas de captura, sendo uma delas a câmera Kinect, do videogame

Xbox 360, testando diferentes *softwares*, entre eles o Skanect 3D e o ReconstructMe os quais apresentaram maior facilidade de uso com melhores resultados.

Entretanto, apesar do Kinect se apresentar como uma excelente ferramenta de escaneamento 3D de baixo custo, ele também apresenta uma série de limitações, entre elas, a distância mínima de 40cm entre a câmera e o objeto. Como os personagens modelados manualmente pelos alunos eram pequenos (a maior medida não ultrapassava 12cm), os resultados de captura com o Kinect apresentavam uma qualidade muito baixa de detalhes, como pode ser visto no teste realizado na figura 28.

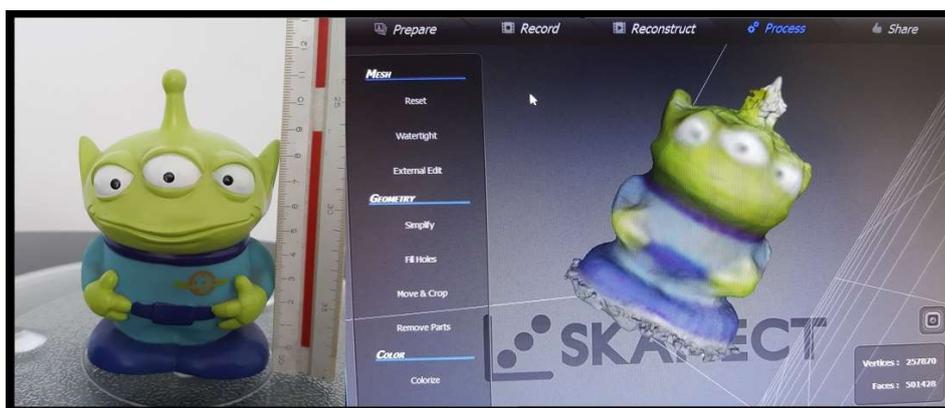


Figura 28: Modelo de pequena escala e o resultado de seu escaneamento feito pelo Kinect. (Fonte: elaborada pelo autor).

Segundo os testes realizados, o Kinect se mostrou mais indicado para capturar objetos de média e grande escala, e mesmo assim ainda não consegue capturar com um grande nível de detalhes. O que pode comprometer o seu uso de acordo com a qualidade do modelo que se espera ser gerado. Mas dependendo da aplicação que se busca ele ainda se mostra uma ferramenta prática de ser utilizada e de baixo custo. Exemplo de modelo impresso a partir de escaneamento utilizando Kinect mostrada na figura 29.

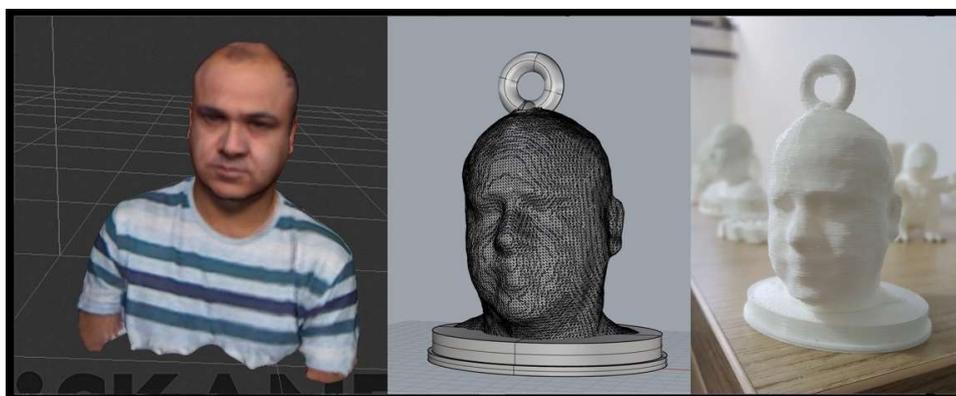


Figura 29: Modelos maiores (busto humano) o Kinect oferece bons resultados. (Fonte: elaborada pelo autor).

Como os resultados do Kinect não foram satisfatórios para o exercício, foram pesquisadas outras alternativas que pudessem auxiliar na atividade proposta. Entre as soluções encontradas, o 123D Catch se mostrou como uma opção bastante interessante. Ele é um aplicativo que funciona em *smartphones*, tanto para o sistema iOS como também para o Android. Ele gera um modelo tridimensional através da captura de fotos, a partir de determinadas posições que o aplicativo indica utilizando a geolocalização do celular. A vantagem dele é que gera um modelo bem mais detalhado, tanto em quantidade de polígonos quanto na textura, comparado ao Kinect, principalmente quando aplicado em objetos pequenos.

Contudo, no decorrer da atividade, o aplicativo apresentou problemas em fazer o envio das imagens para o seu servidor, levando bastante tempo para gerar os modelos tridimensionais. Além disso, apresentou muita instabilidade em seu uso com resultados que oscilavam muito em sua qualidade final. Apesar de conseguir resultados com qualidade muito superior ao processo de captura com o Kinect, os modelos manuais feitos pelos alunos ainda apresentavam um grau de acabamento muito superior e que não foi possível digitalizar mantendo o mesmo padrão de detalhes. Um exemplo da comparação entre o modelo em argila (com aproximadamente 3cm de altura) e o impresso em 3D a partir de arquivo criado pelo 123D Catch pode ser visto na figura 30.

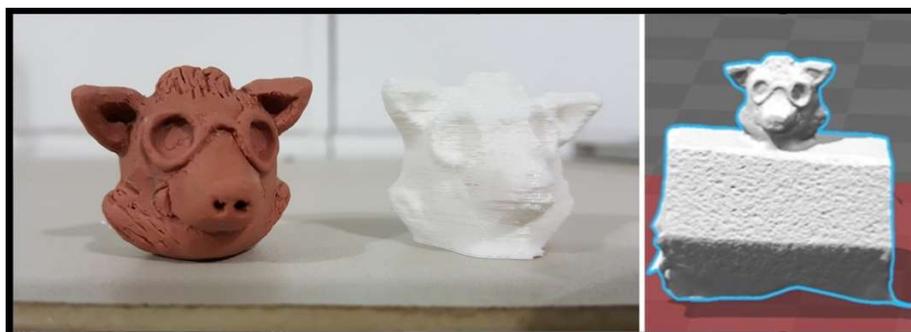


Figura 30: Comparação entre o modelo de argila e o impresso em 3D. À direita o modelo digitalizado com o aplicativo 123D Catch. (Fonte: elaborada pelo autor a partir do trabalho dos alunos).

Na tentativa de conseguir aumentar a qualidade dos modelos digitais capturados, foram realizados experimentos com outros *softwares*. Entre as ferramentas pesquisadas, o Remake apresentou bons resultados e, assim como o 123D Catch, também cria o arquivo tridimensional a partir de fotos. O exemplo da figura 31 mostra um modelo tridimensional gerado no Remake através da captura de fotos (42 fotos no caso deste modelo), que apesar de algumas falhas nas

texturas, ficou com uma excelente precisão na malha de polígonos, ainda mais considerando que o objeto real tinha apenas 14cm de altura.

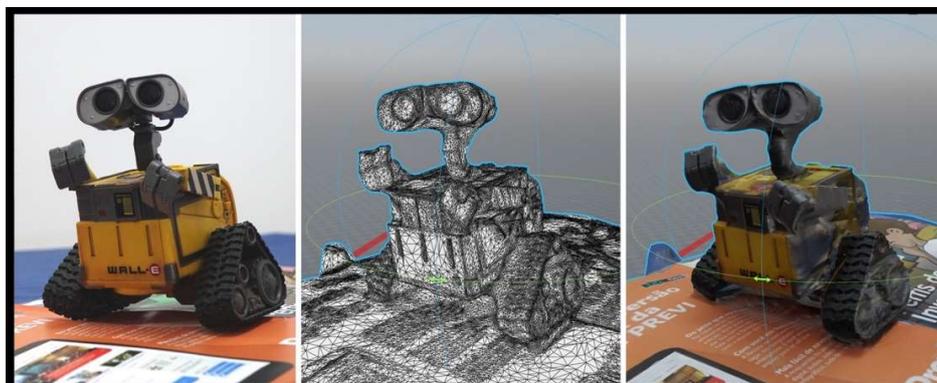


Figura 31: Malha e modelo tridimensional (ao centro e direita) gerados a partir da captura de fotos de um objeto real (esquerda). (Fonte: elaborada pelo autor).

Entretanto, apesar de seu excelente resultado ao gerar a malha poligonal, ele também se mostrou um *software* muito irregular alternando entre alguns resultados bons entre muitos outros ruins. Um dos requisitos para obter bons resultados é conseguir uma grande quantidade de fotos de alta qualidade ao redor do objeto com iluminação uniforme e mantendo uma distância fixa. Logo, para conseguir uma malha tridimensional de qualidade, demanda bastante tempo, estrutura física e dedicação. Os alunos chegaram a realizar alguns testes, principalmente com o 123D Catch já que precisava apenas utilizar um *smartphone*, mas depois de alguns resultados ruins acabaram abandonando a ferramenta.

Apesar da proposta da disciplina não se basear no ensino de *softwares*, para esta atividade, os alunos tiveram uma explicação do Repetier (responsável pelo gerenciamento de impressão) e também do Slicer (utilizado para o fatiamento do modelo a ser impresso) aprendendo algumas características, comandos e configurações. Eles ficaram responsáveis em criar o arquivo .stl e gerar o arquivo .gcode para impressão. Antes de gerar os arquivos finais eles recebiam uma orientação sobre as configurações e as preparações necessárias a respeito do objeto a ser impresso. Com isso, os alunos tiveram a oportunidade de vivenciar algumas dificuldades comuns em relação à impressão 3D, desde o posicionamento do objeto na mesa, definir se vai utilizar ou não suporte, tentar adequar o tempo de impressão com a qualidade de acabamento e os possíveis erros gerados durante o processo de materialização. Problemas como a falta de fixação do filamento na mesa, dificuldade em retirar o suporte sem danificar o modelo, falhas de preenchimento e diferentes graus de acabamentos utilizando as mesmas configurações são recorrentes no processo de impressão 3D e alguns exemplos podem ser vistos na figura 32.



Figura 32: Algumas falhas no processo de impressão 3D durante a atividade 2. (Fonte: elaborada pelo autor).

Algumas questões tais como a escala do modelo, o seu grau do detalhamento e a diferença entre o modelo físico e o seu arquivo digital de origem são muito melhor compreendidas quando se executa todo o processo. Neste ponto, independente dos resultados alcançados, o papel mais ativo dos alunos foi um passo importante para ganharem uma maior autonomia no processo de impressão. Diferente da primeira atividade a qual eles simplesmente enviaram os arquivos para os professores e na outra aula já recebiam eles impressos, desta vez, eles foram os responsáveis pelos ajustes e configurações necessárias antes de poder imprimir os seus arquivos. Mais importante do que ter um maior domínio nos *softwares* de impressão é ter a oportunidade de aprender quais são os parâmetros e os ajustes necessários antes de materializar um modelo. Ainda que tenha sido um processo supervisionado, e eles não tenham sido responsáveis em corrigir os arquivos que apresentavam falhas ao importar no *software* de gerenciamento de impressão; foi a primeira vez em que os alunos participaram de todo o processo desde a sua concepção até a conclusão do modelo físico.

Outro grande diferencial desta atividade foi o uso de diferentes meios para a representação da forma. Cada trabalho teve, obrigatoriamente, que utilizar desenhos, modelagem manual, modelagem digital e a impressão 3D, conforme explicado anteriormente. Os alunos puderam comparar qual o meio de representação que cada um consegue se expressar melhor e qual foi mais adequado para cada etapa do projeto. Apesar do desenho ser esperado como a ferramenta de maior afinidade para os alunos, alguns surpreenderam com a habilidade na criação de modelos utilizando a massa de modelar, assim como outros comentaram o quanto tinham gostado de ter contato com os *softwares* de modelagem orgânica. Diferente do processo de modelagem digital convencional, utilizado por grande parte das ferramentas CAD, os *softwares* de modelagem orgânica trabalham com a metáfora de modelos de argila em um ambiente digital. Mesmo tendo sido o primeiro contato com a ferramenta, os alunos

conseguiram se expressar muito bem, inclusive aqueles que não tinham muita experiência com modelagem 3D.

Atividade 3

Diferente da primeira que contou apenas com um único projeto, esta disciplina foi originalmente estruturada através de 3 atividades. Elas foram pensadas a partir de diferentes níveis de dificuldade, sendo a primeira a mais simples, a segunda intermediária e a última com um nível maior de complexidade. A primeira atividade se preocupou em apresentar os fundamentos da impressão 3D e mostrar o potencial da materialização de formas complexas. A segunda trabalhou, além da impressão e escaneamento 3D, diferentes meios de representação para o estudo da forma, compreendendo o potencial de cada um deles e aprendendo qual seria mais indicado para cada etapa do projeto e até mesmo combiná-los, caso fosse necessário. A experimentação de diferentes meios serviu para que os alunos avaliassem qual eles possuem maior afinidade ou dificuldade para se expressar. Além disso, testar combinações entre as diferentes opções de modo a ter uma maior agilidade e eficiência em representar cada uma das fases do projeto.

Por fim, a terceira e última atividade se propõe a combinar todo o conteúdo visto na disciplina, acrescido da modelagem paramétrica para o desenvolvimento de uma proposta interdisciplinar de projeto de produto. A proposta original desta atividade se baseava na parceria entre os cursos de Design e Medicina com o objetivo de desenvolver órteses utilizando impressão 3D e modelagem paramétrica. O uso da modelagem paramétrica foi pensado para o ajuste de moldes padronizados de órteses com o objetivo em atender diferentes partes do corpo de qualquer pessoa, a partir de algumas medidas do paciente. No entanto, desde a etapa de planejamento da disciplina, já estava claro que se tratava de uma ideia bastante ousada e que possivelmente teria que ser adaptada de acordo com o nível de desenvolvimento da turma e o cumprimento do calendário das aulas. Logo no início da atividade, uma das primeiras mudanças foi em não restringir os projetos apenas a órteses, mas também ficou permitido projetar acessórios de proteção para o corpo. Mas, no decorrer do semestre, outros fatores também acarretaram em mais mudanças.

As Universidades Federais passaram por um período de greve durante os meses de novembro e dezembro de 2016 atrapalhando todo o andamento do calendário acadêmico. Como se não bastasse, no retorno das aulas no mês de janeiro de 2017, deu início ao processo de reforma de todos os laboratórios de pesquisa do Design (inclusive o Nexus, onde eram

realizadas as aulas), resultando no impedimento do acesso dos alunos ao espaço que contava com os computadores e as impressoras 3D. Logo, devido ao intervalo de dois meses da atividade em virtude da greve, a falta de acesso aos equipamentos no retorno das aulas e o alto nível de dificuldade do exercício, alterações urgentes tiveram que ser pensadas para não atrapalhar ainda mais o desenvolvimento dos alunos em relação aos seus projetos.

Uma das iniciativas adotadas, logo após a greve, foi oferecer uma oficina de Grasshopper (*plugin* do *software* Grasshopper), com o Prof. Pedro Alessio, conforme explicado anteriormente, para ter uma introdução dos fundamentos da modelagem paramétrica. Porém, devido aos atrasos no calendário acadêmico, o pouco tempo restante da disciplina impediu de desenvolver melhor esses conceitos em sala de aula. Então foi preciso rever novamente a proposta do exercício, deixando de ser obrigatória a inclusão dos ajustes paramétricos para os projetos finais.

Com o impedimento do uso dos computadores e das impressoras 3D do laboratório, foi preciso improvisar e graças ao uso de alguns equipamentos pessoais, os alunos conseguiram realizar o escaneamento de partes do corpo como base de estudo para os seus projetos. Por utilizar o corpo humano que, evidentemente, possui uma escala bem maior do que os modelos da atividade 2, foi dada uma nova chance ao Kinect em conjunto com o *software* Skanect 3D para gerar os arquivos tridimensionais. Alguns exemplos podem ser vistos na figura 33.

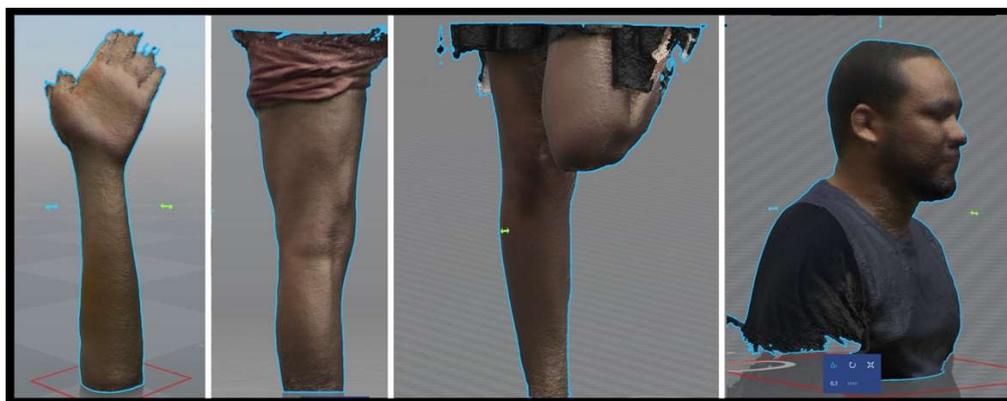


Figura 33: Exemplos de algumas partes dos corpos dos alunos digitalizadas. (Fonte: elaborada pelo autor).

Ao rever o andamento de toda a atividade, é sabido que a sua proposta original já era bastante audaciosa. O que não foi possível de ser previsto foi o fato dela passar por diversos contratempos, que resultaram em diminuição da carga horária da disciplina, quebra do ritmo das aulas, impedimento do uso do laboratório (consequentemente de seus equipamentos), e afetou diretamente na motivação dos alunos e no desempenho de seus projetos. Mas, apesar de

todos os problemas, os alunos continuaram até o final das aulas com projetos bem interessantes, como por exemplo o acessório de proteção para o joelho modular que se ajusta ao movimento do corpo através de diversas tiras elásticas que une cada um de seus blocos, conforme mostra a figura 34.

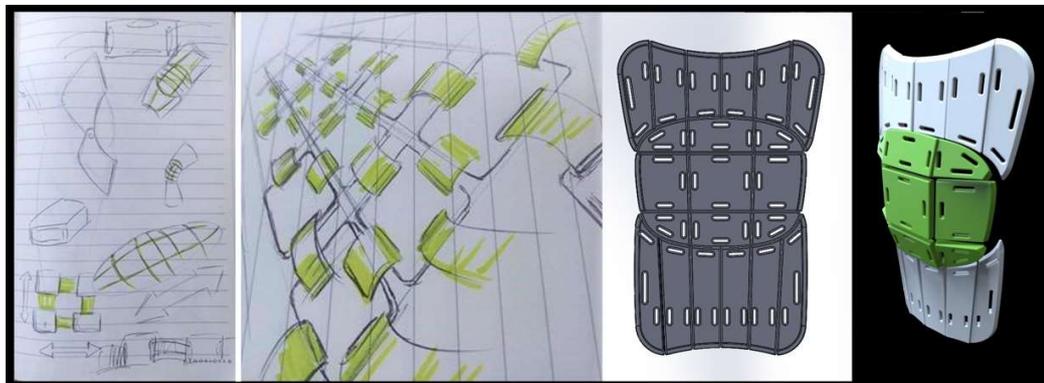


Figura 34: Etapas do projeto de acessório de proteção para o joelho realizado na atividade 3. (Fonte: elaborada pelo autor).



Figura 35: Uso de recursos manuais para confecção do protótipo na atividade 3. (Fonte: elaborada pelo autor).

Infelizmente, alguns pontos que haviam sido planejados inicialmente não foram possíveis de serem observados, entre eles, o uso da modelagem paramétrica para o estudo de propostas e geração de alternativas, o ajuste e adaptação dos modelos através do controle de parâmetros, a materialização dos arquivos digitais em modelos físicos (seja nas etapas intermediárias ou mesmo na conclusão dos projetos). Devido ao fato de não ter conseguido realizar as impressões 3D na última atividade, afetou diretamente a proposta em utilizar o processo cíclico de materialização de ideias, alternando entre os arquivos digitais e modelos físicos para algumas análises do projeto. Ao menos, o escaneamento 3D foi melhor utilizado

que na atividade 2, reforçando que graças a escala maior dos modelos a serem digitalizados, ferramentas tais como o Kinect proporcionam bom desempenho para esta função. Ademais, os alunos continuaram utilizando diferentes meios de representação para cada etapa do projeto. Um dos grupos, inclusive, chegou a desenvolver um protótipo feito de forma tradicional ao final da atividade devido a impossibilidade de utilizar a impressão 3D (devido a reforma do laboratório), conforme mostra a figura 35. Isso mostra o caráter proativo dos alunos em buscar soluções, além da mudança do raciocínio projetual em utilizar protótipos físicos ao invés de contar apenas com os modelos digitais.

5.2.3. Observações a respeito da disciplina II

Assim como na disciplina I, os conhecimentos adquiridos na disciplina II também foram de forma empírica, a partir de observações feitas no decorrer das aulas durante todo o semestre. Em meio aos pontos observados, vale destacar que este experimento passou por momentos difíceis, seja em virtude do período de greve ou, logo após, devido ao impedimento de utilizar o espaço das aulas, impossibilitando o acesso aos equipamentos por conta da reforma dos laboratórios. Tanto a quebra do ritmo de modo forçado, devido à interrupção das aulas durante a greve, quanto o retorno conturbado com a alteração dos locais de aula e falta de equipamentos, acabaram refletindo diretamente na queda de interesse e rendimento dos alunos e, conseqüentemente, afetou o resultado dos trabalhos na última atividade.

Em virtude da reforma do laboratório, por exemplo, apenas alguns alunos possuíam notebooks e grande parte da turma não contava com os seus próprios equipamentos, o que acabou atrapalhando a dinâmica do desenvolvimento do projeto final ao manipular os arquivos em formato digital por não dispor dessas ferramentas em sala de aula. Além da falta dos computadores, não foi possível também ter acesso as impressoras 3D, principalmente na última etapa da disciplina, impedindo explorar melhor o seu uso na execução dos projetos finais.

Todavia, tais dificuldades acabaram servindo para apontar a diferença entre ter aulas de projeto realizadas em sala de aula convencional comparadas à um laboratório específico que conta com algumas ferramentas digitais à disposição, tais como computadores e impressoras 3D. Logo, os problemas identificados serviram para mostrar que em disciplinas cuja proposta é poder explorar o uso de ferramentas digitais em benefício do processo projetual, ter uma infraestrutura dotada dos equipamentos necessários para realizar os experimentos em sala de aula é parte essencial para o andamento adequado do cronograma e influencia diretamente no desempenho dos alunos em suas atividades. Neste caso, atenção também às dificuldades das

universidades públicas em comprar e conseguir manter equipamentos atualizados, pois é preciso estipular um mínimo de infraestrutura para oferecer cursos com disciplinas ligadas à área de tecnologia.

A disciplina II contou com um volume muito maior de impressões, comparado à disciplina I, o que contribuiu de forma positiva para um grande ganho de experiência na configuração e ajustes, seja dos *softwares* ou mesmo da própria impressora. Uma das novas medidas adotadas foi transferir o arquivo *.gcode* para um cartão SD e colocar direto na impressora (os dois modelos contam com leitor de cartão SD), evitando assim qualquer problema que possa estar relacionado na transmissão de informações entre computador e impressora. Esta mudança foi devido ao fato de que, dependendo da configuração do computador, o processo em paralelo de impressão pode deixar o sistema bastante lento e ao sobrecarregá-lo pode afetar o resultado do acabamento do modelo. Outras particularidades tais como descanso de tela, desligamento decorrente da economia ou descarga completa de bateria (no caso dos notebooks) ou mesmo esbarrões no cabo USB, podem comprometer a qualidade da impressão. Neste caso a impressão através dos arquivos transferidos no cartão SD e lidos diretamente na impressora acabou se tornando o padrão para o laboratório. Apesar dos equipamentos disponíveis no laboratório estarem com defeito, recomenda-se também o uso de *nobreaks*, para evitar problemas com picos e rápidas quedas de energia.

Em relação à experiência dos alunos com as impressoras 3D é interessante notar o entusiasmo deles, mesmo depois do deslumbramento típico dos primeiros contatos, ao ver seus projetos sendo materializados. Eles ficam espantados e admirados ao ver seus arquivos digitais ganhando forma física seguido de uma grande empolgação em poder manuseá-los, logo após concluídos. No entanto, ainda não foi encontrada uma solução ideal para o gerenciamento de impressão dos arquivos digitais. Assim como aconteceu na primeira disciplina, o método que foi mais utilizado continua semelhante a um *birô* de serviços, sendo o professor responsável por materializar todos os arquivos digitais dos alunos fora do horário de aula e responsável por entregar todos os modelos prontos na semana seguinte. As falhas deste processo consistem tanto na falta de acompanhamento dos alunos no processo de impressão quanto no atraso gerado, já que para cada modelo físico que eles queiram gerar, o prazo acaba sendo de 1 semana (período entre uma aula e outra pois os encontros são semanais).

Em virtude de muitos modelos não conseguiram ser impressos durante o horário de aula, eles tinham que ser deixados imprimindo de um dia para o outro, o que gerou algumas surpresas. Além de algumas falhas provenientes da própria impressão, teve casos de modelos

interrompidos por desligamento da energia no prédio, transmissão de arquivo corrompidas devido ao repouso automático dos computadores (mesmo o recurso de descanso de tela gera alteração e falhas na impressão), impedimento do acesso ao laboratório por manifestações e também pelo período de greve, entre outros. Um fato técnico interessante é que foi deixado um arquivo de um tabuleiro de jogo de grandes dimensões (aproximadamente 35cmx35cmx8cm) de um dia para o outro, como de costume, por se tratar de um modelo bastante demorado para impressão. Ao voltar no outro dia para verificar o andamento, o prédio havia sido interditado e continuou fechado durante todo o período de greve. Meses depois, com o prédio finalmente reaberto, a impressora continuava ligada e funcionando e o tabuleiro estava concluído sem falha alguma.

Deste modo, mesmo com os alunos imprimindo um número muito maior de modelos em relação à primeira disciplina, ainda não foi possível estabelecer, durante as aulas, a dinâmica do processo cíclico de gerar diversos modelos físicos para estudos do objeto, seja para refinar ou validar a sua forma. Os problemas estão relacionados a ineficiência do período de espera entre uma semana e outra para ter o modelo concluído, como também, conforme ocorreu na disciplina I, os alunos também demonstraram falta de interesse em explorar melhor a etapa de geração de alternativas através da retroalimentação e reestudos das ideias geradas em busca de soluções aos problemas projetuais. A atividade 2 foi certamente a que mais contou com a geração de alternativas, sendo que cada grupo acabou demonstrando uma afinidade maior e explorando uma determinada ferramenta de representação. Enquanto alguns utilizaram o desenho, outros adotaram a massa de modelar como suporte para a geração de ideias, conforme os exemplos mostrados na figura 36. Foi importante notar que nenhum grupo realizou a etapa de geração de ideias utilizando diretamente modelos digitais.



Figura 366: Exemplos de geração de ideias através de desenhos (esquerda) ou massa de modelar (direita).
(Fonte: elaborada pelo autor).

Entretanto, apesar de desenvolverem estudos diversificados para a etapa de geração de ideias, ainda faltou explorar um pouco mais algumas variações a partir dos modelos escolhidos. Ou seja, depois da etapa de geração de alternativas, os grupos escolhiam a melhor ideia e já seguiam até o final do projeto sem realizar qualquer outro estudo ou mudança na proposta selecionada. Nesta etapa do projeto, a impressão 3D poderia auxiliar materializando algumas alternativas para a análise e, através do processo cíclico, retroalimentar as alterações até chegar na solução ideal. Apesar disso, assim como aconteceu na disciplina I, a impressão 3D acabou sendo mais utilizada como recurso de apresentação do projeto já finalizado. Ao menos foi possível ver os alunos aplicando diferentes ferramentas de representação para os estudos do projeto e notar como cada grupo acabou adotando um método diferente para expressar visualmente suas ideias.

Devido às falhas e às dificuldades na utilização das ferramentas de captura 3D, também não foi possível criar um processo fluído de retroalimentação entre os modelos manuais, os digitais e os impressos. Os *softwares* de modelagem digital orgânicos foram uma tentativa em aproximar o processo de modelagem manual com as ferramentas digitais. Acredita-se que, caso consiga uma naturalidade maior ao utilizar essas ferramentas ou mesmo melhorar o processo de captura 3D, certamente, a impressão 3D conseguirá uma integração maior no processo de estudos e geração de modelos para verificação e validação do projeto.

Entre as mudanças realizadas, a divisão da disciplina em 3 atividades se mostrou positiva por diversificar os exercícios, permitindo explorar outras possibilidades, diferente do projeto único como foi realizado na disciplina I. Em contrapartida, a divisão acabou prejudicando a atividade 3, pois o prazo de sua execução se mostrou muito curto, além de outros fatores tais como a sua complexidade, nível de dificuldade muito alto e outros já citados, como a greve e a reforma do laboratório. Possivelmente, devido à sua complexidade, ela poderia ser oferecida como o único projeto da disciplina, sendo dividida em módulos e cada um deles compostos por exercícios introdutórios, como os fundamentos da impressão 3D, passando por modelagem paramétrica para que depois os alunos, já com conhecimentos da ferramenta pudessem se dedicar inteiramente a buscar soluções para o projeto.

Outra possibilidade é alterar a atividade 3 para algo mais simples e trabalhar toda a disciplina II como base para os alunos aprenderem os conceitos e aplicações da impressão 3D, despertando o interesse ao enxergar o seu potencial aplicado a projetos de design.

De todo modo, a disciplina II, mesmo com suas falhas, foi um experimento bastante válido que alimentou com informações importantes que podem vir a contribuir para o aprimoramento na elaboração de uma futura disciplina.

5.2.4. Os questionários aplicados - disciplina II

A disciplina II também contou com uma pesquisa qualitativa para avaliar a opinião dos alunos sobre o conteúdo programático, a qualidade das aulas e também questões a respeito da ferramenta de impressão 3D. Diferente da disciplina I, desta vez foram aplicados 3 questionários, sendo um ao final de cada uma das atividades.

O primeiro questionário buscou avaliar tanto o desempenho e dificuldades relacionadas à atividade 1, como também verificar as expectativas em relação às aulas e as pretensões em continuar utilizando a impressão 3D para os projetos acadêmicos e profissionais. Ele foi composto por questões dissertativas as quais os alunos podiam responder de forma aberta. Apesar de ser mais difícil cruzar este tipo de informação, acaba proporcionando uma maior liberdade para que os alunos exponham suas opiniões.

O segundo questionário usou uma estrutura mista de perguntas, alternando entre a seleção de alternativas e também dissertativas. As questões abordam as possíveis dificuldades dos alunos em relação à atividade 2, também procura saber sobre a experiência de uso de *softwares* de modelagem orgânica, ferramenta de captura 3D, meios de representação e impressão 3D. Além disso, também questiona a relação da universidade com o ensino de *softwares* e de que forma a impressão 3D pode vir a contribuir com os projetos de design.

O terceiro e último questionário desta disciplina também mantém a estrutura de perguntas mistas alternando entre a seleção de alternativas e perguntas dissertativas. Ele se divide entre a avaliação da atividade 3, a avaliação geral da disciplina e perguntas sobre a experiência e perspectivas futuras de uso da impressão 3D. O questionário não se preocupou apenas com a visão dos alunos em relação à experiência que tiveram nas aulas, mas também em explorar a opinião deles em relação a forma como pretendem continuar utilizando a ferramenta de impressão 3D.

Nos três casos, foram aplicados os mesmos modelos de cada questionário para todos os alunos de modo a facilitar o cruzamento das respostas para a avaliação. Suas respostas foram transcritas e agrupadas e podem ser examinadas nos anexos (apêndice II, apêndice III e apêndice IV) deste trabalho.

5.2.5. Análise dos resultados dos questionários - disciplina II

Apesar de ter uma pequena variação do número de alunos que responderam os três questionários, a média foi de 14 alunos para cada um deles. Todos fazem parte do curso de Bacharelado em Design, com uma concentração maior dos semestres intermediários do curso, apresentado no gráfico 10. Logo, analisando os dados do gráfico 10, verifica-se que a disciplina não teve nenhum aluno dos primeiros semestres e como a concentração maior é do quarto período em diante, acredita-se que os seus participantes já possuíam ao menos uma boa base da teoria do processo projetual. A importância em ter uma boa base está relacionada ao fato de poder integrar as atividades práticas desta disciplina com os conteúdos teóricos trazidos de outras no sentido de explorar o uso das ferramentas digitais nas diferentes etapas do projeto.

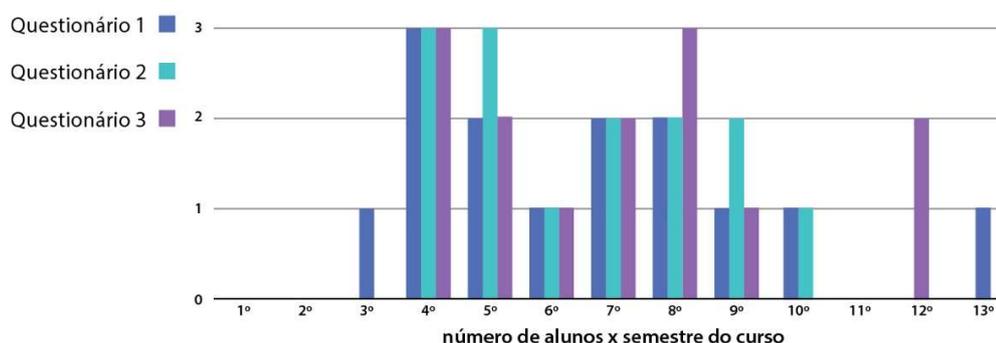


Gráfico 10: Qual o curso e em qual semestre estão os alunos da disciplina? (Fonte: elaborado pelo autor).

Maiores dificuldades em cada atividade da disciplina

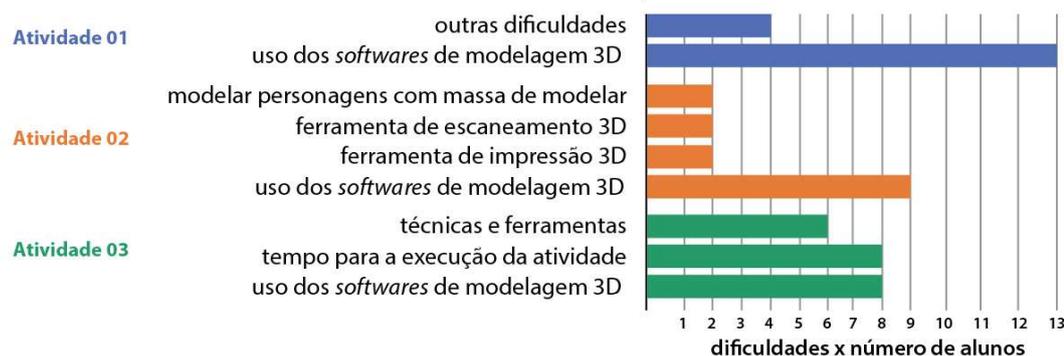


Gráfico 11: As maiores dificuldades listadas pelos alunos para cada atividade. (Fonte: elaborado pelo autor).

Em relação às maiores dificuldades, na atividade 1, apesar de ser necessário utilizar apenas comandos simples, a grande maioria dos alunos reclamaram a respeito do uso do *software* de modelagem 3D. Para muitos, foi o primeiro contato com esse tipo de ferramenta e, conseqüentemente, a maior dificuldade nesta atividade. Da mesma forma, na atividade 2, a

maior dificuldade apontada pelos alunos ainda persiste sobre o uso dos *softwares* de modelagem 3D. A pouca familiaridade e dificuldade em utilizar a ferramenta foram os pontos mais destacados em relação às críticas de seu uso. Empatados em segundo lugar aparecem outras questões, como a falta de domínio com a massa de modelar, problemas com as ferramentas de escaneamento 3D e também com a impressora 3D. Para a atividade 3, as maiores dificuldades ficaram equilibradas e divididas entre a falta de tempo para a execução da atividade, o uso de *software* e problemas relacionados às técnicas e ferramentas. O gráfico 11 mostra um resumo das maiores dificuldades para cada atividade da disciplina.

Desta forma, ao analisar o gráfico é possível perceber que, mesmo não aparecendo na última atividade em destaque tão grande quanto nas outras duas, a maior dificuldade encontrada na disciplina está relacionada ao uso de *softwares* de modelagem 3D. Conforme explicado anteriormente, nesta disciplina foi avisado, desde o seu início, que os professores não seriam responsáveis pelo ensino dos *softwares*, ou seja, os alunos deveriam assumir um papel mais ativo no aprendizado destas ferramentas.

Expectativa dos alunos em relação à disciplina

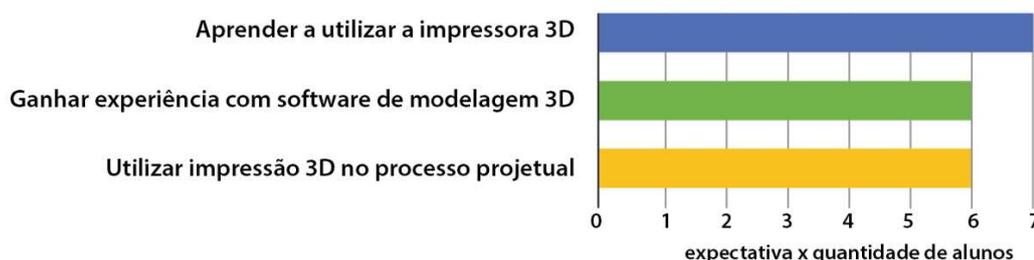


Gráfico 12: Expectativa dos alunos em relação à disciplina. (Fonte: elaborado pelo autor).

No entanto, o primeiro questionário abordou a expectativa dos alunos em relação à disciplina e as três maiores concentrações de respostas foram em relação a aprender a utilizar a impressora 3D (7 alunos), ganhar experiência em relação ao uso de *software* de modelagem 3D (6 alunos) e utilizar a impressão 3D no processo projetual (6 alunos). O comparativo dos resultados pode ser visto no gráfico 12. Logo, alguns alunos ainda apontaram que a disciplina, de alguma forma, fosse contribuir com uma experiência maior nos *softwares* de modelagem 3D. A relação entre *softwares* e disciplinas acadêmicas abrange alunos e professores em uma discussão maior a respeito do ensino das ferramentas digitais nas universidades. Alguns outros

pontos dos questionários ainda vão apresentar novos dados que serão utilizados em uma discussão mais ampla no final desta etapa.

Ainda em relação a expectativa da disciplina, o gráfico 12 mostra que parte da turma não queria apenas aprender a utilizar a impressora 3D, como também aplicá-la no processo projetual. Os alunos também foram questionados se pretendiam utilizar impressão 3D durante o curso logo após concluir a disciplina. Entre as respostas, 11 alunos pretendem utilizar a impressão 3D durante o curso, sendo que 6 deles visam utilizar para a prototipagem de produtos. O que, neste caso, reforça o interesse de alguns alunos em relação ao ensino do uso de ferramentas de prototipagem rápida, tal como a impressora 3D, aplicada no processo projetual.



Gráfico 13: Pretensão em continuar utilizando impressão 3D. (Fonte: elaborado pelo autor).

A última pergunta se refere ao uso da impressora 3D na atividade profissional e a forma como ela seria utilizada. De todos os alunos, nenhum deles respondeu que não pretende continuar utilizando a impressão 3D na atividade profissional, sendo que 5 responderam apenas talvez, enquanto os outros 9 responderam que sim. Dos que afirmaram que pretendem continuar utilizando, 8 deles responderam que o seu uso será voltado a prototipagens e testes dos produtos. O gráfico 13 apresenta as pretensões dos alunos em continuar utilizando impressão 3D, seja durante o curso ou na atividade profissional. Ou seja, apesar de nenhum aluno ter negado que continuará utilizando a impressão 3D, mais de 1/3 da turma não tem a certeza de que forma poderia utilizá-la em suas atividades. O que demonstra interesse na utilização da impressão 3D, mas ao mesmo tempo também mostra que ainda é preciso amadurecer os conceitos de possíveis cenários e aplicações da ferramenta. Ao mesmo tempo, esse reforço em conhecer formas de utilizar a ferramenta pode não apenas auxiliar os alunos que ainda não conseguem identificar ou se decidir sobre as possíveis aplicações da tecnologia de impressão 3D, como também pode ampliar a visão daqueles que enxergam como sendo importante apenas para prototipagens e

testes. Tais questionamentos podem estimular estudos futuros a respeito da utilização da impressão 3D na área de design.

A atividade 2 trabalhou com desenvolvimento de personagens e contou com diferentes ferramentas para a geração de alternativas e estudos formais. Na proposta do exercício, os alunos tiveram que utilizar massa de modelar para os estudos manuais da forma. Devido a necessidade em utilizar também um *software* de modelagem 3D, foi sugerido adotar algum que trabalhasse com modelagem orgânica de modo a aproximar a metáfora da prática manual com a digital. Com isso, uma das perguntas do questionário buscou saber quantos alunos já sabiam utilizar *software* de modelagem orgânica antes de realizar o exercício e quantos utilizaram na execução da atividade. Os resultados apontaram que 11 alunos nunca haviam utilizado, enquanto apenas 3 já tinha experiência prévia no uso da ferramenta. Para o exercício, 13 alunos acabaram utilizando algum *software* de modelagem orgânica e apenas 1 não conseguiu. Os resultados do uso da ferramenta de modelagem orgânica antes e depois do exercício podem ser vistos no gráfico 14.

Software de modelagem orgânica

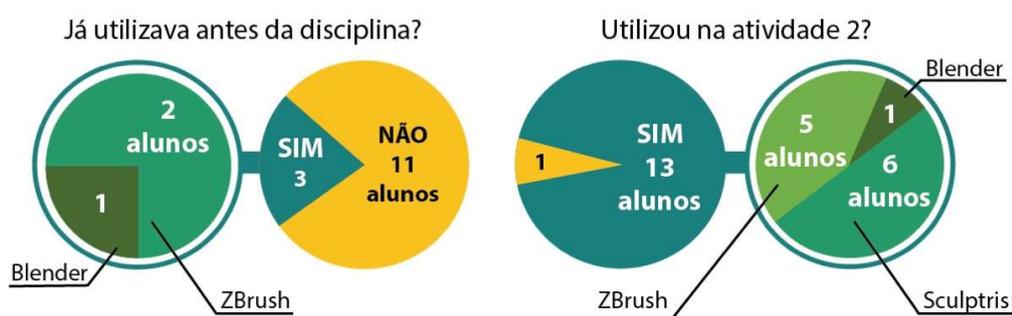


Gráfico 14: Número de alunos que utilizam *software* de modelagem orgânica. (Fonte: elaborado pelo autor).

Os arquivos digitais criados para impressão 3D requerem certo domínio em *softwares* de modelagem 3D. Baseado neste requisito, o questionário buscou saber qual a opinião dos alunos quanto à responsabilidade dos cursos universitários em relação ao ensino de como utilizar estes *softwares*. Dos 14 alunos que responderam, 10 deles acham que é papel dos cursos acadêmicos em ensinar os *softwares* utilizados em suas disciplinas. 3 acreditam que é suficiente ter apenas uma introdução em relação ao uso das ferramentas, mas sem a necessidade de ter uma disciplina específica para isso e 1 aluno descreveu que apenas a recomendação de cursos *online* já era suficiente. Os dados podem ser conferidos no gráfico 15.

É papel da universidade ensinar software?



Gráfico 15: Responsabilidade da universidade em ensinar *software*. (Fonte: elaborado pelo autor).

O que retoma a discussão do papel da universidade em relação ao ensino de *softwares*. No caso específico desta disciplina é possível identificar um verdadeiro impasse já que os professores determinaram que nenhum *software* seria ensinado durante as aulas e boa parte dos alunos apontam como sendo responsabilidade dos cursos acadêmicos. Independente de quem seja a responsabilidade, a habilidade em relação ao uso de *softwares* de modelagem 3D afeta diretamente na qualidade dos modelos gerados para a disciplina. O que demonstra a importância no aprendizado das ferramentas digitais para um melhor desempenho nas atividades de projeto.

Conforme explicado anteriormente, a atividade 2 contou com o uso de ferramentas de escaneamento 3D. No entanto, devido a dificuldade de alguns alunos em sua utilização, nem todos chegaram a utilizá-las e os poucos que tentaram não conseguiram bons resultados. A turma se dividiu em 7 alunos que tentaram utilizar alguma ferramenta de escaneamento 3D e os outros 7 não utilizaram nenhuma, conforme pode ser visto no gráfico 16. Entre os maiores obstáculos, 4 alunos comentaram sobre a dificuldade em conseguir tirar as fotos corretamente e outros 2 comentaram o quanto é difícil conseguir bons resultados no processo.

Utilizou *software* de escaneamento 3D na atividade 2?

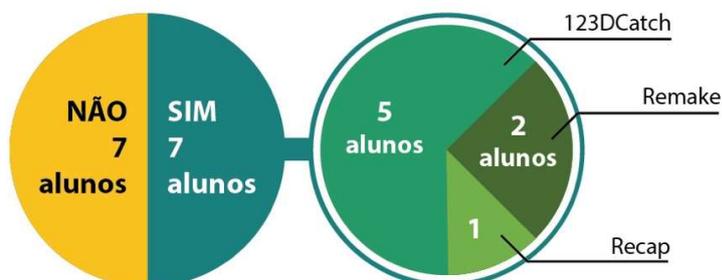


Gráfico 16: Adesão dos alunos à ferramenta de escaneamento 3D. (Fonte: elaborado pelo autor).

A atividade 2 explorou diferentes recursos de representação para a fase de geração de ideias. Sendo assim, o questionário procurou saber se os alunos conseguiram explorar a variedade de ferramentas. 9 alunos responderam que sim, testaram algumas opções de técnicas, enquanto 2 alunos disseram que não e trabalharam apenas com as ferramentas que já possuíam afinidade. O que mostra que boa parte dos alunos resolveram sair do lugar comum e se arriscar com técnicas as quais não estão acostumados para representar suas ideias.

Logo após, o questionário perguntou qual ferramenta os alunos tiveram maior facilidade e qual foi a mais difícil de ser utilizada. O desenho foi a técnica que os alunos mais tiveram facilidade, selecionada por 9 alunos, sendo que nenhum aluno afirmou ter dificuldade com ela. 4 alunos afirmaram ter facilidade com massa de modelar e 2 alunos com *software* 3D. Em relação à dificuldade, empate entre as técnicas de massa de modelar e *software* 3D, sendo apontadas como as mais difíceis por 5 alunos em cada uma delas. Os resultados podem ser vistos no gráfico 17. Tanto o desenho quanto a modelagem (ambos manuais) foram apontados como os mais fáceis de serem utilizados e o *software* 3D o mais difícil, o que de certa forma já é esperado devido ao aprendizado desde a infância dos métodos tradicionais de representação, enquanto as ferramentas digitais ainda não fazem parte do ensino escolar padrão, tendo que recorrer a cursos específicos ou outras fontes de informação, caso haja o interesse em aprender a utilizá-las.

Utilizou diferentes meios de representação na atividade 2?

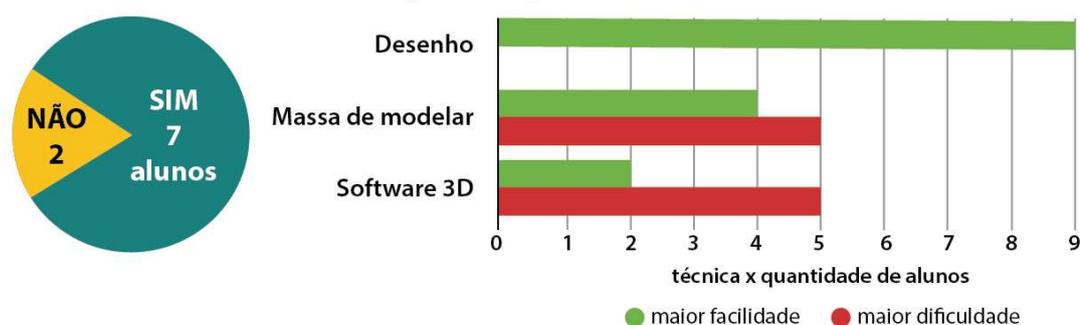


Gráfico 17: Uso de diferentes meios de representação na atividade 2. (Fonte: elaborado pelo autor).

As duas últimas perguntas do questionário da atividade 2 foram a respeito do uso da impressão 3D como ferramenta auxiliar na etapa de geração de ideias. Ao serem questionados sobre a aplicação da impressão 3D nos projetos, um dos alunos respondeu que a impressora não auxilia na geração em si, mas na verificação das ideias. 8 alunos disseram que a impressão 3D auxilia na geração de protótipos, tornando o processo projetual mais ágil. 5 alunos responderam

que a impressão 3D contribui para a visualização do produto, dando uma melhor ideia de escala e volume. Entretanto, na execução da atividade 2, apenas 2 alunos afirmaram que a impressora 3D ajudou na etapa de geração de ideias, conforme mostra o gráfico 18. As justificativas em não utilizá-la na geração de protótipos foram variadas, se dividindo entre: falta de tempo, dificuldade com a impressora, facilidade com outros meios de representação e a impressão 3D sendo apenas para a apresentação final do projeto.

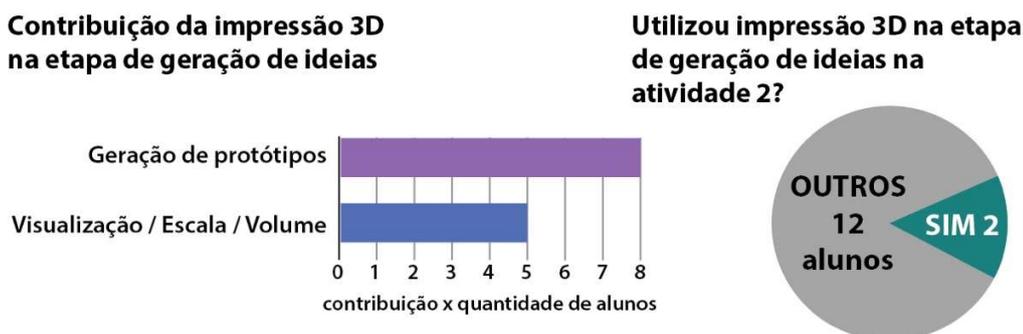


Gráfico 18: Uso da impressão 3D na etapa de geração de ideias. (Fonte: elaborado pelo autor).

Utilizou a impressora 3D para as etapas de desenvolvimento de produto?



Gráfico 19: Uso da impressão 3D nas etapas de desenvolvimento. (Fonte: elaborado pelo autor).

Da mesma forma como os alunos tiveram uma facilidade maior com os métodos tradicionais ao invés das ferramentas digitais, persiste o questionamento se a impressora 3D realmente não é uma ferramenta adequada para a etapa de geração de ideias ou se requer estar mais acostumado e uma maior habilidade em sua utilização. Consequentemente, a ideia da disciplina em utilizar a impressão 3D durante as etapas de desenvolvimento do produto acabou não acontecendo. Dos 14 alunos, 13 disseram que utilizaram a impressão 3D apenas para os modelos finais em toda a disciplina, apenas 1 aluno disse que chegou a utilizar para o desenvolvimento de seu produto, conforme mostra o gráfico 19. Este dado é importante pois mostra que, apesar de ser uma das principais propostas da disciplina, ela acabou não sendo

correspondida. O que leva a questionar o que é preciso para estimular o uso da impressora 3D durante o desenvolvimento do projeto e não apenas em suas etapas finais. Estimular um aprendizado maior do uso da ferramenta, buscar formas de reduzir o tempo de impressão e incentivar o desenvolvimento de protótipos físicos para estudos formais nas fases intermediárias do projeto são algumas das possibilidades de um uso maior da ferramenta pelos alunos.

O terceiro questionário fez uma abordagem sobre a expectativa dos alunos em relação à disciplina. No geral, os alunos gostaram da sua proposta. As críticas foram variadas. Entre elas, alguns pediram aulas específicas para os *softwares* utilizados, assim como ter mais tempo para desenvolver os projetos. Os problemas da estrutura física também foram levantados. Alguns gostariam de ter utilizado a impressora 3D para materializar projetos pessoais. Um dos alunos comentou que o excesso de liberdade acabou atrapalhando, sendo que ele acredita que aulas mais tradicionais seriam mais eficientes, enquanto outro aluno gostou de ter mais liberdade na execução dos projetos.

No entanto, apesar das críticas, todos os 14 alunos disseram que a impressão 3D deve fazer parte do curso de design. Entre as justificativas, se destacam: o fato do design estar associado à tecnologia, a necessidade em modernizar as disciplinas e torna-las mais inovadoras, aproximar a academia dos novos processos produtivos. Outros também responderam que a tradução do projeto do digital para o físico contribui para as etapas de testes de estrutura e forma. Independente da experiência que cada aluno teve com a disciplina, todos acreditam na importância em ter a ferramenta de impressão 3D como parte do curso de design.

A impressora 3D deve fazer parte do curso de design?



Você pretende continuar utilizando a impressora 3D?



Gráfico 20: Impressora 3D como parte do curso de design e se pretende continuar utilizando a ferramenta. (Fonte: elaborado pelo autor).

Por fim, 13 alunos responderam que pretendem continuar utilizando a impressão 3D, seja durante o curso ou mesmo depois de formado. As maiores barreiras levantadas foram em

relação a ter acesso ao equipamento, alguns até afirmaram ter interesse em comprar o equipamento. O único aluno que respondeu não ter interesse justificou dizendo que devido a estar mais voltado para a área de design gráfico, possivelmente, não vai ter muitos contatos com a ferramenta. Os dados finais podem ser visualizados no gráfico 20.

5.2.6. Considerações sobre a disciplina II

Na disciplina I, por algum motivo, não teve nenhum aluno de design matriculado. Buscando contornar essa ausência, a disciplina II foi oferecida na grade do curso de Bacharelado em Design da UFPE. A modificação obteve o resultado esperado, contudo, ela se tornou o inverso da primeira já que na disciplina II acabaram participando apenas alunos do curso de design. De todo modo, o seu perfil foi diferente do experimento anterior e permitiu verificar o comportamento de alunos de um mesmo curso desenvolvendo diferentes atividades de projeto. O que ressalta outra grande mudança, ao invés de um único projeto, foram elaboradas três atividades. A mudança para ter mais de um projeto em uma mesma disciplina contribuiu ao possibilitar diferentes abordagens da impressão 3D em propostas variadas.

Entre as diferenças de um único projeto em relação a três atividades é que, no primeiro caso, ao ter uma única proposta ao longo de toda a disciplina, permite trabalhar com mais calma e um nível de detalhamento muito maior do segundo caso que foram atividades mais ágeis e com menor tempo. Por outro lado, um número maior de atividades torna as aulas mais dinâmicas e colocam um ritmo mais acelerado nos alunos. O lado negativo foi que a quantidade maior de atividades acabou comprometendo o desenvolvimento da terceira, pela falta de tempo em sua execução. Logicamente, é preciso levar em conta alguns contratempos tais como o período de greve e a reforma dos laboratórios.

De todo modo, não é possível categorizar entre certo ou errado, ambas são diferentes abordagens e cabe a cada professor analisar o que busca ao estruturar a disciplina. Entretanto, ao avaliar possíveis mudanças ao oferecer novamente a disciplina II, a atividade 3 poderia ser revista de forma que o tempo e a falta de domínio do uso dos *softwares* não afetassem tanto os resultados finais. Uma alternativa é modificar a atividade 3 para algo mais simples, tendo também a possibilidade de expandir a proposta original da órtese utilizando design paramétrico para um projeto único, semelhante ao que aconteceu na disciplina I. Caso fosse realizada uma nova disciplina utilizando a temática da órtese como projeto único, seria possível segmentar a atividade em módulos sucessivos para que os alunos fossem aprendendo aos poucos os requisitos necessários para a resolução do projeto, requisitando pequenas entregas ao longo da

disciplina. Ao utilizar esta estrutura modular, permite um controle maior do ritmo, verificar pontualmente a dificuldade da turma em relação ao desenvolvimento de cada uma das etapas do projeto e não comprometer a entrega do resultado final.

Da mesma forma como aconteceu com a disciplina I, uma das maiores dificuldades apontada pelos alunos em todas as três atividades, segundo os questionários aplicados, foi relacionada ao uso dos *softwares* de modelagem 3D. Uma parte da turma inclusive respondeu que tinha a expectativa de que a disciplina fosse ensinar essas ferramentas durante as aulas. Cada atividade possuía sugestões de alguns *softwares* que poderiam ser utilizados. No entanto, exceto a oficina de modelagem paramétrica, os alunos tiveram que aprender os *softwares* necessários durante a disciplina por conta própria. A atividade 2, por exemplo, estimulou a quase toda a turma a utilizar ao menos um *software* de modelagem orgânica por utilizar uma metáfora muito próxima ao processo de modelagem manual tradicional. Entretanto, ao analisar os dados dos questionários, é possível identificar que, apesar da grande adesão de interessados no uso das ferramentas digitais, os alunos se sentiram frustrados por não ter domínio em sua utilização. Segundo as respostas, eles consideram responsabilidade da universidade em ensinar a usar os *softwares*, mesmo que não sejam disciplinas com essa única finalidade.

Considerando que os resultados do desempenho de cada uma das atividades são afetados pelo grau de habilidade na utilização dos *softwares*, é preciso encontrar maneiras de conseguir que os alunos busquem o aprendizado nestas ferramentas. Na disciplina I foram desenvolvidas oficinas de alguns *softwares* específicos, enquanto na disciplina II, os alunos foram responsáveis em buscar todo o conhecimento necessário. Em ambos os casos, as estratégias não foram suficientes para suprir as demandas de uso dos *softwares* para as atividades propostas em sala de aula. Nas duas disciplinas os alunos reclamaram a respeito da dificuldade em não saber utilizar os *softwares*. Ainda não foi encontrada uma solução adequada para o nivelamento do conhecimento dos alunos em uma determinada ferramenta digital. Não se sabe ao certo se é melhor restringir o uso a apenas uma, ou ao menos, poucas opções de *softwares*, permitindo assim estruturar oficinas e até mesmo tirar dúvidas dos comandos necessários de uma ferramenta específica para auxiliar na execução dos exercícios.

O uso da modelagem paramétrica, por exemplo, oferece diversas possibilidades para o processo projetual de design. Contudo, mesmo tendo contado com uma oficina voltada ao ensino de um *software* específico, foi muito difícil para os alunos dominarem o uso da ferramenta, ainda mais em um espaço de tempo tão restrito. Neste caso, o ideal é explorar a prática da modelagem paramétrica em uma disciplina que conta apenas com um único projeto

ou então com alunos que já saibam utilizar o *software*. Apesar de todas as dificuldades e os resultados fora do esperado na atividade 3, a combinação entre modelos digitais paramétricos e impressão 3D mostrou grande potencial como recurso de inovação nos cursos de design.

Ainda relacionado ao aprendizado de novas tecnologias, metade da turma não chegou nem a experimentar as ferramentas de escaneamento 3D, na atividade 2, apenas por identificar a dificuldade enfrentada pelos outros alunos. O que demonstra receio e bloqueio frente a novas opções de ferramentas, principalmente quando os colegas demonstram dificuldade em aprendê-las. Por um lado, isso pode ser contestado, já que o questionário apontou que boa parte dos alunos resolveram experimentar diferentes técnicas na execução da atividade 2. Por outro, mesmo com uma pequena parcela da turma afirmando ter facilidade no uso da massa de modelar e alguns poucos o domínio no uso dos *softwares* 3D, o resultado do questionário mostrou o desenho como sendo o meio de representação com maior facilidade para os alunos exteriorizarem as suas ideias.

Ao considerar o desenho a ferramenta de representação utilizada desde a infância, cria uma empatia mesmo com aqueles que não possuem muita habilidade no ato de desenhar. Em contrapartida, tanto a massa de modelar quanto o *software* 3D foram apontados como as ferramentas de maior dificuldade ao representar as ideias. Neste caso, a dificuldade em utilizar a massa de modelar demonstra que mesmo tendo sido utilizada pelos alunos na infância (assim como o desenho), sofreu com a falta de estímulo e ausência de oficinas e/ou ateliês, tanto na escola quanto nas universidades, para exercitar as práticas manuais de representação resultando no esquecimento desta habilidade. Quanto aos problemas relacionados ao uso de *softwares* 3D, eles foram apresentados anteriormente.

Em relação à prototipagem rápida, diferente da disciplina I que trabalhou com duas ferramentas diferentes, a disciplina II se voltou apenas ao uso da impressão 3D. Logo no início, a atividade 1 apresentou e utilizou a impressão 3D em um exercício introdutório. No entanto, apesar do início bastante positivo, o mesmo ritmo não conseguiu ser mantido nas atividades 2 e 3, pois quase todos os alunos, conforme os resultados apontados pelos questionários, acabaram utilizando a impressora 3D apenas para gerar os modelos finais. O que, infelizmente, contradiz um dos principais objetivos da disciplina que era justamente estimular o uso da impressão 3D como ferramenta de retroalimentação no processo cíclico de geração de alternativas. Os alunos tiveram uma facilidade maior com os métodos tradicionais, mas não se sabe se é devido a falta de prática no uso da impressora 3D ou se ela realmente não é uma ferramenta adequada para a etapa de geração de alternativas. Dentre alguns dos fatores

apontados pelos alunos nos questionários por não ter explorado mais o uso da impressora 3D estão: o tempo de espera para o modelo ficar pronto, a dificuldade em manusear o equipamento e a falta de acesso ao equipamento fora do horário de aula.

Pelo menos a disciplina conseguiu integrar diferentes meios de representação em um mesmo exercício. Em especial na atividade 2, os alunos utilizaram variadas técnicas e ferramentas na criação de seus projetos. Mesmo não tendo utilizado a impressão 3D ao longo das etapas de desenvolvimento, os modelos manuais em massa de modelar serviram como base para os estudos de volumetria dos personagens. Deste modo, acredita-se que com uma habilidade maior no uso e mais velocidade no seu processo, a impressão 3D pode contribuir ao materializar modelos físicos para os estudos da forma durante as aulas de projeto. O hibridismo entre as técnicas de representação poderia ter sido mais explorado, apesar de já ter evoluído frente aos resultados alcançados na disciplina I. A atividade 2, no geral, ficou muito bem estruturada e, a partir de alguns ajustes e/ou melhores alternativas de ferramentas de escaneamento 3D, combinado com uma agilidade maior na impressão 3D dos modelos em sala de aula, se mostra como uma excelente oportunidade para os alunos trabalharem com diversos recursos no processo iterativo de representação, avaliação e validação de seus projetos.

Aliás, conforme apontado anteriormente, mesmo contando com uma experiência um pouco maior com os equipamentos de impressão 3D, ainda persiste a dificuldade em conseguir realizar a impressão dos modelos dos alunos dentro do horário de aula. A solução mais simples de tentar contornar essa barreira, considerando que boa parte dos modelos foram impressos desta forma, é disponibilizar o uso do equipamento fora do horário de aula. No entanto, isso acarreta em ter algum tipo de controle em relação ao acesso do laboratório e até mesmo um técnico para acompanhar o uso da impressora 3D caso ela apresente alguma falha. O problema em trabalhar fora do horário de aula é que quebra o ritmo da execução das atividades e não permite que toda a turma tenha contato com o processo de impressão de cada aluno. Algumas soluções podem ser pensadas para tentar contornar isso, desde ajustes nos equipamentos ou nos arquivos para agilizar o processo, trabalhar melhor o conceito de baixa fidelidade dos protótipos para simplificar os modelos e acelerar as impressões durante a fase de ideação, analisar a possibilidade de uma carga horária diferenciada para as aulas que trabalhem com uma impressão mais detalhada dos modelos, ter um número maior de impressoras 3D disponíveis para a disciplina, entre outras.

Por fim, apesar de todas as dificuldades enfrentadas ao longo da disciplina, ao comparar o primeiro e o último questionário, é possível perceber que houve um aumento na quantidade

de alunos que pretendem continuar utilizando a impressão 3D, seja durante o curso ou na atividade profissional. Além disso, todos os alunos acreditam que a impressora 3D deve fazer parte do curso de design. Outro dado positivo foi que quase todos os alunos pretendem continuar utilizando a impressão 3D em seus projetos, seja na universidade ou fora dela. Logo, independente das experiências de cada aluno, ao longo da disciplina, toda a turma teve uma visão bastante positiva em relação ao uso da ferramenta de impressão 3D no processo projetual de design. Apesar disso, os resultados dos questionários também mostraram que apesar do otimismo no uso da ferramenta, muitos alunos não tem uma ideia bem definida de como utilizar a impressão 3D. O que mostra a importância em reforçar iniciativas em conjunto entre laboratórios de pesquisa com as disciplinas acadêmicas para que ambos consigam estudar formas de explorar melhor o uso das ferramentas de prototipagem rápida aplicadas no ensino projetual.

5.3. OFICINA DE IMPRESSÃO 3D

No dia 12 de julho de 2017, foi realizado no Centro de Convivência Lídia Queiroz em Vitória de Santo Antão, interior de Pernambuco, uma oficina de impressão 3D. Ela foi voltada a crianças da comunidade e também adolescentes em conflito com a lei da Fundação de Atendimento Socioeducativo (Funase). A faixa etária dos participantes foi de 12 a 18 anos.

A oficina teve uma carga horária de 6 horas, em um único dia, sendo dividida entre o turno da manhã e da tarde. Os alunos não possuíam conhecimento prévio das ferramentas digitais e nunca tinham visto uma impressora 3D. O interessante é que apesar de não apresentarem conhecimento prévio com nenhum *software* de modelagem 3D, é uma geração bastante ligada a computadores, principalmente em relação ao uso da internet, acesso a redes sociais e consumo de mídia digital como músicas e vídeos. Com isso, foi identificada a facilidade dos alunos em relação ao uso dos computadores, o que contribui na aprendizagem do uso das ferramentas digitais.

Por ser uma oficina desenvolvida em um único dia e a modelagem 3D sendo apenas parte do conteúdo proposto, foi preciso buscar uma ferramenta simples e fácil de aprender, ao mesmo tempo, capaz de atender às demandas do exercício. Uma das primeiras opções foi utilizar o 3D Builder, da Microsoft. Entretanto, por limitação do sistema operacional das máquinas do laboratório, foi necessário pensar em outras opções. Além do sistema operacional mais antigo, todas as máquinas eram de configurações mais simples, não podendo exigir muitos recursos de processamento, memória ou mesmo placas de vídeos dedicadas. Desta maneira, a

opção foi utilizar a versão gratuita do SketchUp, da Trimble Navigation. Ele é um *software* de modelagem 3D fácil de aprender, bastante leve e que atende a quase todos os requisitos do exercício proposto.

5.3.1. Exercício 1: chaveiro

Para o primeiro exercício, foi proposto aos alunos desenvolverem um chaveiro. O primeiro passo foi esboçar, através de desenhos manuais, diferentes alternativas da etapa de geração de ideias. O início através do desenho foi baseado na liberdade que muitos possuem com esse meio de representação de modo a não intimidar e acabar bloqueando o processo criativo. A turma gostou da proposta e, em seguida, começou a gerar muitas ideias. Apesar da faixa etária estar bastante misturada, nenhum aluno se mostrou intimidado, pelo contrário, assim que os primeiros começaram a fazer alguns esboços, os que estavam mais tímidos também começaram a fazer suas criações.

A oficina trabalhou com um processo diferente do que foi aplicado nas disciplinas anteriores. O seu início foi baseado no método de osmose (BONSIEPE *et al.*, 1984), o qual os alunos esperam que o professor execute primeiro as atividades para que depois eles possam simplesmente replicá-las. Neste caso, foi a melhor solução encontrada já que os professores contavam apenas com um único dia para realizar todas as atividades propostas. Então, logo depois de concluída a etapa dos esboços, os alunos acompanharam uma rápida introdução do *software* SketchUp, aprendendo a utilizar algumas funções básicas e experimentaram um pouco do processo de modelagem 3D.

Concluída a etapa de apresentação e um rápido treino no *software* proposto, o próximo passo foi escolher uma das ideias representadas pelos esboços manuais e transformá-la em um modelo tridimensional. Apesar de ter sido o primeiro contato, os alunos não se intimidaram com o uso do *software* e cada um deles criou o seu arquivo 3D. Ao longo do processo de modelagem eles foram tirando dúvidas sobre o uso de determinadas ferramentas e formas de conseguir transportar para o 3D as suas ideias 2D.

Considerando que foi o primeiro contato dos alunos com uma ferramenta de modelagem 3D digital, nada mais comum do que gerar arquivos com muitos erros em sua construção. Falhas comuns para quem está começando tais como deixar algumas faces abertas, elementos espacialmente distantes pois de acordo com a perspectiva utilizada parecem conectados, problemas de escalas, etc. Portanto, cada arquivo concluído precisou ser revisado e corrigido para poder seguir para a etapa de impressão 3D. Como foi prometido a todos os alunos que eles

poderiam ficar com as impressões de seus chaveiros, os sentimentos de ansiedade, curiosidade e exaltação foram grandes motivadores para a execução da atividade juntos a uma grande euforia e entusiasmo.

Pelo conhecimento prévio das disciplinas anteriores, era esperado uma grande quantidade de tempo para conseguir imprimir os chaveiros de toda a turma. Apesar da proposta inicial na estruturação da oficina se basear na impressão de todos os arquivos de uma única vez, isto não foi possível, pois cada aluno acabou concluindo a modelagem em espaços de tempo diferentes. Além disso, cada arquivo ainda precisava ser corrigido e preparado para a impressão 3D, e como estava sendo feito por apenas um dos professores, acabou tomando certo tempo e distanciando ainda mais a conclusão de cada um dos chaveiros. Para agilizar o processo, a solução foi imprimir de dois a três chaveiros por vez, na medida que eles fossem sendo finalizados. Com isso, foi possível criar uma linha de produção com os alunos terminando os seus exercícios, os arquivos entregues sendo corrigidos e finalmente enviados para a impressão 3D.

Com a conclusão da materialização dos primeiros arquivos, a turma se sentiu ainda mais motivada a concluir os seus modelos devido a enorme ansiedade para ver, o quanto antes, os resultados deles impressos em 3D. Uma curiosidade é que mesmo tendo sido explicado que estava disponível apenas o filamento PLA branco, alguns alunos enviavam os modelos 3D coloridos na esperança do resultado final impresso sair da mesma forma. Persistentes, alguns ainda não desistiram e pintaram manualmente os seus chaveiros, conforme pode ser visto na figura 37.



Figura 37: Impressão dos arquivos e alguns chaveiros pintados manualmente. (Fonte: elaborada pelo autor).

O período da manhã da oficina foi concluído com a impressão de parte dos arquivos dos alunos e, conforme esperado, não foi possível terminar as impressões 3D de toda a turma e elas teriam que continuar no período da tarde.

5.3.2. Exercício 2: escaneamento 3D

A proposta inicial para o exercício da tarde era realizar um escaneamento 3D de cada um dos alunos para que eles pudessem utilizar o próprio busto em uma composição tridimensional digital, conforme mostra a figura 38. Entretanto alguns problemas acabaram atrapalhando o roteiro previsto.

Em virtude da oficina ter sido realizada remotamente, foi preciso planejar e transportar determinados equipamentos para realizar as atividades propostas. Entre eles, a impressora 3D, o Kinect (para escaneamento 3D), alguns computadores, notebooks com os *softwares* necessários instalados, *pen drive* para transferência de arquivos e instalação dos *softwares* nos computadores do Centro de Convivência. Infelizmente um dos itens que ficou faltando foi justamente o carregador de um dos notebooks. Apesar da boa autonomia, a bateria descarregou no início da tarde. E era justamente o equipamento com o *software* de escaneamento 3D instalado, além de alguns outros, como os utilizados para a correção dos modelos 3D e dos arquivos *.stl* para impressão. A solução encontrada foi instalar o *software* de escaneamento 3D no outro notebook e utilizar um dos computadores do Centro de Convivência para continuar corrigindo os arquivos dos chaveiros restantes. O outro problema é que o notebook que sobrou também estava controlando a impressora 3D e, com isso, teve que ser utilizado para ambas as tarefas, o que não é ideal pois pode influenciar nos resultados das impressões.

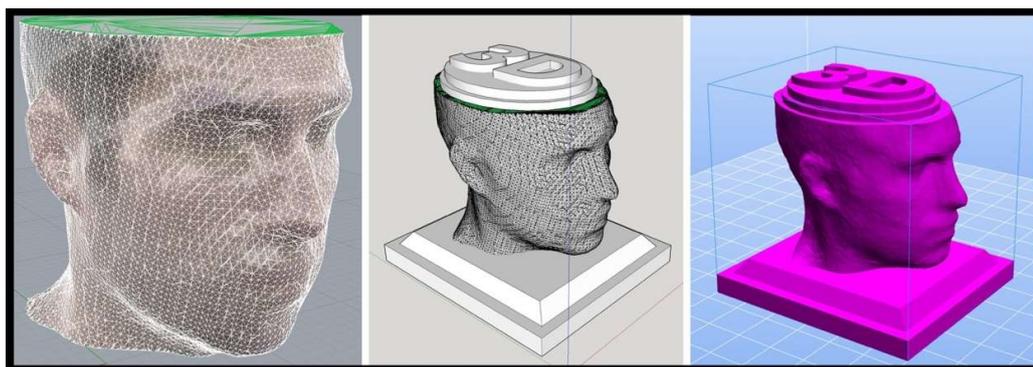


Figura 38: Teste realizado para proposta do exercício 2. (Fonte: elaborada pelo autor).

A falta do notebook com os *softwares* corretos, a capacidade inferior de processamento do computador do Centro de Convivência utilizado para a correção dos arquivos, o desdobramento para solucionar os problemas que estavam acontecendo acabaram gerando

atrasos na atividade original programada para o período da tarde. Além disso, a falta de estrutura do local da oficina também não auxiliou, faltando entre outras coisas, por exemplo, uma cadeira giratória para auxiliar no escaneamento de cada um dos alunos para a segunda atividade.

Apesar de não ter sido possível digitalizar o busto de cada um dos alunos, ainda foi demonstrado o uso do Kinect para o escaneamento 3D. Foram digitalizados alguns alunos e funcionárias do Centro de Convivência que se voluntariaram para servir de exemplo no uso da ferramenta.

5.3.3. Considerações sobre a oficina

A estrutura da oficina foi algo completamente diferente comparada as disciplinas anteriores. A carga horária de 6 horas para apresentar e conseguir desenvolver uma atividade prática requer um esforço muito grande em condensar as informações, ser bastante objetivo e estabelecer um ritmo bem dinâmico. Além disso, ainda é preciso contar com um pouco de sorte para que tudo saia conforme o planejado. No caso desta oficina, a parte da manhã correu tudo bem e dava a entender que o cronograma seria seguido de forma tranquila até a sua conclusão. No entanto, no período da tarde, o planejamento ficou bem conturbado devido às falhas ocorridas. Mesmo assim, a oficina conseguiu demonstrar todas as tecnologias as quais se propôs a apresentar.

Na parte da manhã, foi ensinado as funções básicas do *software* de modelagem 3D e, com ele, os alunos conseguiram reproduzir os seus desenhos manuais dos chaveiros através de modelos tridimensionais. Todos os arquivos foram impressos através da tecnologia de impressão 3D e seus resultados finais foram entregues aos alunos. Durante a tarde, foi apresentada a tecnologia de escaneamento 3D e demonstrado o potencial ao combinar o resultado da digitalização, o *software* de modelagem digital e a ferramenta de impressão 3D.

A metodologia utilizada na oficina foi diferente das disciplinas I e II pois ela seguiu uma estrutura de tutorial a qual os alunos replicavam ensinamentos apresentados pelos professores. Apesar disso, o projeto desenvolvido por eles, mesmo seguindo uma mesma temática, foi de autoria própria e não simplesmente um exemplo comum seguido por todos. O que, em parte, acaba proporcionando uma individualidade e identificação com cada objeto que foi desenvolvido na atividade proposta. O pouco tempo disponível para a execução do exercício exigiu um controle muito maior das variáveis do processo, sendo imprescindível limitar o uso a apenas um *software*, o qual os professores possuem profundo conhecimento, para poder auxiliar as possíveis dificuldades que surgissem durante o desenvolvimento dos projetos. O

tempo é essencial neste caso, então respostas e soluções rápidas são requisitos essenciais para que toda a turma consiga concluir a tarefa a tempo.

A faixa etária da turma também é menor do que os alunos do ensino universitário. Logo, não é possível exigir o mesmo grau de maturidade. Além disso, o perfil da oficina não exige o mesmo comprometimento e dedicação de uma disciplina acadêmica. Apesar disso, a turma se mostrou bastante esforçada, principalmente na parte da manhã, empolgados com a materialização dos chaveiros. O fato de ser uma geração muito ligada ao uso de computadores e dispositivos eletrônicos ajudou bastante no aprendizado do *software* de modelagem 3D, no entanto, acarretou em um grande desafio em disciplinar a turma em relação ao uso da internet e das redes sociais nos computadores do laboratório durante as atividades. Em alguns momentos foi preciso desconectar todos os computadores da internet para retomar a atenção dos alunos. Mas, no geral, todos se mostraram bastante esforçados e interessados nos exercícios da oficina. O sentimento de apropriação e orgulho dos próprios projetos criados foi notado em toda a turma. A satisfação deles em ver o objeto físico como resultado do próprio projeto materializado, sendo que o mesmo tinha saído de esboços de ideias apenas algumas horas antes foi o principal elemento motivador da disciplina, tanto para os alunos quanto para os professores.

Ao avaliar os resultados obtidos, certamente a turma ainda precisa de mais exercícios para amadurecer o domínio e o emprego das ferramentas de modelagem 3D e materialização digital. Entretanto, foi uma excelente oportunidade, ainda mais considerando o seu caráter introdutório, de apresentar e demonstrar alguns exemplos utilizando aplicações práticas, contando com a participação ativa dos alunos durante todo o processo.

As falhas acabaram reforçando a importância em ter um espaço preparado para este tipo de atividade com equipamentos já previamente instalados e funcionando, com seus *softwares* e máquinas devidamente configurados para evitar surpresas e minimizar os possíveis erros que possam vir a acontecer. Da mesma forma como ocorreu no final da disciplina II, não ter um ambiente próprio para a execução destas atividades pode vir a comprometer o sucesso da execução de seus projetos e, por consequência, a qualidade das aulas oferecidas.

Ao avaliar os resultados obtidos através da estrutura guiada da oficina fez repensar algumas possibilidades para futuras disciplinas. Por exemplo, ao utilizar uma etapa introdutória, seguindo a linha de tutorial aplicada na oficina, pode contribuir em um melhor aprendizado nas ferramentas digitais. Depois de aprender o básico de modelagem 3D e materialização digital de forma guiada, os alunos podem então começar a utilizar esses conteúdos aplicados em seus projetos de maneira mais independente.

5.4. ENTREVISTAS

Dando continuidade ao processo de coleta de dados, parte dos registros foram feitos em forma de entrevista. Segundo Gerhardt *et al.* (2009), a entrevista constitui em uma técnica alternativa para se coletarem dados não documentados sobre determinado tema. Ela pode ser de caráter exploratório ou uma coleta de informações.

Para este trabalho, o tipo da entrevista foi definido como semiestruturada, uma vez que, apesar de seguir um roteiro previamente estabelecido com perguntas predeterminadas, o entrevistador permite e, por vezes, até incentiva o entrevistado a falar livremente sobre assuntos que vão surgindo como desdobramentos do tema principal. Além disso, seu objetivo é de obter diferentes respostas à mesma pergunta, possibilitando que elas sejam comparadas.

O primeiro bloco de entrevistas reúne profissionais da área acadêmica com artigos publicados, laboratórios e projetos de pesquisa além da experiência com as ferramentas de impressão 3D. O segundo bloco traz profissionais da área empresarial que possuem experiência e atuam direta ou indiretamente com o uso da tecnologia de impressão 3D em seus projetos. Apesar da base do roteiro de perguntas ser comum aos dois núcleos (acadêmico e empresarial), cada um possui uma pequena variação buscando explorar questões particulares tais como a fonte de financiamento dos equipamentos no ambiente acadêmico e os benefícios trazidos pelo uso da tecnologia para cada uma das empresas.

Nesta etapa, a síntese das informações coletadas será apresentada de forma separada, tratando primeiro o núcleo acadêmico e, na sequência, o empresarial. Depois, os dados de todas as entrevistas serão confrontados e analisados de modo, conforme especificado anteriormente, a compreender melhor a visão dos profissionais quanto aos campos de atuação, diferentes usos da ferramenta e as formas que está sendo empregada a tecnologia de impressão 3D no processo projetual.

A quantidade reduzida dos participantes e a localidade restrita a cidade do Recife se deu pela limitação de tempo e custo, tanto de execução quanto de deslocamento. Por outro lado, a limitação do estudo se apresenta como um fator positivo ao trazer uma análise mais focada trazendo um retrato regionalizado a respeito do tema pesquisado. O registro das entrevistas, tanto acadêmica quanto empresarial, trazem relatos das experiências de diferentes profissionais, auxiliando a ter uma compreensão melhor, a respeito das tecnologias de impressão 3D. Ela visa, inclusive, auxiliar em uma das dificuldades identificadas nos questionários aplicados aos alunos que aponta a necessidade de amadurecer os conceitos de possíveis cenários e aplicações da ferramenta.

De forma semelhante ao processo de coleta, pré-análise e tratamento dos dados dos questionários, as entrevistas também foram submetidas a técnica de análise de conteúdo. Todas elas foram capturadas e registradas em formato de áudio e, posteriormente, transcritas. As informações transcritas, assim como foi feito com os questionários, passaram por uma análise temática, estabelecendo relações através do agrupamento das respostas utilizando feixes de relações de suas palavras, frases ou resumos. Os resultados obtidos serão descritos a seguir.

5.4.1. Síntese das entrevistas acadêmicas

Nesta etapa da pesquisa, participaram os professores Leonardo Castillo e Walter Franklin, ambos do Departamento de Design e os professores Pedro Alessio e Leticia Mendes do Departamento de Expressão Gráfica. Todos fazem parte da Universidade Federal de Pernambuco, câmpus do Recife. A entrevista contou com um roteiro que foi enviado previamente para todos os participantes. O questionário foi estruturado através de uma sequência de assuntos contendo: introdução (apresentação do entrevistado e quanto tempo utiliza a impressão 3D); compra e manutenção dos equipamentos; aprendizado do uso do equipamento; aplicação do equipamento; diferenciais da ferramenta e, por fim, impressão 3D no ensino. Cada assunto possui uma determinada quantidade de perguntas e foi estruturado de modo a tornar a entrevista mais fluída de modo que o entrevistado tenha a sensação de estar conversando e não a de responder um questionário.

Logo após a apresentação e experiência profissional, os professores responderam quanto tempo possuem de experiência com a impressão 3D e, segundo as respostas: Leonardo (2 anos), Pedro (2 anos), Walter (5 anos) e Leticia (10 anos). Todos os professores entrevistados contam com seus próprios laboratórios equipados com ferramentas de impressão 3D. Logo depois, a entrevista buscou saber qual foi a origem dos recursos para compra e manutenção dos equipamentos de impressão 3D. Todos afirmaram que os recursos são provenientes, totalmente ou uma grande parte, através de projetos financiados pelo CNPq, FACEPE ou CAPES. Quanto aos insumos, tanto o Leonardo e, principalmente, o Walter se anteciparam e criaram um estoque de filamentos, através de financiamentos de projetos anteriores. No entanto, Leticia e o Pedro estão tendo dificuldade pois afirmaram que não estão aparecendo editais para a compra de insumos e o estoque deles chegou ao fim. A solução temporária encontrada foi de ratear os custos com os demais professores do laboratório. Pedro e Leticia também comentaram a dificuldade em encontrar um local que venda rolos de PLA ou ABS em Recife. Como precisam

comprar de outros estados, em uma situação de emergência é bastante complicado, pois ainda é preciso esperar o envio pelo correio.

Em relação a algum equipamento que já esteja ultrapassado ou que apresenta alguma limitação de uso, os professores relataram que, devido ao avanço constante da tecnologia, já existem modelos mais recentes de impressoras 3D com alguns recursos mais avançados. No entanto, apesar de terem interesse em atualizações, os equipamentos que eles possuem, no geral, não apresentam limitações em seu uso.

O aprendizado do uso do equipamento das impressoras 3D por FDM *open source* foi através do processo de tentativa e erro para Leonardo e Walter. No caso do outro equipamento por extrusão de Walter, ele se deslocou para São Paulo para fazer um curso diretamente com o fabricante. E também destaca a diferença entre a facilidade de uso sendo muito maior em um equipamento proprietário em relação a um *open source* que necessita calibrar, entre outros ajustes. Para Leonardo, toda essa liberdade e variações de configurações nos equipamentos *open source* pode estar ligado a origem *hacker/ maker* das impressoras. Pedro comenta que o seu aprendizado foi através da internet e conversas por telefone diretamente com os fabricantes. Letícia vem utilizando impressão 3D desde quando iniciou o mestrado, tendo experiência de uso através das aulas em laboratório, nas disciplinas da pós-graduação. Mesmo assim, ao adquirir os equipamentos para a montagem do laboratório na UFPE, pediu dicas e ajuda a outros colegas utilizando bastante a troca de informações.

A internet é a fonte de informações mais utilizada pelos professores para encontrar soluções para eventuais problemas. Tanto Walter quanto Pedro também citaram o contato telefônico com os fabricantes em caso de eventuais dúvidas. Letícia utiliza também a rede de contatos do grupo que criou no whatsapp, além de contar com um bolsista que dá suporte técnico aos equipamentos.

No caso do uso dos *softwares* que trabalham em conjunto com a impressora 3D, apesar de alguns dos professores já contarem com experiências prévias em modelagem 3D, todos tiveram que aprender as ferramentas de impressão e fatiamento devido a compra dos equipamentos. E em relação ao grau de dificuldade em aprender a utilizar uma impressora 3D, tanto Pedro quanto Letícia disseram que é bastante elevado. E afirmam que o problema maior é depender do processo de tentativa e erro para a geração dos arquivos. Para Letícia, existe uma falsa ideia, passada pelos vídeos de divulgação dos fabricantes os quais basta enviar o arquivo para impressão e ele já sai pronto sem problema algum. Segundo Leonardo, a maior dificuldade está relacionada à expectativa do resultado impresso corresponder ao arquivo digital. Ele diz

que o nível de detalhes do modelo tridimensional digital não corresponde ao modelo físico gerado. Walter respondeu que a dificuldade depende do equipamento que for utilizar. E explica que, enquanto em alguns equipamentos é necessário apenas carregar o arquivo e tudo segue de forma automática até gerar o modelo pronto, os equipamentos *open source* oferecem maior dificuldade pela quantidade de configurações necessárias para a impressão.

Quanto a aplicação da impressora 3D nos projetos atuais, Leonardo descreve o seu uso para o estudo de como desenvolver formas complexas através da combinação com *software* de design paramétrico. Para ele, a impressora 3D vai contribuir na forma como expressar as ideias dos designers. Walter a está utilizando em pesquisas ligadas à área de pós-graduação, seja para o mestrado ou doutorado. Também realiza alguns projetos junto às empresas. Ele utiliza mais a impressão 3D para as etapas de verificação, seja de modelos, peças, volumetria, entre outras e afirma que o seu uso está mais concentrado na fase final do projeto. Pedro está desenvolvendo um curso básico de prototipagem, também a utiliza em disciplinas introdutórias, em projetos de extensão e em projetos pessoais mais complexos. Letícia desenvolve um projeto de iniciação científica sobre habitação de interesse social e também em disciplinas na Expressão Gráfica. Nas disciplinas, ela tenta conscientizar os alunos de que a impressão 3D pode ser utilizada nas etapas de desenvolvimento e não apenas para gerar o modelo final do projeto.

Os entrevistados também opinaram sobre a impressão 3D estar contribuindo ou não com os projetos de design. Segundo Pedro ela está contribuindo ao permitir materializar e poder tocar o objeto que se cria. Ele afirma que essa transposição do virtual para o digital é um dos grandes diferenciais que a impressão 3D proporciona. Letícia também aponta a materialização do objeto como o diferencial da ferramenta além de permitir a avaliação da viabilidade dos projetos. Para ela, a materialização é muito importante e o maior benefício. Em contrapartida, Leonardo acredita que a ferramenta ainda precisa evoluir e se tornar mais integrada nos projetos, assim como aconteceu na introdução dos computadores. Walter afirma que, no Brasil, a impressão 3D ainda é muito incipiente e que ainda não está sendo utilizada como deveria.

A grande motivação em utilizar a impressão 3D em seus projetos foi, segundo Leonardo, a possibilidade que a ferramenta permite ao transgredir a lógica tradicional da geometria euclidiana. Para ele, a impressão 3D vai auxiliar na construção de formas complexas através do uso do design paramétrico. Walter começou a utilizar a ferramenta por curiosidade e depois do primeiro contato foi se interessando e aprofundando cada vez mais. Letícia aponta as pesquisas desenvolvidas em sua formação no mestrado e doutorado por ter mudado a visão do processo

de projeto. Hoje, ela tenta empregar esses conceitos em suas aulas utilizando ferramentas de prototipagem rápida.

Em relação ao diferencial da ferramenta, Leonardo descreve o processo de prototipagem manual como sendo dispendioso e lento. Com a chegada dos computadores, a modelagem 3D trouxe mais agilidade no processo além de explorar melhor as formas e a visualização dos objetos pelas facilidades das ferramentas digitais. A impressora 3D, segundo ele, vem substituir a limitação de outras máquinas de fabricação em um processo mais ágil e de baixo custo. Para Walter, apesar de todos os processos de prototipagem rápida ter como objetivo gerar modelos, mudando apenas a tecnologia, a impressão 3D permite produzir, por exemplo, uma engrenagem pronta, sem necessidade de montagem em um processo simples e ágil, justificando o termo prototipagem rápida. Pedro enxerga a impressão 3D como uma ferramenta limpa, compacta, simples e prática de ter em um laboratório e que permite criar rapidamente coisas nela. Ele lembra que seu custo é muito menor do que uma CNC ou cortadora a laser, por exemplo. Letícia também destaca o baixo custo do equipamento como o grande diferencial e, com isso, possibilita difundir cada vez mais o uso da ferramenta, inclusive afirma que as pessoas já podem ter uma em casa.

As maiores limitações apontadas e os aspectos que a impressora 3D ainda pode evoluir foram, segundo Leonardo, o grau de acabamento, fidelidade e o tempo de impressão. Além disso, aponta os avanços que já estão acontecendo, voltados ao uso de diferentes materiais de impressão, maior facilidade de uso e, conseqüentemente, diferentes aplicações em projetos. Walter acredita que as impressoras 3D SLS, SLA ainda podem baratear, assim como acontece com FDM. Outro ponto é a diferença da qualidade e facilidade do uso de determinadas impressoras em relação as opções *open source*, que apesar de mais baratas, ainda dão bastante trabalho para evitar falhas. Para Pedro, um dos maiores problemas é o perfil da ferramenta ainda ser muito experimental e que deveria ser mais prática e menos suscetível a falhas e manutenções, seja na parte de *software* ou de *hardware*. A maior limitação para Letícia é a ponte entre o arquivo .stl pronto e a impressão. Para ela, os *softwares* de gerenciamento de impressão deveriam ser mais simples, eficientes e ter uma compatibilidade maior com diferentes equipamentos.

A aplicação da impressora 3D no ensino, de acordo com Leonardo, vai auxiliar no processo de design. Segundo ele, vai permitir um amadurecimento nos projetos acadêmicos, possibilitando aos alunos explorarem melhor a morfologia. Walter considera o ensino de ferramentas como a impressora 3D como sendo uma tendência e, conseqüentemente, a

modelagem manual vai cair em desuso. Ele afirma que vai ser mais rápido e fácil poder ver o próprio produto pronto. Pedro considera a impressora 3D como uma ferramenta similar ao computador ou uma impressora comum, então não está certo da necessidade em ter que ensiná-la. No entanto, acredita ser uma ferramenta que veio para ficar, com grandes contribuições para as áreas de design e engenharia. Letícia, por sua vez, não tem dúvidas quanto ao uso da impressora 3D e indica que seu uso deve ser feito desde a graduação e que, desta maneira, acredita formar profissionais completamente diferentes. Ainda comenta que uma das vantagens da ferramenta é permitir testar a ergonomia do projeto através da materialização e, caso não esteja adequado, volta para corrigir o arquivo digital e imprime novamente.

O ensino de *softwares* em disciplinas acadêmicas é um ponto controverso e, segundo Leonardo, a quantidade de tutoriais disponíveis é grande a ponto de não ter que dedicar o ensino universitário especificamente para isso. Ele afirma que o custo do ensino em uma universidade pública é alto, conseqüentemente, os custos de manutenção dos laboratórios em instalar e atualizar os *softwares* sai muito caro. Por fim, justifica que existem questões mais importantes para serem abordadas. Para Walter, depende do curso, mas que é obrigação da instituição preparar os alunos para o mercado de trabalho. Mas admite que são poucos os cursos que, hoje, oferecem isso. Inclusive ele afirma que isso não acontece no curso de Design da UFPE. Pedro coloca que ao menos uma parte introdutória é obrigatória para aqueles cursos que se propõe a utilizar *softwares* em suas aulas. Mas não tem certeza quanto a aprofundar no domínio técnico e prático. Ele oferece um curso de extensão por vontade própria, mas considera que não é obrigação exigir domínio do *software* por não ser um curso técnico, apesar de esperar um esforço dos alunos em aprender por conta própria. Como possível solução, ele propõe estabelecer parcerias com os desenvolvedores dos *softwares* para ensinar a utilizar as suas próprias ferramentas. Letícia acha que não é obrigação da universidade ter disciplinas específicas para o ensino de *software*. No entanto, acha necessário discutir as possibilidades de algumas ferramentas, as vantagens e limitações de cada uma delas e que cabe ao aluno se aprofundar mais naquelas que acreditam ser mais úteis para cada um deles. Além disso, em disciplinas mais práticas, ela oferece oficinas que ensina o conteúdo básico de alguns *softwares*.

No final da entrevista, os professores foram questionados em qual etapa e em que tipo de disciplina a impressão 3D estaria alocada caso fizesse parte da grade curricular do curso. Leonardo apontou que a tendência da grade curricular não é continuar em um processo sequencial obrigatório, entretanto, reforçou a importância do processo de materialização como sendo essencial para o design. Sendo assim, identifica como sendo interessante os alunos já

terem o contato com essa ferramenta logo no início do curso pois, nas disciplinas mais avançadas, eles já vão ter uma boa base de como utilizá-la aplicada em seus projetos. Walter explica que hoje o Departamento de Design não conta com uma disciplina deste tipo, mas acredita que possa ser aplicada no início do curso em sistemas de representação junto a modelagem manual e digital. Pedro afirma que ainda não encontrou um equilíbrio, mas acredita que o ensino logo no início ajuda ao aluno ao conhecer a ferramenta, ter uma ideia melhor das restrições para depois se dedicar exclusivamente ao desenvolvimento de projetos. Letícia relata que está tendo uma discussão em relação a reformulação da grade do curso de Licenciatura em Expressão Gráfica. Para ela, a introdução de ferramentas, tais como as de prototipagem rápida, ajuda a despertar o interesse dos alunos, reduzindo a evasão dos primeiros semestres e também permite que a turma vá se familiarizando com os equipamentos, aos poucos, a ponto de já ter um certo domínio para as disciplinas de projeto.

5.4.2. Síntese das entrevistas empresariais

Nas entrevistas empresariais, participaram: Caio Viana da id3a, Hugo Honijk da Spark design & innovation, Edgar Andrade (com participação de Gustavo Wanderley e Henry Coelho) do FabLab Recife, Gabriella Martins da Werkbund e Tarciana Andrade do LOUCo. Todas as empresas ficam localizadas na cidade do Recife. Assim como nas entrevistas acadêmicas, também foi enviado o roteiro, previamente, para todos os participantes. O roteiro segue a mesma estrutura de assuntos utilizado com os profissionais acadêmicos contendo: introdução (apresentação do entrevistado e quanto tempo utiliza a impressão 3D); compra e manutenção dos equipamentos; aprendizado do uso do equipamento; aplicação do equipamento; diferenciais da ferramenta e, por fim, impressão 3D no ensino. Neste questionário também existiu a preocupação de estruturar as perguntas de modo a tornar a entrevista mais fluída para que o entrevistado tenha a sensação de estar conversando e não a de responder um questionário. Apesar da diferença e variação de perguntas entre os questionários acadêmico e empresarial ser muito pequena, no caso das entrevistas empresariais, o roteiro teve que ser constantemente adaptado seguindo as diferentes atuações de cada profissional, ramo da empresa e, até mesmo, explorar assuntos pertinentes a pesquisa (não contemplados no roteiro) que surgiam em determinadas respostas de cada profissional.

A seguir, serão destacadas algumas informações extraídas das transcrições das entrevistas empresariais buscando confrontar a opinião de diferentes profissionais sobre a

ferramenta de impressão 3D, a sua aplicação em seus projetos, os diferenciais e as suas limitações e a opinião deles a respeito de seu uso no ambiente acadêmico.

Quanto aos anos de experiência de uso de cada profissional com a ferramenta de impressão 3D, podem ser ordenados da seguinte forma: Caio (1 ano e 3 meses), Tarciana (1 ano e 6 meses), Edgar (2 anos e 9 meses), Gabriella (quase 10 anos) e Hugo (11 anos).

Em relação a dificuldade em encontrar peças de reposição ou insumo, Gabriella afirma que sempre teve dificuldade, seja em relação a peças ou o insumo. Comentou também que quanto mais aberto o equipamento fica mais fácil conseguir peças e insumo e quanto mais fechado se torna mais difícil. Caio explica que pelo fato das peças serem importadas da China, demora bastante para elas chegarem. Quanto ao insumo, ele explica que mesmo sendo comprado no Brasil, por ser enviado de outros estados, leva um certo tempo para chegar pelos Correios. Tarciana disse não ter dificuldade em relação a peças pois caso seja necessário eles entram em contato diretamente com o fornecedor, já o insumo, comentou que especialmente a uPrint é mais complicado, não pela dificuldade de acesso, mas pelo valor bastante alto pois ele é comprado exclusivamente através de um único fabricante. Edgar diz que não tem dificuldade alguma em comprar filamento e as peças depende muito de qual precisa ser trocada, em alguns casos, a própria impressora pode produzir a peça necessária para o reparo. Hugo, entretanto, por nunca ter contado com equipamentos próprios não pode responder esta pergunta.

A outra questão foi referente a alguma limitação de uso ou mesmo caso de algum equipamento adquirido pela empresa e que já se apresenta ultrapassado. Caio respondeu que mesmo a empresa utilizando equipamentos FDM de baixo/ médio custo eles atendem as necessidades da empresa. Entretanto, existe a limitação de detalhes muito finos que as máquinas não conseguem fazer. Para Edgar a única limitação é por conta da tecnologia utilizada (FDM) mas que os equipamentos ainda não estão ultrapassados. Para Gabriella, a limitação depende muito do projeto a ser desenvolvido. Ela afirma que a tecnologia FDM evoluiu muito pouco desde o seu surgimento, a grande melhoria até hoje foi na parte de usabilidade do *software*. Tarciana afirma que a grande limitação da Ultimaker é não contar com o suporte solúvel igual a da uPrint, apesar de ter uma melhor resolução de impressão. Para Hugo, apesar de achar a impressão 3D prática para os projetos, a questão de acabamento ainda deixa muito a desejar. Ele afirma que ainda é necessário bastante trabalho de acabamento manual para utilizar como modelo de apresentação em um projeto.

O aprendizado do uso dos equipamentos, segundo Caio, foi basicamente por tentativa e erro, sendo que o processo varia de acordo com cada máquina utilizada ou projeto

desenvolvido. O mesmo vale para Tarciana que também aprendeu através da tentativa e erro. Ela também reforça que ainda não se sente totalmente confortável ao ter que calibrar o equipamento para um projeto específico. Edgar brinca que até hoje ainda não sabe utilizar corretamente a impressora 3D e comenta a frustração da expectativa ao acreditar que se trata de um equipamento *plug and play* em que basta apertar um botão e a impressora faz todo o resto. No entanto, ele se sente frustrado pela dificuldade da realidade do processo de impressão com todas intervenções e configurações necessárias para se obter um bom resultado. Afirma que a cortadora a laser, por exemplo, é um equipamento que trabalha de forma muito mais simples e com resultados muito mais confiáveis. Gustavo, seu colega de trabalho no FabLab, explica que aprendeu a utilizar a impressora 3D pesquisando bastante sobre o assunto e praticando bastante também através do processo de tentativa e erro, tendo que imprimir muitas e muitas peças. Gabriella define o processo de ensino como algo feito de forma errada. Para ela, não se trata de simplesmente aprender a utilizar a impressora 3D, mas de aprender a projetar. Ela diz que antes de saber imprimir é preciso saber modelar e, antes disso, aprender a projetar. Quanto ao uso da ferramenta, também fala do processo de tentativa e erro e que é preciso bastante paciência para alcançar os resultados desejados. Já Hugo não pode opinar sobre esta questão pois não utiliza diretamente os equipamentos de impressão 3D, recorrendo a parceiros ou birôs de impressão para a execução de seus projetos.

Segundo Caio, a maior fonte de busca de informações no caso de alguma eventual dificuldade é a internet. Ele diz que todos da empresa correm atrás de informações na busca de soluções no caso de alguma dificuldade. Gabriella também recorre a internet, pesquisando em fóruns de discussões próprios de seu modelo de impressora, e também em sites tais como o Thingiverse e o próprio Google. Tarciana diz que existe um profissional específico no Porto Digital para problemas relacionados a impressora uPrint e também ao manual do equipamento que é bastante completo. No caso da Ultimaker, também recorre a fóruns na internet, vídeos no YouTube e suporte do próprio fabricante. Gustavo explica que a sua formação em mecânica e mecatrônica ajuda bastante na solução dos problemas que surgem no dia a dia.

No caso dos *softwares* que trabalham em conjunto com a impressora 3D, Caio já sabia utilizar alguns *softwares* de modelagem 3D, mas os específicos para o uso das impressoras tiveram que ser aprendidos devido a compra dos equipamentos. Tarciana também aprendeu a utilizar os *softwares* devido a compra dos equipamentos. Ela já tinha comentado que a uPrint conta com um manual de uso e a Ultimaker possui módulos de tutoriais fornecidos pelo próprio fabricante. Edgar também teve que aprender devido ao uso das impressoras e comenta que as

mais caras, como a Ultimaker, possuem um suporte de *software* mais eficiente que impressoras mais baratas, tais como a Grabber. Gabriella já trabalhava com *softwares* de modelagem e já tinha conhecimentos de CAD e CAM. Mas comenta que cada *software* é diferente um do outro e que possui a sua própria curva de aprendizado. Ela afirma que o diferencial de impressoras, tais como a Ultimaker, em relação a outras mais simples são os *presets* que facilitam muito na etapa de configuração, pois no caso de equipamentos *open source*, toda essa etapa precisa ser feita manualmente o que é bastante difícil e confuso. Contudo, afirma que mesmo em impressoras que possuem o perfil mais *plug and play*, ainda existem muitas variáveis que podem influenciar no resultado final.

Em relação ao grau de dificuldade em aprender a utilizar uma impressora 3D, Caio afirma que é bem complicado. Ele explica que a dificuldade não está em aprender a mexer e colocar uma peça para imprimir, mas em conseguir ajustar todos os parâmetros para obter um bom resultado. Tarciana reforça que a maior dificuldade é ter noção de qual temperatura utilizar, saber calibrar a impressora através do processo de tentativa e erro. Para Edgar, dois fatores são fundamentais: saber modelar e ter paciência para fazer manutenção na impressora pois assim não corre o risco de deixar a máquina encostada sem uso em pouco tempo. Gabriella considera o processo muito difícil, não pela impressora em si, pois ela é apenas uma ferramenta de projeto. Para ela, o maior desafio não está relacionado a aprender a utilizar a ferramenta, mas aprender a projetar e, conseqüentemente, saber o porquê a está utilizando.

Nas aplicações da impressora 3D nos projetos desenvolvidos pela empresa, Caio descreve que ela é mais utilizada na produção de maquetes para arquitetura, seja para empresas e também para alunos. Além disso eles também desenvolvem projetos mecânicos, no geral. Hugo já utilizou a impressão 3D em diversos tipos de projeto, geralmente como elemento de visualização, um protótipo visual e, por vezes, como protótipo mecânico, para testar um determinado mecanismo. Para Edgar, os projetos com impressão 3D têm sido muito frustrantes. Por este motivo, estão buscando diferentes alternativas como a parceria com outra empresa de impressão para utilizar maquinários de maior qualidade e conseguir desenvolver projetos em conjunto com a empresa Spark. Além disso, estão dando suporte a outras tecnologias de impressão para projetos odontológicos. Gabriella utiliza geralmente para testar a forma e a função de seus projetos. Em alguns casos, também chega a produzir moldes para outros projetos como próteses médicas, por exemplo. Segundo Tarciana, muitos estudantes de arquitetura e design utilizam o espaço para desenvolver modelos impressos de estudos da forma e de volumetria. Alguns entusiastas também experimentam a tecnologia de impressão 3D.

A etapa do projeto em que a impressão 3D geralmente é utilizada, no caso de Caio ela acontece no fim do processo para criar modelos de apresentação, sejam maquetes para arquitetura ou também projetos de engenharia. Edgar utiliza a impressão 3D para o desenvolvimento de modelos de apresentação, protótipos e ornamentos figurativos. Hugo explica que a utiliza mais como ferramenta de validação de projeto permitindo a manipulação do objeto para clientes, investidores e até mesmo em apresentações de feiras. Com isso, consegue explorar de maneira mais ampla a representação do modelo do que simplesmente utilizar outras ferramentas tais como o desenho ou o *render* computacional. Gabriella comenta que a sua aplicação varia muito de acordo com o projeto. Ela reforça apenas que a impressão 3D não substitui outras ferramentas de representação, assim como, também não acredita que ela sirva para produzir um objeto final no lugar do processo industrial. Tarciana afirma que, embora eles tenham a intenção em utilizar a impressão 3D para o processo de ideação, ela ainda é mais voltada a modelos de apresentação de projeto. A culpa, segundo ela, é dos próprios estudantes que acabam deixando tudo para última hora e, como isso, falta tempo para elaborar modelos de estudo nas etapas intermediárias dos projetos.

Os benefícios trazidos pela impressora 3D nos projetos desenvolvidos pela empresa, segundo Tarciana é poder materializar uma ideia. Caio também aponta o processo de materialização da forma como benefício pois permite ter algo físico para tocar e olhar. Para ele, os modelos físicos que estão criando para a engenharias vêm permitindo validar seus projetos economizando tempo e dinheiro. Hugo também aponta a materialização do objeto como um dos grandes diferenciais pois permite o cliente enxergar, tocar e sentir o produto, apresentar para seus parceiros, investidores e amigos. Ele explica o ganho em apresentar algo que não está mais no papel, mas um artefato físico, proporcionando credibilidade e mostrando o comprometimento em relação ao projeto. Edgar, Henry e Gustavo comentam que, além de utilizar a impressão 3D para difundir a cultura *maker*, ela também se mostra como uma única solução para determinados projetos sem depender do maquinário industrial. Ou seja, segundo eles, mesmo ela não sendo a melhor ferramenta para desenvolver projetos, ainda é a única ferramenta para desenvolver alguns projetos. Gabriella aponta que a impressão 3D é uma solução essencial para redução de custos, principalmente na produção de moldes. Além disso, também permite criar formas que eram impossíveis de serem feitas de maneira tradicional ou em poucas unidades.

Todos os entrevistados acreditam que a impressora 3D vem contribuindo nos projetos de design. Para Caio, além de economizar tempo e dinheiro, a possibilidade de manusear algo

que antes era visto apenas no computador é algo que contribui bastante com o projeto. Edgar comenta que a impressão 3D é algo que já está beneficiando designers ao permitir materializar os próprios modelos sem a necessidade de usar serviços terceirizados, ganhando agilidade no processo projetual. Para Gabriella, a impressora 3D contribui, mas ainda é preciso uma proficiência maior, não só tecnológica, como do projeto em si. Ela afirma que, apesar da tecnologia ser responsável por diminuir custos e aumentar a velocidade do processo, ainda não é completamente acessível e ainda se mostra muito problemática. Tarciana explica que apesar da impressora 3D contribuir nos projetos, ela não deve ser considerada a única solução pois outras ferramentas podem auxiliar de uma maneira mais fácil. Ela deve ser considerada apenas como uma solução a mais.

A escolha da impressão 3D nos projetos da empresa, e o diferencial dela frente aos outros processos, segundo Caio, é a possibilidade de fabricar uma peça com geometria complexa com baixo custo ao criar modelos complexos e também a automatização do processo de fabricação através das ferramentas digitais. Para Hugo, o motivo em utilizar a impressão 3D em seus projetos é poder trazer informações tridimensionais que um *render*, por exemplo, não traz. Ele explica que a flexibilidade da geometria é um dos grandes diferenciais da ferramenta ao permitir criar formas orgânicas de forma mais simples que em outros processos de fabricação. Gabriella também acredita na facilidade da impressão 3D em criar geometrias complexas em relação aos processos tradicionais. Além dessa facilidade, ela também aponta outras características tais como a possibilidade de criar uma tiragem reduzida de peças e de forma rápida. Tarciana fala do potencial da impressão 3D para o estudo da forma, volumetria e explorar projetos com forma mais orgânica de maneira mais fácil do que em outros processos. Como o grande diferencial, ela destaca a possibilidade de materializar algo que está no computador e, através da prototipagem rápida, trazer para o mundo real. Edgar tem a visão de futuro de que a impressão 3D vai ser responsável por atualizar os processos de fabricação, modificando os padrões vigentes de produção e consumo de produtos.

Quanto as limitações e em quais aspectos a impressora 3D ainda pode evoluir, Caio afirma que o processo de impressão ainda é bastante lento e que o FDM, apesar de ser mais barato, oferece qualidade de acabamento bem abaixo em relação a outros processos, tais como SLA e DLP, por exemplo. Para Hugo a impressão 3D ainda pode evoluir muito no acabamento, oferecendo uma superfície totalmente lisa igual ao processo de injeção de plástico. Gabriella afirma que as impressoras precisam ser mais confiáveis, diminuindo a quantidade de erros e aumentando a facilidade de uso, além do processo se tornar mais rápido também. Tarciana

também reclama do longo tempo de impressão e de que o acabamento apesar de ser bom, ainda pode melhorar. Ela explica que mesmo tendo outras opções de impressão, como a SLA, o custo ainda é muito alto. Para Edgar, existem alternativas de impressoras 3D que tecnologicamente são muito boas, mas o custo é muito alto. Ele explica que, do ponto de vista prático, ainda são equipamentos muito difíceis de mexer e a pessoa precisa ter um domínio muito grande da ferramenta para conseguir utilizá-la corretamente.

Em relação ao ensino de impressão 3D em cursos acadêmicos, Caio retifica dizendo que ela deveria ser ensinada ainda no colégio. Ele elogia iniciativas tal como a disciplina dos Professores Pedro e Letícia de prototipagem rápida no CAC e gostaria muito que os cursos de engenharia da UFPE tivessem algo parecido. Hugo também vê a impressão 3D como uma excelente alternativa no ensino para colocar as ideias em prática no mundo real de forma rápida e que, em países como a Inglaterra, já estão empregando desde o ensino fundamental. Edgar também acredita que o ensino da impressão 3D deveria estar na escola, ao contrário da universidade que, segundo ele, diferente da arquitetura e do design, não faz muito sentido ser ensinado em outros cursos. Gabriella acha muito importante ter a impressão 3D para sair do campo hipotético e viabilizar os projetos acadêmicos. Ela complementa falando da importância em aprender a raciocínio projetual, através do uso destas ferramentas, e também estimular a prática do processo iterativo ainda na universidade. Tarciana concorda que é necessário ensinar a ferramenta de impressão 3D, mas que não deve substituir outros processos, inclusive o manual, que podem ser trabalhados em conjunto.

Sobre o aprendizado de *softwares* ser ou não responsabilidade da universidade e qual a melhor forma de ensiná-los, Caio diz que cada curso deveria ensinar o *software* específico de sua área através de parcerias com as empresas desenvolvedoras custeados pela universidade. Para Hugo, é papel da universidade ensinar os *softwares* e isso deveria ser feito através de disciplinas específicas para aprender a utilizar essas ferramentas. Gabriella acreditava que era papel da universidade na sua época de estudante, mas que hoje enxerga que a universidade precisa se preocupar com o estado da arte do pensamento filosófico projetual e que as ferramentas tecnológicas mudam a cada dia. Ela explica que a universidade pode facilitar a compreender o conteúdo básico, mas é responsabilidade do aluno buscar ter o domínio e habilidade nessas ferramentas. Tarciana também achava que era papel da universidade, no período em que era aluna, mas hoje entende a dificuldade de uma universidade em ter um laboratório específico, pagar pelas licenças e manter toda a estrutura atualizada. Mas apesar de ter consciência da dificuldade dos alunos em ter a maturidade suficiente para buscar aprender

o conteúdo por conta própria, ela reforça que os professores devem cobrar o domínio nas ferramentas aplicadas aos projetos. Edgar espera que, devido a evolução do ensino dos próximos anos, não será necessário aprender a utilizar *softwares* pois eles não serão mais utilizados, e explica que o importante é focar em outros conteúdos mais importantes.

Nas considerações finais, Caio afirma que o mercado de impressão 3D ainda é muito novo no Brasil e que pesquisas como esta sirvam para abrir os olhos das pessoas do potencial da ferramenta no processo projetual. Hugo enxerga a evolução da ferramenta da impressão 3D em algo menos complexo, mais barato e mais acessível para todas as pessoas e que, possivelmente, a realidade aumentada possa acabar tomando o lugar dela caso essas melhorias não aconteçam. Tarciana acredita que o uso da impressão 3D ainda esteja restrito devido a necessidade em ter que conhecer não apenas o funcionamento digital do equipamento, mas também em saber desmontar, montar e verificar os seus aspectos mecânicos. Gabriella explica que a prototipagem rápida passa por um momento de resignificação e que as pessoas tentam justificá-la a partir de critérios do processo tradicional, mas que ela é mais complexa que isso sendo um importante instrumento de pesquisa e desenvolvimento para produtos. Para ela, existe a necessidade em compreender melhor as ferramentas e pensar em quais são suas limitações, seus novos usos e, até mesmo, repensar os métodos tradicionais de fabricação e de consumo de produtos.

5.4.3. Análises e considerações das entrevistas

As entrevistas foram importantes para ter uma ideia melhor do uso da impressão 3D nos ambientes acadêmico e empresarial. As opiniões dos profissionais a respeito da ferramenta foram fundamentais para conhecer os benefícios, limitações e dificuldades ao utilizá-la no processo projetual. Ao cruzar e analisar as informações das entrevistas foi possível identificar determinadas visões e linhas de pensamento sobre o uso da impressão 3D como ferramenta de suporte no ensino acadêmico e no mercado de trabalho, as quais serão apresentadas a seguir.

Inicialmente vale destacar que, no geral, os entrevistados possuem dificuldade em encontrar manutenção, peças ou filamento na cidade do Recife. Os filamentos são, geralmente, comprados em outros estados e leva um certo tempo para ser entregue pelos Correios. Os equipamentos de impressão 3D, quanto mais aberta for a plataforma (*open source*), maiores as opções, tornando mais fácil encontrar ou adaptar alguma peça. O problema é que mesmo tendo mais opções de peças, elas precisam ser importadas e leva um certo tempo até chegar. No caso das impressoras proprietárias, as opções são mais restritas pois as peças são compradas

diretamente com os fabricantes ou revendedores autorizados. Pela falta e/ou opções ainda muito restritas, pode-se concluir que a tecnologia ainda precisa ser mais difundida pelo país a ponto de facilitar o acesso a peças de reposição, insumos e até mesmo mão de obra especializada na manutenção dos equipamentos.

Como se não bastasse a limitação de opções, no caso dos laboratórios de pesquisa, em universidades públicas, ainda é necessário ter um gerenciamento muito bom dos recursos para compra e/ou manutenção dos equipamentos pois eles dependem (em sua grande maioria) de verbas aprovadas de editais. Pela dificuldade em encontrar tais editais abertos, ao ter algum deles aprovado, é preciso tentar comprar os materiais de consumo em grandes quantidades na busca em manter um estoque. Neste caso, vale notar que não basta simplesmente comprar a impressora 3D, é importante ter um estoque de filamento e de alguma forma ter uma verba destinada para peças e/ou manutenção do equipamento. Caso contrário, corre o risco de não poder utilizar a impressora devido a algum defeito ou mesmo por não ter mais filamento disponível para realizar as impressões.

Apesar da tecnologia estar em constante evolução e já existindo equipamentos mais avançados, as impressoras 3D dos entrevistados ainda não apresentam limitações de uso e atendem as necessidades dos projetos desenvolvidos. Além disso, mesmo a tecnologia FDM apresentando certas limitações frente aos outros processos de impressão 3D, ainda é uma ferramenta de baixo custo que consegue suprir as necessidades de uso associadas ao processo projetual. O que de certa forma, tranquiliza em relação a obsolescência ou defasagem do equipamento para as salas de aula, projetos de pesquisa ou mercado de trabalho. Mesmo que não seja possível acompanhar os modelos mais recentes disponíveis no mercado, o importante é saber que o equipamento vai dar conta das necessidades dos projetos desenvolvidos.

No caso de problemas, a internet se mostra como sendo a opção mais utilizada na busca por conteúdo de ajuda, seja para o uso quanto para manutenção das impressoras. Dependendo do equipamento adquirido ainda é possível ter suporte telefônico ou manual de instruções como recursos auxiliares.

Existe um consenso em relação ao método de aprendizado da impressão 3D através do processo de tentativa e erro. A maneira encontrada de ganhar maior experiência com a ferramenta é praticando, imprimindo peças e aprendendo com os erros. Tanto os profissionais do meio acadêmico quanto do empresarial ainda possuem dificuldade em saber exatamente as configurações necessárias para cada projeto, utilizando o processo de tentativa e erro para executar os modelos impressos. Em parte, esta característica acaba reforçando o perfil

experimental da ferramenta de impressão 3D e que ela ainda precisa evoluir bastante caso queira ser utilizada por um número maior de pessoas ou, até mesmo, vir a se transformar em um equipamento doméstico.

As dificuldades em relação ao uso do equipamento de impressão 3D não estão relacionadas a imprimir um modelo físico, mas conseguir materializar um resultado muito próximo do arquivo digital de origem. O maior motivo de frustração, apontado nas entrevistas, é o grau de dificuldade em obter o mesmo resultado que se espera. A impressora 3D se mostra, para uma parte dos entrevistados, muito defasada na qualidade de seus resultados, ainda mais quando comparada com outras ferramentas de prototipagem rápida, tal como a cortadora a laser, que trabalha com grande precisão, facilidade de uso e margem mínima de erros. O processo ainda requer muitas intervenções e configurações para se obter um bom resultado e está longe de ser um equipamento *plug and play*. Ainda é preciso bastante dedicação e paciência para alcançar os resultados desejados. Tais dificuldades associadas ao perfil experimental da impressão 3D reforça a necessidade da parceria entre disciplinas e laboratórios para estar sempre explorando o processo cíclico entre as atividades das aulas com o estado da arte dos projetos de pesquisa na busca por um melhor aproveitamento da impressão 3D em benefício do ensino.

As impressoras 3D mais simples e baratas são mais difíceis de configurar e as mais caras, fabricadas pelas grandes empresas, oferecem opções melhores de ajustes e usabilidade do *software*. Isso se deve ao fato de que nos equipamentos mais caros a impressão é realizada através de um processo mais automatizado, nas impressoras *open source* mais acessíveis existe uma grande quantidade de configurações necessárias tornando o seu uso em uma tarefa mais difícil. Entretanto, no caso de manutenção nos equipamentos, as impressoras 3D mais caras são geralmente seladas e o conserto só pode ser feito pelos representantes autorizados, enquanto nas mais baratas é fácil conseguir comprar as peças e entusiastas podem realizar os reparos necessários. O contraponto em relação a compra dos equipamentos é que os de baixo custo, por um lado, possibilitam a compra por um maior número de pessoas por serem mais baratos, no entanto, a sua dificuldade de uso acaba desestimulando tanto entusiastas quanto profissionais a utilizarem em seus projetos.

Em relação às aplicações da impressora 3D citadas pelos entrevistados, elas são bem diversificadas. No geral, ela é utilizada para gerar protótipos de análises, testes, avaliação e validação, assim como também são responsáveis em fabricar os modelos de apresentação na etapa final do projeto.

Um dos grandes diferenciais da impressão 3D é permitir o processo de materialização, transformando o arquivo digital em um objeto físico. Através deste recurso, ele permite examinar a forma e o volume do objeto em um modelo físico, considerado pelos entrevistados como um dos grandes ganhos da ferramenta no processo projetual. Outras vantagens que também foram apontadas do processo de impressão FDM são: solução de fabricação prática, compacta e de baixo custo que permite criar, individualmente, peças com geometrias complexas; automatização do processo de fabricação através das ferramentas digitais que permite criar modelos complexos de modo mais simples quando comparado aos processos tradicionais; possibilidade de formar uma engrenagem pronta direto na fabricação sem a necessidade do processo de montagem; permite transmitir informações tridimensionais de modelos digitais complexos que outras representações não conseguem.

Quanto às desvantagens da impressão 3D FDM, foram citadas: o processo de impressão ainda é bastante lento; acabamento pode melhorar e a fidelidade é bem abaixo em relação a outros processos de impressão 3D; equipamento ainda bastante experimental, não é confiável, suscetível a falhas e manutenções; ainda requer o domínio muito grande da ferramenta para se obter bons resultados; as alternativas de impressoras 3D com boa qualidade são muito caras.

O ensino de *softwares* como sendo responsabilidade da universidade e oferecido nas disciplinas acadêmicas foi um dos temas abordados nas entrevistas e se mostra como um assunto controverso. Não há um consenso tanto entre os professores quanto os profissionais de mercado. Alguns acreditam que a universidade não pode se responsabilizar pelo ensino de tais ferramentas aos alunos seja pelo custo gerado, por não conseguir manter a estrutura necessária para tais aulas ou mesmo por ter assuntos mais importantes a serem tratados em suas disciplinas. Outros alegam que é responsabilidade da universidade preparar os alunos para o mercado de trabalho e que, mesmo que não sejam disciplinas específicas para o ensino de *softwares*, ao menos o conteúdo básico precisa ser oferecido possibilitando utilizar as ferramentas em seus projetos. Também foi alegado que é responsabilidade de cada aluno buscar aprender e dominar a ferramenta mais adequada aos projetos que ele quer desenvolver, seja na faculdade ou no mercado de trabalho. Aparentemente não existe uma solução simples ou mesmo uma única opinião a respeito desta questão. De todo modo, independente da questão da responsabilidade pelo ensino, há um consenso da necessidade em saber utilizar tais *softwares* para o desenvolvimento dos projetos, seja na universidade ou no mercado de trabalho. Com isso, se reforça a importância em buscar soluções para o processo ensino-aprendizagem dos *softwares* nos cursos universitários ligados à tecnologia.

Segundo as entrevistas, todos os participantes acreditam no uso da impressão 3D, nos projetos de design, como sendo uma tendência e que vai se fortalecer cada vez nos próximos anos. Contudo, alguns deles reforçam que ela é apenas mais uma ferramenta de representação da forma e que deve ser considerada apenas como uma opção a mais no processo projetual, não devendo substituir nenhuma outra já existente. Apesar disso, a impressão 3D se mostra como um grande ganho para o processo projetual ao facilitar a representação de geometrias complexas em um modelo físico produzido de maneira simples, rápida e de baixo custo. Grande parte dos professores entrevistados acreditam que a ferramenta de impressão 3D deveria ser apresentada logo no começo do curso para conhecer melhor o seu potencial e restrições, se familiarizando com o equipamento para depois poder se dedicar exclusivamente ao seu uso voltado para o desenvolvimento de projetos. Por despertar o interesse dos alunos, ela poderia ajudar até mesmo a reduzir a evasão dos primeiros semestres.

Por fim, foi apontado que existe a necessidade em compreender melhor as ferramentas de prototipagem rápida e pensar em quais são suas limitações, seus novos usos e, até mesmo, repensar os métodos tradicionais de fabricação e de consumo de produtos.

5.5. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os experimentos pedagógicos realizados para a tese buscaram inserir a impressora 3D como uma ferramenta de apoio ao processo de representação através do uso de modelos físicos e que promove atualização tecnológica nas disciplinas de projetos. Com isso, foi possível avaliar o seu desempenho e também identificar os benefícios e limitações de sua utilização no decorrer das aulas. As entrevistas realizadas contribuíram ao trazer relatos das experiências de diferentes profissionais a respeito do uso da impressão 3D em seus projetos. Elas ajudaram a identificar pontos em comum e também a ter opinião de terceiros em relação aos assuntos pesquisados tanto na etapa de levantamento bibliográfico quanto nas disciplinas e na oficina realizadas. Este tópico pretende justamente apresentar o cruzamento destas informações e discutir os seus resultados.

As demandas vigentes impostas pelo mercado e pela indústria, cada vez mais exigentes, estimulam inovações tecnológicas no processo de fabricação de produtos. Essas inovações geram um aumento de complexidade na atividade projetual, que por sua vez, acarretam em mudanças na metodologia. Devido a estes avanços no processo de fabricação de produtos, o ensino também está passando por mudanças e, segundo Paula & Lima (2014), os laboratórios de informática, modelagem virtual e prototipagem rápida, os quais são recorrentemente

vinculados a algum grupo de pesquisa, incorporam as características das antigas oficinas de maquetes e ateliês e, em alguns casos, de pequenas fábricas, transformando através de um processo híbrido em um único espaço de produção do conhecimento. Deste modo, existe um crescimento na demanda por pesquisas que explorem áreas de metodologia, gestão de desenvolvimento de produto, além de técnicas e ferramentas que possam contribuir para um processo de design mais eficiente, para atender tais demandas.

As evoluções tecnológicas estabeleceram os computadores no cotidiano das pessoas e foram responsáveis por trazer maior agilidade na execução de tarefas. Como consequência desta visão de maior eficiência, arquitetos e designers passaram a adotar o meio digital em detrimento das atividades manuais na execução de projetos. O que, por sua vez, levou tanto estudantes quanto profissionais a substituírem o desenho e modelagem manuais pelo digital. Os experimentos pedagógicos realizados puderam comprovar a preferência dos estudantes pelo computador frente aos métodos tradicionais de representação.

Apesar da impressora 3D também estar relacionada ao uso de computadores, ela demonstra um rompimento na relação que o designer possui com o projeto. Através do processo de materialização de arquivos digitais em objetos físicos, ela vem se mostrando como uma ferramenta promissora para estudos da forma e volumetria que antes estavam limitadas a visualização bidimensional, através das telas dos computadores. Inclusive boa parte dos entrevistados acreditam que este é um dos grandes diferenciais da ferramenta. Ela também permite retomar o processo de análise, avaliação e validação de determinadas fases do projeto a partir de estudos realizados pelo processo de materialização. O resgate dos modelos físicos no processo projetual promove discussões e reflexões sobre a eficiência de utilizar não apenas a impressão 3D, mas diferentes meios de representação ao invés de centralizar todo o processo apenas digitalmente por meio do computador. Ao mesmo tempo, ele também contribui na conscientização da necessidade em desenvolver modelos e protótipos ao longo das etapas de desenvolvimento em benefício do projeto.

Os protótipos possuem um importante papel no projeto ao promover a passagem dos modelos abstratos a formas concretas ao passar do campo das ideias para os arquivos tridimensionais colocando a prova aspectos estéticos, funcionais e ergonômicos. Entre as opções existentes, a impressão 3D facilita na representação e compreensão de geometrias complexas a partir de modelos físicos, algo difícil de ser representado ou compreendido através das limitações das representações bidimensionais e que demandaria bastante tempo e muita habilidade para ser desenvolvido através do processo de modelagem manual.

Apesar de seus diferenciais, a ferramenta de impressão 3D ainda apresenta um perfil de uso bastante experimental resultando em muitas falhas no processo de materialização, nível de dificuldade acentuado em configurar na maneira correta e conseguir obter os resultados desejados. Os profissionais entrevistados, tanto do ramo acadêmico quanto do empresarial, afirmaram que o seu aprendizado se dá a partir do processo de tentativa e erro. Uma das suas maiores dificuldades, e que gera muita frustração em relação ao uso da ferramenta, é conseguir obter um resultado final do objeto físico próximo de seu arquivo digital de origem. A quantidade de configurações necessárias nos modelos mais acessíveis resulta em um grande nível de dificuldade em operá-la e conseguir bons resultados. Como se isso não bastasse, muitos dos equipamentos ainda requerem cuidados e certo domínio na sua manutenção já que eventualmente será necessário desmontar, montar, consertar e até mesmo trocar algumas peças. A falta de habilidade na manutenção dos equipamentos, a falta de recursos financeiros e a distância física das assistências técnicas podem ser grandes impeditivos ao querer adotar a impressão 3D no fluxo de trabalho das universidades públicas.

Além dos desafios em conhecer e dominar a ferramenta de impressão 3D, os experimentos pedagógicos demonstraram a dificuldade dos alunos em relação ao próprio processo projetual. A falta de experiência no desenvolvimento e aplicação de protótipos reforça alguns pontos que já haviam sido constatados por Alcoforado Neto (2014, p.55) em sua pesquisa, como por exemplo: a atividade de prototipagem se concentra nas fases de desenvolvimento e realização e não se observa o seu uso na fase de preparação, onde se define problema e se recolhe dados preliminares dos usuários; a prototipagem aparece após o processo de avaliação e seleção de alternativas, ou seja, com a finalidade apenas de visualizar a solução de design escolhida; as metodologias de design não refletem em suas estruturas a criação de ciclos iterativos de geração, construção e teste, nem apresenta ferramentas para orientar a escolha do protótipo adequado para construção e realização de testes e avaliações, o que pode limitar o processo de tomada de decisões.

Outro ponto a ser destacado é a falta de diversificação de estudos por parte dos alunos ao longo de todo o projeto. Eles já se mostram satisfeitos logo com os primeiros resultados, com soluções pouco ousadas faltando esforço em pensar diferentes propostas ou até mesmo refinar as existentes. Os projetos realizados também não foram submetidos a etapas de validação, possivelmente pelo fato das disciplinas terem adotado a figura de um cliente ou usuário apenas no campo teórico e não de forma prática. Bonsiepe *et al.* (1984) descrevem que a causa deste comportamento é devido a pressa e impaciência em querer chegar a um modelo

visível, sobrepondo a fase de pré-modelos e aproximando-se a um modelo de apresentação. Mesmo assim, conforme apontado por Cândido & Kindlein Júnior (2009) na etapa de fundamentação teórica, a prototipagem rápida permite o aluno sair do campo teórico e poder construir a sua proposta de produto, o que ajuda a incentivá-lo no aperfeiçoamento do modelo. Este tipo de atividade contribui para aperfeiçoar a sua noção espacial e melhorar a sua capacidade de comunicação a partir do uso de protótipos nos projetos.

Nas disciplinas I e II foi possível identificar que os alunos utilizaram diversos recursos de representação, mas poucos recorreram a impressora 3D. Alguns obstáculos foram apontados pelos alunos tais como o tempo de espera até o modelo ficar pronto e a dificuldade em conseguir imprimir os modelos de estudo durante o horário de aula, a falta de habilidade no *software* de modelagem e, em alguns casos, a falta de precisão no acabamento. Logo, era muito comum eles escolherem outras ferramentas de representação para os estudos formais. Tramontano & Pereira Junior (2015, p.353) também evidenciaram algumas dificuldades semelhantes em seus experimentos relatando: a primeira está relacionada ao tempo de impressão, por vezes extremamente longo, em função da complexidade formal, das dimensões, do número de peças ou ainda, de uma combinação entre esses fatores. A segunda foi a constatação da necessidade de adequar os projetos a algumas limitações da máquina. A terceira dificuldade foi a geração de suportes para sustentação de algumas peças sobre a mesa de impressão, definidos automaticamente pelo programa que gera o G-code. Eles dizem que, às vezes, esses suportes podem ser difíceis de remover, sendo necessário, em alguns casos, o uso de estiletes, lixas e ferramentas específicas para sua remoção e posterior acabamento da peça.

A despeito de todas as dificuldades, os resultados dos questionários mostram que os alunos se sentem motivados em poder utilizar as ferramentas de prototipagem rápida e eles acreditam que a impressão 3D ajuda no desenvolvimento de projetos. Os profissionais entrevistados também concordam que a impressão 3D vem contribuindo com os projetos de design. No caso específico da disciplina oferecida no curso de design, os alunos afirmam que a ferramenta deveria fazer parte do curso.

O desenvolvimento da atividade projetual centralizada apenas no computador, apesar de trazer agilidade nas tarefas, possui o efeito negativo de restringir o conhecimento, a utilização e o domínio de outras ferramentas de representação, limitando as alternativas para expressar as ideias e executar o projeto. Conforme foi apresentado na etapa de fundamentação teórica, a valorização da linguagem verbal e textual nas escolas não estimulam outras formas de comunicação. Somado a isso, a conveniência do uso do computador para as atividades

acadêmicas acaba acomodando e inibindo explorar as práticas manuais o que, conseqüentemente, leva ao desuso e o eventual desaparecimento de oficinas e ateliês dos cursos acadêmicos. Paula & Lima (2014), conforme citado anteriormente, acreditam que esses ambientes não vão desaparecer, mas se transformar em espaços semelhantes aos do FabLab com uma estrutura ferramental voltada a produção de conhecimento. O que vai de encontro com a afirmação de Vizioli *et al.* (2014) ao dizer que práticas, tais como o desenho, devem ser revistas, não no sentido de serem substituídas, mas incorporar as ferramentas digitais em um processo de hibridismo e sinergia ao trazer o que há de melhor em cada uma delas.

Na citação de Florio *et al.* (2007) foi visto que ao substituir um meio de expressão por outro, reduz as possibilidades de experimentação, causando uma perda significativa do processo de aprendizado. Tomando como base os experimentos pedagógicos realizados, apesar de terem a impressão 3D como foco principal, os alunos foram estimulados a adotar outros meios de representação para que pudessem explorar diferentes ferramentas no desenvolvimento de modelos e protótipos na elaboração de seus projetos. Alguns modelos desenvolvidos, através de variadas ferramentas, foram muito bem executados, sobretudo na variação de estudos utilizando diferentes meios na atividade 2 da disciplina II. O destaque foi devido a experimentação de diferentes técnicas e ferramentas ao representar um mesmo modelo. Entretanto, ainda faltou explorar o hibridismo, ao combinar diferentes meios de representação em um mesmo modelo utilizando partes de diferentes processos em uma mesma peça.

No aspecto criativo, foi visto que Sass & Oxman (2006) criticam a PR devido a necessidade do detalhamento e exatidão dos arquivos gerados nos pacotes CAD-CAM para funcionar. Todavia o problema identificado nos resultados dos questionários, respondidos pelos alunos nas disciplinas I e II, aponta uma dificuldade anterior a isto. O problema está em aprender e utilizar os *softwares* necessários para a modelagem tridimensional de seus projetos. A falta de domínio em uma determinada técnica e/ou ferramenta, seja ela manual ou digital, limita o grau de liberdade de criação e um projeto. O que reforça a citação apresentada de Araujo (2009) onde diz que cabe ao aluno experimentar todas as ferramentas disponíveis durante o curso para saber escolher qual é a mais indicada para cada tipo e fase do projeto.

As ferramentas de impressão 3D trabalham em conjunto com *softwares* de modelagem digital. A liberdade de criação de formas, principalmente as dotadas de geometrias complexas, dependem diretamente do conhecimento que se possui na utilização destas ferramentas. A pesquisa apresenta diferentes pontos de vista e, infelizmente, é muito difícil apontar uma única direção ou mesmo propor alguma solução sobre o assunto pois são opiniões muito diferentes.

Os alunos acreditam que é responsabilidade da universidade em ensinar o uso, mesmo que básico, de algumas ferramentas. O mesmo vale para alguns professores que foram entrevistados os quais afirmam que o conteúdo que é cobrado na disciplina, que neste caso requer determinado conhecimento no uso de *softwares* específicos, então é responsabilidade do professor ensinar os alunos a utilizá-los. Outros professores e profissionais entrevistados, assim como alguns autores pesquisados afirmam que os *softwares* fazem parte do ensino ao preparar os alunos para o mercado de trabalho. Demais professores e profissionais além de outros autores pesquisados contestam dizendo que a universidade não é voltada ao ensino técnico. Como agravante ainda existe a dificuldade em estruturar e manter laboratórios de informática com *softwares* atualizados e profissionais capacitados no uso da ferramenta. De todo modo, independente de qual ponto de vista é o mais correto, eles convergem na importância dos alunos buscarem o aprendizado das ferramentas mais adequadas aos seus projetos, sejam eles acadêmicos ou voltados ao mercado de trabalho.

Ainda em relação a dificuldades, as universidades públicas passam por um momento complicado de captação de recursos para implementar laboratórios, comprar ou manter equipamentos, além de adquirir o insumo das máquinas. Um outro desafio está relacionado ao material humano, sendo necessário um processo de capacitação dos professores para estabelecer a integração dos novos equipamentos com as disciplinas. Tal processo requer mudanças nas estruturas das disciplinas e até mesmo na grade curricular, melhorias nas salas de aulas e laboratórios, captação de recursos para manutenção dos equipamentos e compra de insumos com o objetivo de viabilizar a utilização da prototipagem rápida no ensino da prática projetual nos cursos de design. O período de greve durante a disciplina II e, posteriormente, a reforma dos laboratórios de pesquisa mostrou a importância em ter salas e/ ou laboratórios equipados com ferramentas tecnológicas prontas e configuradas para atender às necessidades das disciplinas tecnológicas propostas no curso.

Por fim, assim como foi apontado por Barbosa (2009), o interesse em difundir a impressão 3D e a prototipagem rápida nos cursos de design não está associada a transformá-los em cursos técnicos. Além de não ser o foco da universidade, o desafio em acompanhar a grande velocidade dos desenvolvimentos tecnológicos é muito grande, algo que é difícil até para a própria indústria. No entanto, existe uma preocupação em atualizar o ensino em relação aos novos processos de fabricação, como também explorar outros pontos, tais como: experimentação das etapas práticas, estimular o espírito inventivo sem temer falhas ou erros,

mudança no raciocínio projetual, estimular o uso de protótipos ao longo de todo o processo e conscientizar os alunos da importância do pensar para projetar.

Este capítulo se propôs a trazer, de forma detalhada, todos os experimentos pedagógicos realizados para a pesquisa, com suas devidas análises e considerações. Deste modo, foi possível identificar, na prática, muitas informações que estavam apenas sendo vistas através de análises de pesquisas realizadas por outros autores.

Nesta etapa do trabalho, também foi apresentado um resumo dos relatos das entrevistas, com profissionais da área acadêmica e empresarial, junto ao contexto prático de suas atividades, mostrando um pouco das dificuldades e desafios ao utilizar a impressão 3D em pesquisas e práticas projetuais que estão acontecendo na cidade do Recife. O retrato local do uso da tecnologia ajuda a contextualizar a realidade da cidade, apresentando um pouco das características do que está sendo realizado na região, servindo não apenas para conhecer, como também comparar com as outras experiências que estão sendo apresentadas, a partir de outros autores, analisando cada um no seu contexto, e a influência de seus resultados relacionados aos seus cenários sócio/econômico/cultural e estruturas de ensino.

No capítulo a seguir, este trabalho busca confrontar todas as informações pesquisadas com os dados obtidos, através dos próprios experimentos realizados, para apontar: as vantagens e limitações do uso da impressão 3D no ensino projetual; e também apresentar uma análise das práticas pedagógicas da impressão 3D no processo ensino-aprendizagem de design.

6. A IMPRESSÃO 3D NO ENSINO PROJETUAL DE DESIGN

A tese se propôs a utilizar a impressão 3D FDM, no processo iterativo de materialização de arquivos digitais em objetos físicos, aplicada no ensino da prática projetual em Design. Os experimentos pedagógicos, realizados nesta pesquisa, conseguiram empregar a impressora 3D como uma ferramenta de representação, trazendo o uso de modelos físicos na prática projetual e promovendo a atualização tecnológica nas disciplinas acadêmicas. Com isso, foi possível avaliar o seu desempenho e também identificar os benefícios e limitações de sua utilização no decorrer das aulas. As entrevistas realizadas contribuíram ao trazer relatos das experiências de diferentes profissionais, da cidade de Recife, a respeito do uso da ferramenta de impressão 3D e de que forma ela é empregada em suas pesquisas e em seus projetos. Os resultados das entrevistas ajudaram a identificar alguns pontos em comum com este trabalho e também obter a opinião dos profissionais acadêmicos e empresariais, em relação aos temas das pesquisas realizadas, tanto na etapa de levantamento bibliográfico, quanto nas disciplinas e na oficina realizadas. Este tópico pretende justamente apresentar o cruzamento destas informações e discutir os seus resultados.

6.1. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO PROJETUAL

A partir de experimentos pedagógicos realizados para a tese, os quais empregaram a impressora 3D como ferramenta auxiliar no processo de ensino projetual em disciplinas acadêmicas, eles permitiram identificar algumas características inerentes a esta ferramenta. Através de análises e comparativos destas características junto ao levantamento bibliográfico do estado da arte e as opiniões das experiências coletadas, a partir de entrevistas com profissionais da área acadêmica e empresarial, resultaram em dois blocos categorizados como vantagens e limitações da aplicação da impressora 3D FDM *open source* no processo ensino-aprendizagem de projetos de design, os quais serão apresentados a seguir:

Vantagens:

- Eficiente ferramenta para a comunicação da forma e volumetria através de modelos físicos produzidos de maneira simples e rápida;
- Permite materializar geometrias complexas em um único equipamento de baixo custo que, no processo tradicional, demandaria tempo e habilidade do modelador;

- Possibilita combinar os recursos da modelagem digital, inclusive criações realizadas através da modelagem paramétrica ou do design generativo, com a materialização digital, em uma única ferramenta (*file to factory*);
- Permite simular diferentes padrões de texturas na superfície do objeto;
- Não requer dispositivo ou ferramental especial para a fixação, pois as peças construídas são fixadas por suportes decorrentes da própria tecnologia;
- Produz a peça de maneira independente, não sendo necessário integrar o processo a outras máquinas;
- Processo de materialização automatizado, dispensando moldes e ferramentas, minimizando consideravelmente a intervenção do operador durante o processo;
- Processo automatizado de materialização garante otimizar o tempo, que antes era gasto no processo de construção dos protótipos, permitindo concentrar as atenções na melhoria dos projetos, em vez de, questões referentes à fabricação dos objetos físicos;
- Economiza recursos, reduz custos e minimiza os riscos, facilitando o PDP, garantindo agilidade no processo de decisão, por realizar testes e análises que antecedem erros cometidos no projeto desde a fase de conceito;
- Permite tiragens individuais das peças, ao longo das etapas do projeto, como também gerar variações de um único artefato, promovendo ideias, criatividade e inventividade no processo;
- Menor tempo e custo de obtenção de protótipos e moldes, principalmente os de geometria mais complexa, quando comparados aos processos tradicionais;
- Ferramenta compacta, prática, limpa e de baixo custo;
- Permite imprimir o modelo, com partes móveis, pronto e funcional, sem a necessidade de montagem de peças separadas;
- Desperta o interesse dos alunos para o processo de fabricação, aproximando a linguagem projetual utilizada na indústria, rompendo a barreira do conceito através do ensino e da prática das etapas de fabricação, produção e montagem de componentes;
- Conscientiza os alunos da importância do uso de modelos físicos como ferramentas de análise, avaliação e validação em diferentes etapas do projeto;
- Promove a passagem das ideias abstratas em formas concretas, através do uso de protótipos, colocando a prova aspectos estéticos, funcionais e ergonômicos;

- Traz os modelos físicos de volta ao processo projetual, estimulando diferentes sentidos e cognições na compreensão da geometria, permitindo extrair informações, às vezes, incompreendidas nos desenhos e mesmo nos modelos digitais;
- Permite gerar modelos físicos, no ambiente acadêmico, para verificar e validar o produto e, se necessário, refazer todo o processo de forma cíclica, ensinando aos alunos a lidarem com rejeições e falhas;
- Ciclo iterativo auxilia no processo de tomada de decisão ao promover o aprimoramento constante, aumentando o índice de acertos e diminuindo as falhas, promovendo uma taxa maior de sucesso dos projetos. Além do grande avanço para o processo criativo ao atingir as características desejadas para o projeto.

Limitações:

- Máquinas de baixo custo permitem apenas a utilização de um único material, limitado a polímeros termoplásticos;
- Insumos utilizados na fabricação (ABS e PLA) limitam os testes de mecânica e de resistência;
- Precisão e acabamento inferiores quando comparada a outras tecnologias;
- Processo de adição de camadas resulta em serrilhado nas superfícies inclinadas e curvas, eventualmente, as peças produzidas necessitam receber acabamento posterior;
- Processo limitado a baixas tiragens devido ao custo e tempo de produção;
- Equipamento ainda bastante suscetível a falhas e manutenções;
- Limita a agilidade e liberdade em etapas de criação pois requer o detalhamento e exatidão dos arquivos gerados em CAD para funcionar;
- Dificuldade em fornecer *feedback* nas etapas iniciais devido a limitação em expressar em três dimensões algo que ainda está vago e definição formal abstrata;
- Impressoras 3D mais baratas, no geral, possuem uma grande quantidade de variáveis que precisam ser configuradas e, com isso, o grau de dificuldade no uso do equipamento é muito grande e pode frustrar principalmente os novos usuários;
- Necessário ter domínio dos *softwares* de modelagem, fatiamento e controlador para gerar o arquivo com as informações formais necessárias do modelo a ser impresso;
- Dificuldade nos diversos ajustes e configurações, falhas no processo, entre outros problemas, pode frustrar os alunos em relação ao processo de materialização da forma;

- Muitas formas requerem a construção de suportes que precisam ser quebrados causando estragos ao modelo;
- Processo automatizado impede um contato direto, afetando o processo de cognição, improvisação e aprendizagem na experiência sensorial e raciocínio espacial da geração da forma;
- Apesar de ser considerado uma ferramenta de prototipagem rápida o processo de impressão ainda é muito demorado.

6.2. ANÁLISE DAS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DA IMPRESSÃO 3D NO PROCESSO ENSINO-APRENDIZAGEM DE DESIGN

Apesar de ter cumprido o seu papel em desenvolver projetos que se utilizam das ferramentas de prototipagem rápida, permitindo o contato dos alunos com as novas tecnologias e reduzindo a distância entre o ensino acadêmico e o PDP das grandes indústrias; o emprego da impressão 3D no ensino da prática projetual, realizado nesta pesquisa, evidenciou muitas barreiras e dificuldades ao longo de todo o seu processo. Entre as dificuldades encontradas, este trabalho não conseguiu empregar, de maneira fluída, a impressão 3D FDM no processo iterativo de materialização de ideias no ensino da prática projetual.

Conseqüentemente, após identificar as vantagens e limitações da ferramenta, a pesquisa não chegou ao fim. A continuidade do trabalho traz novos elementos tais como: pesquisa, análise, comparativo e documentação de diferentes práticas pedagógicas, com a finalidade de elaborar a própria proposta, de modo a conseguir integrar a impressora 3D no ensino da atividade projetual de design. A palavra integrar reforça que o objetivo não é apenas incluir a impressão 3D nas aulas, mas tornar a ferramenta como sendo parte do processo projetual. Esta etapa, portanto, se propõe, a partir do levantamento bibliográfico realizado, dos resultados dos experimentos pedagógicos, das entrevistas com profissionais (acadêmicos e empresariais), confrontar as informações coletadas, a respeito do uso das novas tecnologias no processo ensino-aprendizagem de design, com algumas práticas pedagógicas levantadas através do estado da arte da literatura científica. O objetivo é conseguir elaborar e documentar, ao final desta etapa, algumas estratégias pedagógicas para integrar a impressão 3D no processo ensino-aprendizagem no curso de design.

Tramontano (2015) levanta, em sua pesquisa, algumas questões relacionadas às práticas didático-pedagógicas e projetuais da área de Arquitetura e Urbanismo. Ele aponta que as questões didático-pedagógicas estão ligadas: à compreensão e à prática do ensino como

extensão da pesquisa e da pesquisa como extensão do ensino, um se utilizando de resultados do outro; a maneiras emergentes de se entender o ensino de projeto; ao deslocamento gradativo do papel do professor de projeto, de provedor de informações e instruções profissionais a proponente, debatedor e relativizador das informações obtidas pelos alunos em incontáveis fontes. Enquanto as questões projetuais são referentes: à ressignificação do papel do modelo físico no processo de projeto, em relação ao seu papel em processos de projeto convencionais; aos processos de projeto em arquitetura e urbanismo em si, propostos pela combinação design paramétrico-prototipagem rápida.

No âmbito dos cursos de arquitetura, é fundamental que tais questões sejam continuamente abordadas por professores, alunos e pesquisadores, de preferência conjuntamente, e que registros dessas discussões sejam produzidos e compartilhados amplamente, em publicações, em reuniões científicas e em sala de aula, de modo a contribuir para o entendimento de como lidar com as profundas mudanças, atualmente em curso no mundo, nas maneiras de se produzir a arquitetura, a cidade e a paisagem. (TRAMONTANO, 2015, p.549).

Da mesma forma, esta pesquisa entende que tais questões também são relevantes ao design, pois elas são comuns ao demonstrar a preocupação referente aos novos rumos do ensino. Nesta etapa do trabalho serão abordados assuntos relacionados às ações pedagógicas, destacando alguns pontos que se mostraram essenciais para implementar a impressão 3D no processo ensino-aprendizagem da prática projetual de design. Entre eles, se destacam: estrutura preparada para o ensino das novas tecnologias; metodologias para integrar impressão 3D no ensino projetual; alterações na prática de ensino; o ensino sequencial e os requisitos de habilidades; aprendizado técnico da linguagem das ferramentas digitais. Cada um destes pontos possui características em comum, além de se inter-relacionarem uns com os outros. Em cada um deles serão discutidas questões referentes a: mudança da sala de aula convencional para laboratórios associados a projetos de pesquisa; revisão do modelo tradicional de ensino analisando os papéis de professores e alunos no ensino; reestruturação da grade curricular baseada em diferentes níveis de aprendizagem; alterações necessárias no método de ensino para o uso das novas tecnologias; de modo a identificar meios que facilitem a integração de novas tecnologias no ensino de design.

Os experimentos pedagógicos realizados, nesta pesquisa, mostraram que empregar a impressora 3D no processo ensino-aprendizagem de design é uma tarefa muito mais desafiadora do que simplesmente utilizar a ferramenta em disciplinas de projeto, através do modelo tradicional de ensino. Celani (2012) relata que, em alguns cursos, por exemplo, o impacto inicial dos laboratórios de prototipagem rápida na educação foi simplesmente o aumento do número de modelos físicos produzidos. A autora explica que a razão para isso foi provavelmente o fato de que a prototipagem rápida ter sido introduzida em disciplinas específicas, e não de forma realmente integrada no currículo de design. O design digital, segundo a definição de Oxman (2006), se apresenta como um fenômeno único e uma nova forma de design, não simplesmente o design convencional realizado com novas mídias. Para Oxman (2006), o design digital e o seu crescente impacto nas práticas de concepção e produção sugerem a necessidade de um reestudo de teorias e metodologias para explicar e orientar futuras pesquisas e desenvolvimento. Sendo assim, tais ideias estão alinhadas com a base do construcionismo, estabelecido por Papert que, segundo Blikstein (2013), defende a tecnologia nas escolas não como uma forma de otimizar a educação tradicional, mas como uma ferramenta poderosa de emancipação ao colocar processos avançados de fabricação nas mãos das crianças, pois ele acredita que o aprendizado das práticas projetuais tem que começar desde cedo.

As práticas do ensino acadêmico estão evoluindo e, por conseguinte, os seus espaços de aprendizagem. Para Blikstein (2013), os laboratórios de prototipagem rápida, inseridos nas instituições de ensino, são espaços que permitem aos alunos se envolverem em atividades e práticas intelectuais que não seriam possíveis em nenhum outro lugar, permitindo explorar muitas formas de trabalhar, expressar e construir. Deste modo, segundo Celani (2012), à medida que os laboratórios de prototipagem rápida se tornam mais comuns, nos cursos de arquitetura e design, e são assimilados por seus professores, eles podem promover mudanças na educação projetual, as quais permitem que os alunos se aproximem do processo de produção e que tenham conhecimento e controle maiores sobre os aspectos construtivos e de fabricação. Dada a citada importância, a inclusão de laboratórios de prototipagem rápida e a preparação da estrutura para o ensino das novas tecnologias será o primeiro tópico a ser discutido.

6.2.1. Estrutura preparada para o ensino das novas tecnologias

Quando se fala em estrutura preparada para o ensino, o primeiro pensamento remete a parte física dos laboratórios e aos equipamentos necessários para que as aulas possam ser ministradas. A definição dos laboratórios de prototipagem rápida, conforme visto

anteriormente, são espaços onde os alunos têm a oportunidade de desenvolver sua capacidade criativa através da inovação. Um local para estimular o processo que coloca novas ideias em prática onde a criatividade funciona como uma ferramenta vital.

De acordo com os resultados dos experimentos realizados, foram muitas as dificuldades relacionadas a falta de uma estrutura adequada para o ensino, como por exemplo, a falta de uma cortadora a laser dentro da universidade na disciplina I, o período de greve e consequente reforma dos laboratórios na disciplina II e até mesmo os contratempos na oficina realizada com a comunidade de Vitória de Santo Antão. Ao considerar o formato de ensino, o qual os alunos utilizam ferramentas digitais para desenvolver os seus projetos e os professores atuam como facilitadores do processo, ter um ambiente com uma estrutura preparada é essencial para o bom desempenho no ensino da prática projetual utilizando as novas tecnologias.

Devido ao período da greve e, logo após, a reforma dos laboratórios de pesquisa, na disciplina II, foi possível identificar as diferenças da dinâmica das atividades realizadas em uma sala de aula comum quando comparadas a um espaço específico, que conta com algumas ferramentas digitais à disposição, tais como computadores e impressoras 3D, devidamente instalados e configurados. As entrevistas com os professores apontaram uma preocupação extra, relacionadas a falta de verbas das universidades públicas para compra e manutenção de insumos e equipamentos. Neste caso, aumenta, ainda mais, o desafio em montar e estruturar esses laboratórios, considerando que, conforme apresentado na fundamentação teórica, a universidade precisa estar preparada para oferecer meios e ferramentas a fim de subsidiar a formação do aluno visando contribuir com a formação do profissional projetista, capaz de atender à demanda do mercado.

Considerando a limitação de verbas, concorda-se com a visão de que a criação de ferramentas e máquinas de baixo custo foi uma iniciativa fundamental para inserir os laboratórios de prototipagem rápida nas instituições de ensino. Porém, Kostakis *et al.* (2014) apontam que, mesmo com a redução do custo dos equipamentos, ainda é muito caro adquirir várias unidades, mesmo considerando uma impressora 3D de código aberto com preço mais acessível, o que dificulta o acesso e ainda mantém uma distância muito grande do cenário ideal de uma para cada aluno. Para Junk & Matt (2015), por não ter esse nível de disponibilidade, o acesso a impressora se torna limitado, tornando mais difícil para os alunos entenderem como elas funcionam e as formas como elas podem ser utilizadas no processo de design. Além disso, devido ao pequeno número de impressoras disponíveis, não favorece a possibilidade de realizar

testes de impressão para ideias rápidas e simples de design, o que, por sua vez, limita o processo criativo e o caráter de experimentação da ferramenta.

Nos experimentos realizados nesta pesquisa, o acesso limitado a impressora 3D foi responsável, em parte, pelos constantes atrasos no processo de materialização dos arquivos dos alunos, acarretando na diminuição do interesse deles em utilizar a ferramenta. Por consequência, acabou afetando a dinâmica do processo cíclico de gerar diversos modelos físicos para estudos do objeto, seja para refinar ou validar a sua forma, conforme era esperado pela pesquisa.

Contudo, os problemas relacionados a estrutura do ensino são mais amplos e abrangem, não somente as dificuldades relacionadas aos espaços físicos e ferramentas tecnológicas disponíveis, como também traz outros pontos relacionados a parte pedagógica. Por exemplo, em suas primeiras oficinas de prototipagem rápida, em 2009, Blikstein (2013) criou um projeto semiestruturado o qual os alunos aprenderam a criar chaveiros utilizando a cortadora a laser. O projeto foi bem-sucedido e tudo correu bem, tanto que os alunos voltaram e pediram para repetir a atividade e criaram mais chaveiros. A qualidade de acabamento dos produtos gerados na cortadora a laser e na impressora 3D tem um forte impacto na auto-estima dos alunos. No entanto, ao tentar avançar para a próxima atividade, introduzindo conceitos de robótica e eletrônica, os alunos ainda queriam produzir mais chaveiros. Ou seja, apesar de ter sido uma solução muito eficaz para envolver os alunos na prototipagem rápida, por oferecer uma grande recompensa em troca de um esforço relativamente pequeno, este modelo de oficina acabou transformando o laboratório em uma instalação de fabricação, em vez de um lugar para a invenção. Em virtude dos problemas ocorridos, o autor chamou este acontecimento de síndrome do chaveiro.

De forma semelhante, a oficina realizada neste trabalho contou com uma experiência muito próxima, que coincidentemente também produziu chaveiros, no primeiro contato dos alunos com *softwares* de modelagem e impressão 3D. Apesar de estarem apreensivos, os resultados positivos os incentivaram a querer continuar produzindo diferentes modelos de chaveiros. A possibilidade de dar forma as suas ideias, aliado ao acabamento próximo de maquinários industriais, se mostrou ideal para transformar os chaveiros produzidos em brindes, seja para os próprios alunos ou para pessoas próximas a eles. Infelizmente, o sucesso da primeira atividade acabou gerando uma grande barreira para dar continuidade no cronograma da oficina que esperava explorar outras propostas de projetos. O grau de dificuldade foi muito grande em conseguir avançar para outro exercício, ainda mais considerando que os alunos já

tinham dominado os requisitos da primeira tarefa e queriam ficar produzindo mais e mais chaveiros, seja variações para eles mesmos, quanto alternativas de presentes para as pessoas mais próximas. Ainda como agravante, o outro exercício proposto estava enfrentando dificuldades técnicas para ser devidamente executado. A disciplina II também enfrentou dificuldades ao mudar o foco da reprodução de um alimento em escala, na atividade 1, para uma criação de um personagem, na atividade 2. Os alunos estavam encantados com a impressora 3D de modo a querer apenas reproduzir diferentes elementos ao invés de utilizá-la para criar algo novo. Neste caso, o próprio sucesso da atividade e o deslumbramento com a tecnologia acaba criando uma barreira invisível que impede avançar em outras discussões.

Blikstein (2013) explica que é recomendado não intimidar os alunos no primeiro contato, sendo necessário desmistificar e, até mesmo, banalizar o laboratório. Porém, é preciso, ao longo do tempo, enaltecer e transformá-lo em um lugar para a excelência e o inquérito. A experiência com a atividade do chaveiro traz outro ponto de discussão, relacionado aos exercícios de laboratório, que incentivam produtos simples e bem polidos, em oposição a projetos confusos, complexos e potencialmente feios. Blikstein (2013) reforça que é fundamental para o educador (e facilitador) compreender este sistema de incentivo para evitar esse aspecto potencialmente prejudicial desse processo de fabricação. Para ele, a menos que os educadores modifiquem os verdadeiros sistemas de incentivo em sala de aula, os professores que recompensam os alunos com base em quantidade de tempo de conclusão, qualidade de solução e eficiência podem realmente estar promovendo salas de aula em que os alunos raramente se aventuram fora do que já conhecem.

O exercício do chaveiro mostra que as tecnologias de prototipagem rápida são capazes de gerar facilmente objetos e produtos atraentes esteticamente. Entretanto, isso gera um sistema de incentivo em que há uma recompensa discutível ao privilegiar projetos muito simples, mas ao mesmo tempo muito admirados por observadores externos. Smith *et al.* (2015) argumentam que os professores e os alunos têm dificuldade em transgredir a síndrome do chaveiro no processo de fabricação, pois se torna recompensador produzir objetos simples, com qualidade quase profissional, com as tecnologias de prototipagem rápida. Mas Blikstein (2013) aponta que se basear apenas em projetos simples é uma tentação que os educadores devem evitar a todo custo. Segundo ele, a não trivialidade de utilizar tais sistemas de incentivo foi uma das lições importantes aprendidas em suas oficinas iniciais.

Os experimentos relatados deixam claro que, apesar do uso da prototipagem rápida na educação se mostrar como um elemento importante na execução de projetos, para Blikstein

(2013), Smith *et al.* (2015) e Saorín *et al.* (2017), ela requer o cuidado com a criação de ambientes de aprendizagem envolventes que estimulem os múltiplos recursos epistemológicos de seus alunos, colocando novas ideias em prática e desenvolvendo a capacidade criativa através da inovação.

Sendo assim, os laboratórios de prototipagem rápida podem/devem ser utilizados através da parceria entre ensino e projetos de pesquisa, pois os dados provenientes dos experimentos realizados em qualquer um dos eixos retroalimenta o ciclo iterativo resultando em constantes melhorias e atualizações no processo ensino-aprendizagem. Tanto o Grea3D (vinculado ao Departamento de Expressão Gráfica), quanto o Nexus (vinculado ao Departamento de Design), do Centro de Artes e Comunicação da UFPE, ambos utilizados nas disciplinas realizadas para esta tese, se propõem a essa integração de ensino, pesquisa e extensão utilizando as tecnologias de prototipagem rápida voltadas ao ensino da prática projetual.

Ao querer adotar uma atualização das práticas vigentes de ensino de projeto, não se trata apenas de uma atividade orientada para o aprendizado de design utilizando ferramentas de prototipagem rápida, tais como impressoras 3D e cortadoras a laser. Neste caso, o passo fundamental é associar o uso de qualquer que seja a ferramenta a estratégias e planejamento no ensino. A próxima etapa vai justamente abordar o uso de alguns métodos de aprendizagem aplicados ao ensino das novas tecnologias na prática projetual de design.

6.2.2. Metodologias para integrar impressão 3D no ensino projetual

Conforme visto, o uso das tecnologias de prototipagem rápida está sendo reconhecido como sendo de grande potencial para o design. Mas para isso, elas precisam ser absorvidas na prática, tanto dos profissionais quanto das escolas de design. Logo, é necessário incorporar seus dispositivos no processo projetual.

Nos experimentos realizados, a pesquisa contou com duas disciplinas realizadas em cursos diferentes. Em uma delas, o perfil foi bastante interdisciplinar, com diferentes cursos participando juntos em uma mesma turma. A outra, foi formada por alunos de diferentes semestres, mas de um mesmo curso. A dificuldade em ter diferentes cursos participando de uma mesma disciplina é não saber qual o embasamento teórico e técnico que cada um deles possui provenientes de suas formações de origem. Na turma em que todos são do mesmo curso, mas de semestres diferentes, a dificuldade está em criar um conteúdo que todos consigam acompanhar, mas que também seja desafiador e interessante para todos os alunos. No entanto,

independente do perfil de cada disciplina, as duas demonstraram pontos em comum: dificuldades relacionadas aos conceitos teóricos do desenvolvimento de projetos.

Milincu & Feier (2015) identificaram que o tempo no desenvolvimento de um projeto acadêmico é geralmente mal distribuído. Os alunos tendem a gastar muito tempo nas etapas de modelagem e representação. Todo o desenvolvimento do projeto acaba sendo feito em ambiente digital por ser a zona de conforto dos alunos na utilização do computador. Segundo os autores, os alunos entendem que um trabalho feito inteiramente em ambiente digital é mais eficiente em termos de tempo gasto e qualidade do resultado. Os únicos métodos considerados pelos estudantes como possibilidades viáveis foram a digitalização 3D e a prototipagem rápida. A modelagem física tradicional foi rotulada como um processo à moda antiga (*old-school*), não integrado com o ambiente digital. O mesmo pode ser dito em relação aos experimentos realizados para esta pesquisa, os quais alguns grupos, desenvolveram os seus projetos, quase que inteiramente, em ambiente digital e, conseqüentemente, acabou os afastando de outros meios (principalmente os tradicionais) de representação.

O perfil de alunos que desenvolvem o projeto apenas utilizando o computador, somado ao fato da limitação do domínio do uso de *softwares*, acarreta em um grande problema. O que acontece é que, segundo Milincu & Feier (2015), o aluno adapta as soluções e alterações de projetos de acordo com as suas habilidades de modelagem. Ou seja, a forma do projeto segue os comandos que o aluno sabe utilizar por limitação em relação ao domínio dos *softwares* de modelagem 3D. A limitação dos projetos relacionado ao uso das novas tecnologias será melhor abordada na etapa sobre o aprendizado técnico da linguagem das ferramentas digitais mais a frente.

Outro ponto a ser destacado, identificado nos experimentos pedagógicos desta pesquisa, é a falta de geração de alternativas nos estudos realizados. Os alunos, no geral, já se mostram satisfeitos logo com os primeiros resultados, com soluções pouco ousadas, faltando esforço em pensar diferentes propostas ou até mesmo em refinar as existentes. Os projetos realizados também não foram submetidos a etapas de validação, possivelmente pelo fato das disciplinas terem adotado a figura de um cliente ou usuário apenas no campo teórico e não de forma prática. Para Milincu & Feier (2015), o bloqueio em relação a falta de desenvolvimento dos projetos reside no método utilizado pelos alunos, que os torna relutantes em mudar o design, uma vez que, um certo nível de solução é alcançado. As mudanças tendem a ocorrer apenas nos estágios iniciais, pois o projeto ainda não foi muito detalhado. Esse fenômeno pode ser atribuído ao tempo investido e aos recursos necessários para implementar mudanças. A aversão a mudanças

e/ou experimentações é grande, a ponto que, segundo Milincu & Feier (2015), os alunos evitam discutir os projetos com professores/tutores. Para os alunos, isso representa uma experiência frustrante, especialmente quando envolvem alterações de elementos já haviam sido definidos. Os autores descrevem que existe relutância dos alunos em apresentar a evolução do projeto, mesmo com o risco de perder pontos por não mostrar as etapas intermediárias.

A adoção de métodos, tais como o CDIO ou o I3, são apontados, por alguns autores, para solucionar os problemas relacionados a prática projetual e contribuir para criar o equilíbrio dos fundamentos pedagógicos de aprendizado, o treinamento de habilidades das tecnologias de prototipagem rápida e a prática de ensino. Em virtude disso, o processo projetual, nas áreas de design e arquitetura, está sendo repensado e pesquisas apontam a necessidade de atualizar o currículo destes cursos.

As metodologias de Aprendizagem Baseadas em Problemas/ Projetos/ Desafios foram destacadas, por diversos autores, como ótimas maneiras de integrar as tecnologias de prototipagem rápida nas atividades de ensino do processo projetual. Entretanto, os experimentos realizados mostraram que, para adotar tais iniciativas, é preciso ter um amadurecimento e realizar mudanças no método tradicional de ensino-aprendizagem vigente das universidades brasileiras. A adoção do método da Aprendizagem Baseada em Desafios (*Challenge Based Learning*, CBL) na disciplina I, por exemplo, permitiu identificar que é necessário um amadurecimento dos alunos (e também dos professores) em relação a seus papéis no processo de ensino. A figura do professor como facilitador, por exemplo, criou certa confusão entre os alunos. Eles estão acostumados com o perfil tradicional de ensino, o qual apenas absorvem informações e replicam os ensinamentos passados em sala de aula. Da mesma forma, a cobrança de uma participação mais ativa, com maior grau de independência e de liberdade no desenvolvimento dos projetos, fez com que muitos alunos se sentissem perdidos e, conseqüentemente, frustrados.

As implementações de tais métodos, aplicados na prática projetual de design, dependem diretamente de outras mudanças e pré-requisitos, como o processo de ensino adotado e a relação entre o professor e seus alunos. Além da necessidade em buscar diferentes métodos voltados a prática de projeto utilizando novas tecnologias, também é preciso estabelecer previamente uma boa comunicação em sala de aula, incentivando a participação e perfil colaborativo entre alunos e professores, que por sua vez, acarreta em mudanças no padrão vigente do ensino, que será o ponto apresentado a seguir.

6.2.3. Alterações na prática de ensino

O método tradicional de ensino, segundo Oxman (2006), é baseado no modelo de reprodução. Nele, o aluno se comporta apenas como receptor passivo que, no máximo, responde a questões propostas pelo professor, resultando em uma proposta de ensino que não estimula o pensamento ativo e independente. A revolução industrial foi responsável por transformar a mentalidade de projeto na chamada lógica da repetição, na qual, o produto é gerado através da padronização e reprodução. De modo semelhante, as práticas vigentes do ensino universitário, segundo Cunha & Pereira (2016), articulam o behaviorismo e teorias pedagógicas, utilizando a prática de adestramento, levando os alunos a reproduzirem os atos das pessoas em quem confiam e que têm autoridade sobre eles no processo de aprendizagem. A concepção behaviorista, portanto, considera o aluno passivo e reproduzidor de instruções, ficando ausente do desenvolvimento de sua criatividade, curiosidade e motivação. No entanto, movimentos como a Nova Escola são totalmente contrários a esse modelo de ensino e propõe que o aluno desempenhe um papel mais ativo dentro da sala de aula.

A Nova Escola é uma corrente pedagógica anti-conservadora, que tinha entre seus protagonistas o educador francês Célestin Freinet. Ela buscava seguir outro caminho além das práticas impostas pela tradicional linha de ensino predominante no início do século XX. Freinet propôs uma nova abordagem onde o aluno desempenha o papel principal na sala de aula. De caráter experimental, suas aulas tinham como interesse principal a forma como o pensamento individual de cada aluno interpreta o mundo. Esta visão se opunha veementemente às noções de hierarquia e adestramento que eram adotadas nos ambientes tradicionais de ensino, sendo considerada até mesmo anarquista. (...) Segundo o pedagogo, a função educativa não está de modo algum confinada às paredes da escola. (CUNHA & PEREIRA, 2016, p.39).

Outras iniciativas, tais como a adoção de ideias construcionistas, sugerem uma forte relação entre projetar e aprender. Elas se diferem do papel passivo dos alunos ao ficarem absorvendo informações de seus professores, pois a construção do conhecimento se faz a partir de explorações práticas que estimulam a experiência e a inventividade. Atrair o interesse dos alunos desempenha um papel vital no surgimento de resultados positivos, levando em consideração a motivação dos estudantes na busca do próprio conhecimento. A interatividade em sala de aula pressupõe a troca, o diálogo, o fazer junto. Os professores atuam como facilitadores e atuam junto aos estudantes com o objetivo de estimular a motivação dos alunos

na execução de suas atividades. Alguns exemplos, tais como as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), também rompem com o padrão estabelecido do ensino tradicional. Elas são ferramentas capazes de envolver os alunos na descoberta de soluções, focando em problemas significativos que melhoram os resultados educacionais.

No geral, os métodos citados se dividem em duas vertentes. Em uma delas, o aluno possui um perfil totalmente passivo à figura do professor, sendo que o aprendizado se dá pelo método de reproduzir o seu mestre até conseguir a excelência em seu ofício, e a outra, a qual o aluno conquista a liberdade de pensamento e discussão de sua educação, que não mais se limita apenas dentro, como também pode ser adquirida fora da sala de aula. Colocando dessa forma, parece muito claro que o segundo perfil deve tomar lugar do primeiro no cenário contemporâneo do ensino. Contudo, não é o que acontece.

Para explicar a importância de cada uma delas nas abordagens do ensino, utiliza-se, como exemplo, as atividades práticas em laboratórios. Segundo Celani (2012), as opiniões se dividem, enquanto alguns autores afirmam que a pedagogia tradicional não é efetiva porque é muito semelhante aos métodos tradicionais de sala de aula, que se baseiam na transmissão de informações. Neste caso, os alunos deveriam planejar e realizar suas próprias investigações científicas, em vez de seguir cegamente um livro de receitas. Outros autores defendem os experimentos controlados, pois mesmo limitados e sem estimular necessariamente o uso da criatividade, são necessários para o aprendizado dos alunos iniciantes. Cunha & Pereira (2016) trazem que, na prática, se constata que pular etapas e seguir (ou pelo menos tentar) para o livre experimentalismo, precocemente, compromete não só a qualidade do trabalho, mas corrompe o aprendizado. A atenção aos princípios básicos dos métodos tradicionais agrega uma visão do processo como um todo, da mesma forma com que esforços em um único item e desconsideração do projeto completo, não satisfazem os critérios mais básicos da criação e produção.

Portanto, o método de ensino a ser escolhido vai depender da proposta do exercício, escolhendo o perfil mais adequado, segundo o formato do exercício a ser realizado, objetivando a melhor maneira em se transmitir o conhecimento para o aluno. Cunha & Pereira (2016) sugerem que, em alguns casos, é possível até mesmo intercalar os métodos. No processo de transmissão de conhecimentos tácitos, como por exemplo, o ensino de um ofício, a metodologia pode adotar tanto o adestramento como o experimentalismo, observando e colocando o que há de mais interessante em cada uma das abordagens na busca por uma experiência de ensino ao mesmo tempo consistente e estimulante.

O próximo tópico aborda possíveis usos de abordagens alternadas do ensino, através de etapas sequenciais, buscando estabelecer primeiro os fundamentos básicos, do uso das novas tecnologias, utilizando o método guiado, para depois permitir que o aluno adote o experimentalismo em seus projetos.

6.2.4. O ensino sequencial e os requisitos de habilidades

A reforma na educação brasileira está propondo o uso de uma grade curricular flexível. Alguns cursos universitários já não utilizam pré-requisitos em suas disciplinas e o aluno fica responsável por decidir quais e em qual sequência serão as disciplinas que ele vai cursar. Esse tipo de estrutura facilita ao realizar alterações na grade de disciplinas do curso, incentivando a atualização e mudanças que se mostram necessárias, além de estar alinhado com o método de ensino construcionista. No entanto, apesar de parecer retrógrado, esta pesquisa acredita no ensino sequencial ao estabelecer requisitos e progressões necessárias para a preparação dos alunos, de forma evolutiva, para o uso das novas tecnologias em seus projetos.

Para Celani (2012), os métodos de abordagem minimamente guiada, conhecidos como aprendizado de descoberta, aprendizagem baseada em problemas, aprendizado de informações, aprendizagem experiencial e aprendizado construtivista são mais eficientes quando usado com estudantes em níveis intermediários e avançados. Enquanto que, segundo a autora, métodos de aprendizagem guiada são importantes, principalmente para alunos iniciantes, e que cada método pode não ter o mesmo grau de eficiência em todos os níveis (iniciante, intermediário e avançado) de ensino.

Os experimentos pedagógicos realizados neste trabalho permitiram identificar dificuldades relacionadas a preparação dos alunos em relação às atividades propostas ao longo das disciplinas. Sass & Oxman (2006) afirmam que, apesar de todos os benefícios trazidos pelas tecnologias de prototipagem rápida, é preciso um planejamento e objetivos traçados referentes a sua utilização. Considerando que, alguns métodos de ensino são voltados para diferentes níveis de aprendizagem dos alunos, constatou-se a possibilidade em utilizar estratégias baseadas no uso sequencial do ensino guiado para o experimentalismo, de acordo com a evolução da habilidade dos alunos nas disciplinas propostas na grade curricular do curso.

Um estudo sobre educação em engenharia, trazido por Celani (2012), apresenta instruções de atividades de laboratório, divididas em três diferentes níveis de aprendizagem, que exemplificam a proposta de ensino sequencial para integrar as novas tecnologias no ensino do processo projetual.

No primeiro nível, os alunos iniciantes devem seguir estritamente as instruções do instrutor, passo a passo, para alcançar os resultados desejados, o que demonstrará um conceito. Os conhecimentos básicos sobre os diferentes métodos de produção podem ser ensinados em oficinas introdutórias, nas quais os alunos são convidados a desenvolver modelos simples para explorar as capacidades específicas de cada máquina. Esta abordagem de instrução guiada inicial não é muito utilizada nos laboratórios de prototipagem rápida e, segundo Celani (2012), pode ser a razão pela qual os alunos têm dificuldade em desenvolver suas experiências de projeto de forma mais sistemática e científica, muitas vezes recorrente para teste e erro.

O segundo nível, os alunos são responsáveis por resolver problemas práticos. Este tipo de exercício é conhecido como experiência semiestruturada, pois apenas conceitos e objetivos são dados, mas não são sugeridos métodos. As experiências semiestruturadas tornam os alunos mais proativos e mais confiantes no uso de conceitos. No entanto, para realizar esse tipo de exercício, os alunos devem ter sido anteriormente ensinados a usar equipamentos de laboratório adequadamente.

O terceiro nível, com estudantes avançados, é possível usar uma experiência aberta para ensinar a lidar com problemas complexos. Neste tipo de experiência, apenas são apresentados conceitos e uma breve descrição do problema. Os alunos devem definir os objetivos de sua experiência e os meios para alcançá-los. Neste nível, os alunos já desenvolveram um senso de sistematização científica dos procedimentos, o que pode ajudá-los a serem mais eficiente em suas explorações projetuais.

Deste modo, são três níveis distintos, que separam os alunos de acordo com o seu nível de aprendizagem, buscando explorar a capacidade de cada um utilizando um nível adequado de exigência. A estrutura baseada em três níveis avança partindo do estágio mais básico utilizando o ensino guiado até o mais avançado com alto grau de experimentalismo.

Outra característica do experimentalismo na prática de ensino em laboratório, segundo Blikstein (2013), está relacionada ao espaço para desenvolver projetos de longo prazo, que não poderia ser realizado no formato padrão de aula. Por sua vez, esses longos projetos permitem aos alunos enfrentarem (sozinhos ou em grupos) uma experiência nova e intensa: o fracasso. Aprender a gerenciar o fracasso, algo que é raramente ensinado nas escolas, se tornou outro benefício educacional do trabalho em laboratório. Através de vários ciclos de falhas e redesign, os alunos não só conseguem projetos incrivelmente originais e complexos, mas também se tornam mais persistentes, aprendem a trabalhar em equipes heterogêneas e se tornaram melhores no gerenciamento da diversidade intelectual. Cunha & Pereira (2016) apontam que a

insistência nos erros promove não só a descoberta de soluções como favorece a capacidade de ensinar.

Contudo, a transformação do processo tradicional, em relação as possibilidades de uso das tecnologias de prototipagem rápida, está sendo afetada pelo desconhecimento e dificuldade na aprendizagem, por parte dos envolvidos, das ferramentas digitais necessárias para a execução dos projetos. Foi visto que, para implementar a impressora 3D como uma linguagem de design, entre os alunos, é preciso estimular exercícios para que eles consigam um domínio cada vez maior e, conseqüentemente, a capacidade de articular os projetos sem ficar restrito às dificuldades de uso da ferramenta. O próximo tópico se propõe a discutir a importância do aprendizado das ferramentas digitais na busca por inserir as novas tecnologias no ensino de design.

6.2.5. Aprendizado técnico da linguagem das ferramentas digitais

A falta de domínio relacionado ao uso de *softwares* se mostrou como um dos grandes impeditivos em explorar os recursos da prototipagem rápida nas atividades realizadas para os estudos desta tese. Os resultados dos questionários aplicados mostram que os alunos acreditam que é papel da universidade ensinar a utilizar essas ferramentas digitais, assim como eles se sentem frustrados por não ter o domínio de sua utilização para desenvolver os projetos das disciplinas. O desempenho nas atividades de aula acaba sendo realmente afetado pelo grau de habilidade na utilização dos *softwares*. Lembrando que as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) colocam como sendo responsabilidade dos cursos em preparar os seus alunos para os desafios e exigências do mercado de trabalho.

A dificuldade técnica, em relação ao uso dos equipamentos, limitou o uso da impressão 3D, por exemplo, pelos alunos, na execução das atividades de projeto. Os questionários aplicados apontaram que muitos alunos ainda têm a visão de que os modelos físicos servem apenas para a etapa final e se resume a ilustrar apenas o visual e a aparência do projeto. Lee (2016) explica que, no início, os estudantes tendem a usar a prototipagem rápida para representações finais, e não para modelos de estudo, pela tendência em continuar utilizando uma linguagem específica que eles conheçam, neste caso, o desenvolvimento de projeto utilizando apenas o meio virtual, através do computador. Nos experimentos desta tese, foi possível identificar a preferência dos alunos pelo computador como única ferramenta de desenvolvimento de projeto, o que acaba inibindo outros métodos, sejam eles tradicionais ou ligados às novas tecnologias. O contraponto encontrado, nas disciplinas realizadas, está

relacionado ao fato de que, hoje em dia, os alunos possuem uma proximidade muito grande com os computadores, porém ainda apresentam dificuldades quanto ao uso das ferramentas digitais voltadas ao desenvolvimento de projetos.

Segundo Oxman (2006), a tecnologia expandiu e inclui hoje uma variedade de métodos para reverter a direção da informação: do modelo digital ao modelo físico. Existem novos relacionamentos entre o modelo físico e o modelo digital como um processo bidirecional. O uso de ferramentas de prototipagem rápida permite transformar um modelo digital em um modelo físico. Da mesma forma, os objetos físicos também podem ser capturados digitalmente e traduzidos para modelos digitais e assim sucessivamente. A função do CAD tradicional, neste caso, evoluiu para uma integração contínua de material virtual e físico.

O uso de *scanners* 3D no campo da educação em design, segundo Junk & Matt (2015), já foi discutido há vários anos. Alguns estudos já mostraram, por exemplo, que os alunos desenvolvem uma melhor compreensão na avaliação de superfícies complexas, através do uso de *scanners* 3D. Ao usar os dispositivos, nos laboratórios da universidade, os alunos também podem ganhar experiência dessa tecnologia na coleta de dados. Porém, os autores descrevem que as mesmas limitações, que se aplicam à impressão 3D utilizadas no ensino, também se aplicam à digitalização 3D. Ou seja, os laboratórios são apenas equipados com um pequeno número de *scanners*. Os motivos para isso são, entre outras coisas, o alto custo de aquisição de *hardware* e *software* profissional.

Esta pesquisa, por exemplo, não contou com nenhum *scanner* profissional para os seus experimentos. No caso da disciplina II, o *scanner* utilizado foi uma adaptação experimental utilizando smartphones ou o Kinect (conforme detalhado anteriormente na descrição dos experimentos pedagógicos), já que o laboratório não possuía nenhum *hardware* profissional disponível. As soluções encontradas para realizar as digitalizações foram bastante problemáticas o que, conseqüentemente, fez com que metade da turma nem chegasse a experimentar as ferramentas. Esta reação demonstra o receio e o bloqueio dos alunos frente a novas opções de ferramentas, principalmente quando os colegas de sala demonstram dificuldade em aprendê-las. A falta de aprendizado no uso da tecnologia de digitalização 3D é um exemplo de limitação que impediu explorar o uso da ferramenta no processo bidirecional entre modelos digitais e modelos físicos. O uso de *scanners* 3D em conjunto com impressoras 3D poderia ter resultado em um processo cíclico de experimentações da forma utilizando a retroalimentação entre os meios virtual e físico, mas que não foi possível devido a falta de aprendizado das ferramentas.

Assim sendo, a busca por estabelecer a prototipagem rápida nas práticas de ensino de projeto, segundo Tramontano & Pereira Junior (2015), requer o entendimento dos alunos em relação a seus processos. Neste caso, é necessário incluir, dentre os assuntos tratados no ateliê de projeto, alguns procedimentos técnicos referentes à execução e preparação dos arquivos digitais, assim como a configuração e manuseio das impressoras 3D. Saber operar o *software* e o *hardware* são requisitos exigidos para o desenvolvimento de projetos utilizando as novas tecnologias. A produção contínua de modelos físicos, de acordo com Tramontano & Pereira Junior (2015), faz com que os alunos se identifiquem com a impressora 3D e ela se torna parte indissociável do processo de projeto. Além disso, existe a necessidade em realizar exercícios que explorem as potencialidades dos *softwares*, e dos modos de projetar e construir que eles pressupõem. Em outras palavras, estimular atividades práticas que construam o raciocínio projetual através do uso das ferramentas de prototipagem rápida.

A partir da atividade 2 na disciplina II, os alunos tiveram um contato maior com as impressoras 3D, sendo responsáveis pela configuração dos arquivos .stl, utilizando *presets* previamente configurados no *software* de gerenciamento de impressão para gerar os arquivos .gcode. Apesar de não ser uma turma muito grande (média de 15 alunos por aula), a quantidade reduzida de equipamentos (2 impressoras 3D) e o longo tempo de impressão de cada arquivo, de certa forma, impediram uma proximidade e um contato maior no ciclo de materialização dos arquivos. De acordo com as respostas dos questionários, entre os fatores apontados pelos alunos por não ter explorado mais o uso da impressora 3D se destacam: o tempo de espera para o modelo ficar pronto, a dificuldade em manusear o equipamento e a falta de acesso ao equipamento fora do horário de aula. Devido a dificuldade em relação a compra de equipamentos, conforme apontado nas entrevistas acadêmicas, é preciso encontrar soluções que trabalhem com um número restrito de impressoras. A formação de grupos nas disciplinas foi uma das iniciativas tomadas, não só para estimular a discussão em relação aos projetos, como também para reduzir a quantidade de modelos a serem impressos durante as aulas.

Buscando contornar os problemas de materialização dos arquivos, foi adotado o método semelhante a um birô de serviços, sendo o professor responsável por materializar todos os arquivos digitais dos alunos fora do horário de aula e responsável por entregar todos os modelos prontos na semana seguinte. No entanto, essa solução se mostra longe de ser a ideal, pois este método acabou afastando os alunos da parte técnica do processo, além de atrapalhar a fluidez no ciclo de materialização de ideias, devido ao grande espaço de tempo em receber o arquivo impresso, durante o desenvolvimento dos projetos.

A solução, para Celani (2012), é que os alunos aprendam a usar essas ferramentas e entendam o conceito por trás de cada estratégia de prototipagem rápida, através de atividades específicas. No caso dos experimentos de Tramontano & Pereira Junior (2015), eles ofereceram um roteiro guiado, descrevendo o passo-a-passo sobre a produção de modelos impressos em 3D para capacitar os seus alunos na disciplina de projeto. Neste roteiro, os autores destacam as seguintes informações: o processo de exportação a partir do programa Rhinoceros, considerando as configurações para exportação de arquivos em formato .stl; a instalação e configuração de programas necessários para a impressão, que geram o código computacional G-code; os procedimentos para operar a impressora 3D e lidar com suas configurações próprias, mas também para retirar o modelo impresso da mesa de impressão, realizar a limpeza da mesa e para garantir a segurança durante o processo. Nas etapas de capacitação dos alunos, os autores também abordaram questões operacionais relacionados a problemas durante a impressão, tais como: cancelar uma impressão em caso de erro de leitura da máquina; como substituir o filamento; como desmontar e montar o cabeçote extrusor em caso de seu entupimento com resíduos de filamento; entre outros.

A disciplina II, dos experimentos realizados, foi a que explorou mais o processo de ajuste e configuração do *software* de gerenciamento de impressão 3D. No entanto, acabou sendo algo bastante introdutório e, conforme mencionado anteriormente, devido ao número restrito de impressoras 3D, os alunos acabaram não tendo muito contato direto com o equipamento, o que limitou ter uma experiência maior nos ajustes do *hardware* da máquina, assim como os procedimentos operacionais tais como retirar o modelo da mesa de impressão, substituir filamento, limpar o bico extrusor, etc.

Em relação ao ensino de *softwares*, nos experimentos pedagógicos realizados, tanto na disciplina I (contou com oficinas guiadas) quanto na disciplina II (o aprendizado dos *softwares* era responsabilidade dos alunos), as estratégias adotadas não foram suficientes para suprir as demandas de uso para as atividades propostas em sala de aula. Apenas a estrutura guiada da oficina, que contou com uma rápida introdução de como criar modelos 3D utilizando o SketchUp, foi bem-sucedida. Na pesquisa de Tramontano (2015), ele contou com o comportamento proativo dos alunos, ao estabelecer em sua disciplina um processo de busca pela internet de soluções de *softwares*, capazes de auxiliar em problemas específicos no processo de concepção e fabricação. Por essa razão, o uso de *softwares* tais como o Grasshopper e o Rhinoceros, foram acrescidos de outras soluções, encontradas pelos alunos na internet através de várias maneiras: em fóruns especializados, em *websites* técnicos, através de contato

com escritórios de arquitetura, com colegas de anos anteriores, etc. O que reafirma as Diretrizes Nacionais Curriculares a respeito de outros meios de aprendizagem nos quais a informação está disponível em muitas fontes e não apenas, na figura do professor ou apenas dentro de sala de aula. Segundo Tramontano (2015), a crítica, as implicações do uso desses *softwares* e suas intervenções nos projetos dependem, no entanto, estreitamente da reflexão presencial em sala, com professores e alunos contribuindo a partir de seus entendimentos pessoais, em discussões e sessões de trabalho coletivas e colaborativas.

Com base nesses experimentos, acredita-se que aulas introdutórias, mostrando os comandos necessários para a execução das tarefas, utilizando o modelo guiado, já consiga incentivar os alunos a explorarem melhor e até mesmo sugerir outras alternativas de *softwares*. Além disso, contando com o perfil proativo da turma, espera-se que eles busquem soluções para os problemas encontrados, assim como, compartilhem e discutam os resultados encontrados. O processo descrito possui exemplos próximos já adotados. Nos exercícios desenvolvidos por Kostakis *et al.* (2014), por exemplo, eles permitiram que os alunos criassem artefatos com poucas restrições, o que resultou em uma grande variedade de objetos, que os tornaram desafiadores, em virtude dos vários obstáculos que ocasionalmente apareceram. Através do papel mais ativo dos alunos, buscando soluções disponíveis na internet, além de estabelecer em sala o diálogo e a experimentação, esses obstáculos foram superados.

Kostakis *et al.* (2014), apontam um outro problema relacionado a diferenças do nível da alfabetização tecnológica entre os alunos. Apesar de a maioria possuir habilidades básicas nas TIC, alguns são mais envolvidos do que outros, criando um campo desigual na sala de aula. Os autores explicam que para enfrentar esse desafio, o professor precisa distribuir seu foco em conformidade para que todos os alunos obtenham o mesmo nível de compreensão e conhecimento adquirido. Em primeiro lugar, é preciso a familiarização dos professores com a impressora 3D e um cuidado extra na explicação de conceitos e princípios fundamentais, para que todos os alunos possam prosseguir com as atividades. Junk & Matt (2015) complementam dizendo que, graças a maior familiarização e experiência dos professores com os avanços tecnológicos, permitem a eles buscarem soluções de impressoras 3D mais baratas, mais rápidas e precisas para as intuições de ensino.

No caso de Paula & Lima (2014), eles solucionaram as barreiras, relacionadas ao uso de *softwares*, através da divisão da disciplina em módulos. O módulo introdutório foi responsável por difundir e apresentar conceitos, ferramentas e possibilidades de utilização da informática na geração e produção de toda a temática relativa a este contexto. Segundo os

autores, não se trata de um curso do *software*, até por restrições de tempo e de proposta da disciplina, mas a intenção é a de introduzir os alunos a esta ferramenta que é utilizada no decorrer da disciplina e espera-se deles a busca por complementar o que é dado em sala de aula com a prática extraclasse. Ou seja, segue o mesmo padrão de apresentação de um conteúdo introdutório, depois os alunos assumem um papel mais ativo e independente na busca por uma formação complementar. No entanto, os autores descrevem que, no ensino dos conteúdos de modelagem paramétrica, foram necessários exercícios na forma de tutoriais e conforme as tarefas eram executadas, os próprios alunos foram associando comandos e propondo alternativas e modelos.

A modelagem paramétrica, aliás, modifica a visão em relação ao uso de ferramentas digitais na atividade projetual. A mudança, proveniente da inclusão das novas tecnologias, inicialmente tida como sendo apenas instrumental, se mostrou mais ampla, com as implicações do uso dos recursos digitais como meio de aprendizagem de projeto e não apenas como meio de representação. Da mesma forma que as práticas e as metodologias de ensino precisam se adequar a essa nova realidade, surge a necessidade, cada vez maior, de conhecer as características das ferramentas digitais, para aproveitar o potencial que elas oferecem. Para Rocha *et al.* (2016), na medida em que as novas tecnologias passam a ser consideradas como meio durante o desenvolvimento de projeto, percebe-se a importância que as operações computacionais passam a adquirir durante a concepção do projeto.

A modelagem paramétrica se mostrou com uma poderosa ferramenta para o processo projetual de design. No entanto, conforme visto na fundamentação teórica, ela requer um conjunto de fundamentos que devem ser incorporados através de parcerias interdisciplinares, ou disciplinas específicas, ensinando os conceitos básicos para a sua utilização. A atividade 3 da disciplina II tentou incorporar a modelagem paramétrica, porém não teve sucesso em virtude do pouco tempo para aprender a utilizar a ferramenta.

Em relação ao aprendizado de ferramentas, Celani (2012), em seu artigo, aborda duas estratégias diferentes para a introdução de novos conteúdos tecnológicos na grade curricular: uma que integra as novas tecnologias em disciplinas de projeto já existentes e outra em que os tópicos são oferecidos em disciplinas específicas e obrigatórias. Ela afirma que a primeira estratégia se mostra mais eficiente por continuar se preocupando com a execução de projetos e não apenas se voltar ao estudo das ferramentas. Os resultados dos questionários aplicados nesta pesquisa mostraram, por exemplo, que apesar do interesse pelo uso da ferramenta, e que ela deve fazer parte do curso de design, muitos alunos não tem uma ideia bem definida de como

utilizar a impressão 3D. O que reforça a importância em buscar iniciativas conjuntas, entre os laboratórios de pesquisa com as disciplinas acadêmicas, para que ambos consigam estudar formas de explorar melhor o uso das ferramentas de prototipagem rápida aplicadas no ensino projetual. Contudo, Celani (2012) lembra que mesmo adotando o uso das novas tecnologias em disciplinas já existentes de projeto, se faz necessário fornecer instruções aos alunos sobre o uso dos equipamentos, de seus *softwares* específicos e introduzir conceitos de prototipagem rápida, pois esse conhecimento pode ter impacto nas decisões de design. Por esta razão, uma opção melhor pode ser incluir disciplinas específicas sobre o uso da tecnologia de prototipagem rápida no início e integrar progressivamente esse conteúdo nas disciplinas mais avançadas. O que possivelmente se mostra como sendo também a melhor opção para o ensino da impressora 3D, assim como da modelagem paramétrica. Neste caso, além de corroborar com o módulo introdutório, utilizando o modelo guiado para o aprendizado do uso das ferramentas, reforça a estrutura do ensino sequencial, apresentada no tópico anterior, evoluindo os projetos de acordo com o grau de habilidade e nível de aprendizagem dos alunos. Segundo Celani (2012), os educadores são responsáveis por adaptar esses métodos a diferentes situações, assuntos e nível de maturidade dos alunos. Desta forma, a experiência se torna eficazmente educativa.

A partir de toda coleta, análise e discussão das informações, previamente apresentadas, a próxima etapa traz uma proposta de estruturação da grade curricular de forma a integrar o uso das novas tecnologias no ensino do processo projetual de design.

6.2.6. Proposta de grade curricular para o ensino de novas tecnologias

Apesar de não ser o objetivo inicial deste trabalho, as dificuldades em conseguir integrar as ferramentas de prototipagem rápida, em especial a impressora 3D, estimularam reflexões a respeito do que seria preciso para conseguir facilitar o uso e melhorar o desempenho no ensino das práticas projetuais. A proposta apresentada a seguir foi estruturada, a partir do apanhado de informações coletadas junto às experiências vivenciadas, no desenvolvimento das práticas pedagógicas realizadas para esta pesquisa.

A grade proposta parte do princípio do ensino sequencial, utilizado para consolidar conhecimentos básicos necessários, tais como: o conhecimento técnico operacional das ferramentas; a literatura científica; e o conteúdo teórico a respeito do processo projetual. Todas devem ser consideradas como etapas essenciais do processo. As etapas iniciais adotam o método tradicional de ensino, com a reprodução e o modelo guiado, utilizando-se até mesmo de tutoriais, caso necessário. Através de um modelo progressivo de evolução de habilidades e

níveis de aprendizagem, o aluno vai ganhando mais espaço e maior autonomia no processo de ensino. A abordagem vai se tornando cada vez menos guiada e o aluno se torna mais ativo na construção do conhecimento, adotando a busca complementar dentro e fora da sala de aula, estimulando o diálogo e a experimentação com os demais integrantes da disciplina. Por fim, a abordagem deixa de ser guiada, resultando na completa independência do aluno, com alto grau de liberdade de ações e pensamentos, rumo ao total experimentalismo, com as suas discussões e resultados de projetos, cada vez mais originais e complexos, revertidos para o avanço da ciência e do ensino.

Com base neste processo previamente citado, propõe-se a seguinte estrutura para a inclusão das novas tecnologias na grade curricular de design:

O primeiro passo é iniciar, o quanto antes no curso, uma disciplina introdutória com o foco maior na apresentação e manipulação dos equipamentos. Ela funciona como atrativo para os recém-ingressos, geralmente aversos a disciplinas puramente teóricas, e também ambientar os alunos em relação ao uso, configuração e manutenção da impressora 3D. As atividades são baseadas em tutoriais passo a passo e modelos guiados para que o aluno se sinta cada vez mais seguro dos aspectos operacionais. O objetivo é desmistificar e tornar o uso da impressora 3D em um processo natural, explorando o potencial, conhecendo as qualidades e limitações, buscando alcançar um domínio cada vez maior da ferramenta, através do uso contínuo e atingir bons resultados. Apesar do foco da pesquisa ser a impressão 3D, essa estrutura de disciplina ferramental pode trabalhar com diversas outras ferramentas, tais como a cortadora a laser, *scanner* 3D, etc. Neste tipo de disciplina é preciso um cuidado extra para o foco não ser apenas na ferramenta e acabar resultando em algo semelhante a síndrome do chaveiro. O objetivo é dar a liberdade aos alunos de expressarem suas ideias utilizando as novas tecnologias e eliminar as restrições do processo criativo devido a limitações de uso das ferramentas. Com o domínio necessário das ferramentas é possível trabalhar alguns conceitos citados ao longo da pesquisa, tais como, a relação bidirecional utilizando *scanner* 3D e impressora 3D, ou o processo iterativo de materialização de ideias.

O segundo passo, não necessariamente precisa ser na sequência do primeiro, ele pode ser conduzido de forma paralela, pois são conhecimentos complementares. A proposta é estudar e compreender o estado da arte do pensamento filosófico projetual. Os alunos, antes de cair na armadilha da dependência dos recursos computacionais, precisam aprender a pensar, desenvolver, analisar e executar as diferentes etapas do projeto com o foco na teoria. Entre os diversos pontos a serem estudados, é importante ressaltar o uso de modelos e protótipos como

ferramenta de experimentação e validação, não apenas nas fases finais, mas ao longo de todo o processo projetual. Aprender a importância de economizar tempo e recursos ao saber adotar modelos e protótipos de baixa e alta fidelidade em cada uma das etapas do projeto. Nas etapas finais da disciplina é possível integrar o aprendizado do uso de modelos e protótipos com o processo de impressão 3D, ou até mesmo, integrar outras ferramentas utilizando o processo híbrido.

O terceiro passo ocorre, obrigatoriamente, somente após ter concluído as etapas prévias, citadas anteriormente. Ele é voltado ao ensino e treino da parte prática, conciliando os conceitos teóricos com diferentes ferramentas de representação para a execução de projetos. Considerando que o aluno já possua uma experiência maior na operação e raciocínio da impressão 3D aplicada em diferentes etapas do projeto, é possível explorar diferentes propostas pedagógicas relacionadas ao uso da ferramenta. Por exemplo, o uso da impressão 3D, na fase de ideação, através do processo iterativo de materialização de ideias e/ou conceitos em modelos físicos. A proposta de utilizar a impressão 3D no processo iterativo de materialização de ideias requer diretamente uma base teórica de projeto, reforçando a importância do uso de protótipos ao longo das etapas do processo projetual, da mudança do comportamento dos alunos (e dos professores) para um perfil mais ativo, criando mais propostas na etapa de geração de alternativas, buscando um domínio maior com as ferramentas digitais a ponto de ter facilidade em modelar e materializar as próprias ideias.

Para isso, se faz necessário contar um ambiente preparado para o uso das novas tecnologias no ensino da atividade projetual, não apenas em relação ao espaço físico e equipamentos, como também nas mudanças em relação ao ensino previamente apresentadas, estimulando a criação e execução de novas ideias, promovendo a inovação e a capacidade criativa dos alunos na construção do próprio conhecimento.

A partir do momento em que for estabelecida essa estrutura, o uso das novas tecnologias associadas ao ensino de design pode expandir e colaborar com propostas criativas para o ensino. Por exemplo, como foi realizado na atividade 2 da disciplina II, realizar um exercício que permita sair do modelo clássico de modelagem a partir de vistas ortogonais, herdadas dos desenhos técnicos, e experimentar diferentes meios de conceber a forma, tais como os *softwares* de modelagem orgânica, que remetem a metáfora do processo tradicional de modelagem manual em argila. Disciplinas mais avançadas (e específicas) podem propor o aprendizado interdisciplinar através do design paramétrico, que combina conceitos de design com

matemática e algoritmos computacionais para criar parâmetros que resultam em gerações diferenciadas da forma através de um processo computadorizado automatizado.

Quando chegar a esse ponto, as ferramentas digitais deixam de ser apenas um meio de representação para finalmente se tornar parte ativa no raciocínio e desenvolvimento projetual. Como, por exemplo, as novas tecnologias de design generativo ou design paramétrico as quais o computador assume papel ativo na geração de alternativas no desenvolvimento de projetos.

Em relação a quantidade de atividades e o grau de dificuldade, os experimentos pedagógicos realizados mostraram que para as disciplinas introdutórias é mais indicado desenvolver atividades menores e com foco maior na ferramenta (como nas atividades 1 e 2 da disciplina II). Nos semestres mais avançados, um projeto maior, mais complexo e com abordagem focada em seu desenvolvimento (conforme realizado na disciplina I). Vale reforçar que mesmo em uma disciplina que conta apenas com um único projeto, o ideal é dividi-la em pequenos módulos. Ao adotar a estrutura por módulos, é possível trabalhar com a segmentação dos assuntos, separando diferentes conteúdos para cada aula, além de ter um controle maior no cronograma em relação do desenvolvimento dos projetos. Assuntos técnicos mais complexos como, por exemplo, design paramétrico ou também design generativo requerem um grau maior de preparação e o ideal que tenha uma disciplina específica apenas para conhecer, experimentar e aprender a utilizar essas ferramentas para depois pensar em emprega-las nas aulas de projeto.

Outras iniciativas, tais como a possibilidade de levar a impressora 3D para as escolas, despertando o interesse da cultura *maker* já nas crianças, baseado em autores da fundamentação teórica e nas afirmações de algumas entrevistas, certamente se mostra como uma excelente opção; não apenas incentivando um contato antecipado com a ferramenta, mas também ao despertar o raciocínio projetual desde cedo. No decorrer dos anos, esta experiência prévia de ensino escolar, conforme apontado por muitos artigos científicos, pode simplesmente tornar desnecessário toda a disciplina introdutória proposta anteriormente para o início do curso acadêmico e já partir diretamente para discussões mais específicas de projeto.

Neste caso, a oficina de impressão 3D realizada para esta pesquisa, foi importante para verificar que, mesmo nunca tendo contato com *softwares* de modelagem tridimensional e ferramentas de impressão 3D, os adolescentes demonstraram pouca dificuldade ao se adequar ao ambiente computacional, pois é algo que já faz parte de seu universo de convívio. Hoje, as redes sociais e alguns *sites* promovem uma mudança no perfil na produção e consumo de mídias através da difusão dos dispositivos eletrônicos e de *softwares* cada vez mais amigáveis a seus usuários. Em uma outra oficina realizada com os mesmos adolescentes, por exemplo, foram

roteirizados, filmados, e editados vídeos com conteúdos autorais e, posteriormente, disponibilizados no YouTube e Facebook. Todo o processo foi realizado por eles, utilizando ferramentas como *smartphones* e computadores, com uma naturalidade enorme, pois mesmo não conhecendo *softwares* específicos para edição de vídeo, o convívio com os dispositivos eletrônicos facilita a curva de aprendizado ao ter contato com novas ferramentas digitais. O que leva a acreditar que iniciativas como o movimento *maker* nas escolas certamente vai trazer um domínio muito maior na utilização das ferramentas de prototipagem rápida e o raciocínio projetual atrelado a elas.

No presente capítulo, através das análises do conteúdo teórico e das atividades práticas realizadas, a pesquisa trouxe uma lista com as vantagens e limitações da impressão 3D no ensino projetual. Elas apontam os diferenciais em utilizar a impressão 3D aplicada às disciplinas de projeto. Mas a proposta da tese não foi apenas apontar tais diferenciais. Apesar de ter conseguido incluir a ferramenta nas disciplinas de projeto, o objetivo passou a ser encontrar formas de integrar a impressora 3D no processo ensino-aprendizagem da prática projetual de design. Em meio a este processo, ao longo dos experimentos práticos realizados, foram identificadas diversas barreiras e dificuldades ao longo de implementar o uso da impressão 3D na prática do ensino projetual. Buscando contornar isso, o capítulo descreveu algumas pesquisas que trazem estratégias pedagógicas para implementar a impressão 3D no processo ensino-aprendizagem no curso de design. Assim como foi realizado na etapa das vantagens e limitações, o conjunto das análises teóricas com a experiência obtida, através dos experimentos pedagógicos desta pesquisa, resultou em uma proposta de grade curricular para o ensino de novas tecnologias. Ela buscou trazer uma sequência de ações que visam diminuir as dificuldades e alcançar melhores resultados ao empregar a impressora 3D, ou até mesmo outras ferramentas tecnológicas, para o ensino da prática projetual de design.

7. CONCLUSÕES

Ao longo dos anos de desenvolvimento desta pesquisa, as impressoras 3D FDM de baixo custo pouco evoluíram em sua tecnologia de impressão. Algumas tiveram melhorias em sua resolução, outras se tornaram sensivelmente mais rápidas, opções de áreas maiores de impressão, fabricantes com peças de reposição nacionais e preços mais acessíveis. Por outro lado, certas limitações ainda continuam as mesmas a ponto de questionar se um dia elas deixarão de existir.

Embora, apesar de sensíveis, algumas melhorias estão acontecendo, pois cresceu o número de fabricantes e, conseqüentemente, resultou em uma variedade maior de ofertas de modelos. O aumento da concorrência no mercado acarreta na preocupação dos fabricantes em trazer diferenciais, em seus equipamentos, para justificar a escolha de um deles em detrimento de outros. Os lançamentos de novos modelos de impressoras 3D, assim como novas versões das interfaces, de alguns *softwares*, com visual e usabilidade reformulados, por exemplo, demonstram essa preocupação.

Junto ao aumento do número de modelos disponíveis, também cresceu a quantidade de impressoras 3D FDM que estão sendo utilizadas para fins acadêmicos. Com um número maior de equipamentos, resulta em mais pessoas utilizando a tecnologia e, conseqüentemente, traz um aumento na quantidade de pesquisas que estão sendo feitas, tanto sobre a ferramenta em si, como também a forma que ela pode ser utilizada. Esta pesquisa, por exemplo, se propôs a compreender como a impressão 3D pode vir auxiliar o ensino do processo projetual de design.

Antes de entrar na questão da pesquisa, é preciso ambientar que, hoje, a impressora 3D está passando por um momento de ruptura em que desperta o interesse de diferentes públicos, os quais ela, aparentemente, ainda não está totalmente preparada para atender. O seu perfil experimental ainda gera grande incidência de erros e a interface composta por diversas variáveis e grande quantidade de configurações ainda intimida o usuário comum e remete a uma época, nem tão distante, do seu desenvolvimento por entusiastas da tecnologia, associados a cultura *hacker/maker*. Como se isso não bastasse, muitos dos equipamentos ainda requerem cuidados e certo domínio na sua manutenção já que, eventualmente, será necessário desmontar, montar, consertar e até mesmo trocar algumas peças. Deste modo, o uso da impressão 3D pode ser traumático dependendo o que se espera do funcionamento da ferramenta. A ilusão, por exemplo, de que, assim como acontece com as impressoras de papel, basta apertar o botão e o

objeto já sai materializado exatamente igual ao seu modelo digital, termina frustrando alguns usuários ao criar uma expectativa muito grande em relação ao seu uso, que não condiz com a realidade. A falta de habilidade na sua configuração e/ou utilização, a necessidade em aprender a realizar a manutenção dos equipamentos, a falta de recursos financeiros para compra de peças ou insumos e a distância física das assistências técnicas, itens apontados nas entrevistas realizadas, podem ser fatores impeditivos ao querer adotar a impressão 3D no fluxo de trabalho das universidades públicas.

Alguns fabricantes estão tentando tornar os seus produtos em ferramentas mais amigáveis para novos usuários, os quais crescem a cada dia, estimulando a aplicação das impressoras 3D nos mais variados tipos de projetos. No entanto, fatores como o crescimento do número de usuários, a falta de foco do público-alvo, as interfaces das máquinas e de seus *softwares* ainda muito ligadas à área de engenharia, resulta em certos conflitos. Os profissionais da área de design, por exemplo, estão tendo que lidar com comandos e ajustes ainda muito confusos e pouco amigáveis. Ou então, usuários domésticos que precisam ter disposição para lidar com as manutenções da máquina. Em meio a esse período de transição, o futuro da impressora 3D ainda é incerto, a ponto de não saber se: todas as falhas serão corrigidas, o seu uso vai se tornar mais simples, vai contar com uma interface fácil de mexer, os modelos impressos vão feitos de forma mais rápida e exatamente iguais aos modelos digitais, etc. O importante é que ela pode até não ser a ferramenta revolucionária que alguns meios pregam, no entanto, já vem auxiliando no processo de materialização de arquivos digitais, os transformando em objetos físicos.

A impressora 3D, apesar das incertezas apresentadas, vem se mostrando uma ferramenta promissora para estudos da forma e volumetria ao materializar representações, que antes estavam limitadas a visualização bidimensional das telas dos computadores, em objetos físicos. Ela também auxilia na representação e compreensão de geometrias complexas, algo difícil de ser representado ou compreendido através das limitações das representações bidimensionais e que demandaria bastante tempo e muita habilidade para ser desenvolvido através do processo de modelagem manual. Conforme apresentado neste trabalho, os protótipos possuem um importante papel no projeto, ao promover a passagem dos modelos abstratos a formas concretas, transferindo o que estava no campo das ideias para os modelos físicos, colocando a prova aspectos estéticos, funcionais e ergonômicos. O resgate dos modelos físicos no processo projetual promove discussões e reflexões sobre a eficiência de utilizar, não apenas a impressão 3D, mas diferentes meios de representação, ao invés de centralizar todo o processo apenas

digitalmente por meio do computador. Ao mesmo tempo, também contribui na conscientização da necessidade em gerar modelos e protótipos, não apenas nas etapas finais, mas ao longo de seu desenvolvimento, em benefício do projeto. Levando em conta tantos benefícios, para o processo projetual de design, nada mais natural do que trazer essa ferramenta para dentro das universidades e incorporá-la nas disciplinas de projeto.

Considerando o objetivo do trabalho em empregar a impressão 3D no ensino de design, umas das preocupações foi, justamente, poder verificar na prática os benefícios e as limitações da inserção da ferramenta em disciplinas projetuais, avaliar o desempenho da ferramenta durante as aulas e analisar como ela se comporta em relação a um cenário real de aprendizagem. Desta forma, os experimentos realizados buscaram constatar ou contestar as informações apresentadas na etapa de fundamentação teórica deste trabalho. A realização dos experimentos pedagógicos permitiu, não apenas, identificar as vantagens e limitações do uso da impressora 3D no ensino da prática projetual, como também apontar diversas barreiras e/ou dificuldades no decorrer das atividades. Por conseguinte, a pesquisa trouxe a descrição de todo o desenvolvimento das etapas práticas, pois acredita-se que, mais importante do que verificar os resultados alcançados, está justamente em analisar as dificuldades, desafios e soluções encontradas, de modo a promover discussões e posteriores revisões nos métodos utilizados. Tanto que, nesta própria pesquisa, a documentação dos experimentos foi utilizada para análises e comparações com trabalhos similares. Espera-se que, através dos resultados e das propostas sugeridas, esta tese estimule novas pesquisas, buscando práticas mais adequadas para viabilizar o uso das novas tecnologias no ensino de design.

A partir de uma análise crítica, da revisão dos experimentos realizados, é possível afirmar que muitos problemas estão relacionados com a falta de infraestrutura, por não ter espaços adequados para o desenvolvimento das atividades pois não contam com equipamentos já devidamente instalados, configurados e prontos para o andamento das aulas. O problema estrutural não está apenas relacionado ao espaço físico e aos equipamentos. Algumas barreiras, mesmo que não sejam físicas, também atrapalham o avanço científico. De maneira mais clara, parte das falhas do processo se deve a forma de como o ensino e as pesquisas estão sendo conduzidas nas universidades. As disciplinas de cunho tecnológico estão sendo oferecidas, geralmente, de maneira isolada e associadas, de alguma forma, a laboratórios de pesquisa, por conta de equipamentos e estrutura necessários. No entanto, elas não conversam ou se integram com a grade curricular do curso. Enquanto as universidades continuam se dividindo e segregando através de departamentos, centros e blocos, o ensino, as pesquisas e as práticas

profissionais exigem pessoas, cada vez mais preparadas, para a velocidade crescente de evoluções e mudanças que vem acontecendo. A disciplina I contou com uma estrutura interdisciplinar, mostrando que é possível integrar pessoas, de diferentes departamentos, com diferentes formações e conhecimentos, para desenvolver um aprendizado em conjunto. A união de diferentes áreas, conhecimentos e experiências é uma enorme contribuição para o sistema de ensino e a formação dos alunos. Logo, é preciso incentivar formas de integrar os cursos em busca de um conhecimento coletivo e colaborativo onde todos podem se beneficiar com os seus resultados.

Em relação aos experimentos pedagógicos, ao rever as propostas das disciplinas, depois de realizadas, elas se mostram audaciosas ou, no melhor dos casos, mal dimensionadas, seja na quantidade de tarefas propostas ou em relação ao tempo de compreendê-las e executá-las. A disciplina I, por exemplo, trabalhou tanto os conceitos relacionados ao aprendizado das ferramentas de prototipagem rápida em conjunto com as de execução de um projeto utilizando a metodologia de Aprendizado Baseado em Desafios (CBL). Hoje, a visão, em relação à abordagem adotada, mudou e acredita-se que seria mais produtivo separar a disciplina em módulos, dividindo uma etapa exclusivamente para a introdução e aprendizado do uso das ferramentas de prototipagem rápida, e outra etapa para compreender como se utiliza o CBL para a resolução de problemas projetuais. Somente após a conclusão destas etapas, deveria ter início o módulo integrando ambos os conceitos em uma mesma atividade. A disciplina II (já estruturada através de análises, reflexões e alterações da disciplina I), buscou utilizar uma estrutura modular, a partir de três diferentes atividades com níveis de habilidades diferentes. Entretanto, falhou em não dimensionar corretamente o nível de cada atividade, pois partiu de elementos muito básicos para uma proposta bastante avançada em uma única disciplina. Assim como foi proposto para a disciplina I, o ideal seria segmentar módulos para o aprendizado da ferramenta e somente depois, com uma experiência maior em modelagem e impressão 3D, partir para as atividades de projeto. Curiosamente, o experimento que teve menos tempo (oficina) foi o que acabou utilizando esse tipo de estrutura, na atividade realizada na parte da manhã. Como os resultados da oficina foram positivos, acredita-se que é um modelo confiável a ser seguido.

Conforme pode ser identificado nesta análise, as maiores limitações encontradas nos experimentos realizados estão ligadas ao desconhecimento dos alunos em relação ao uso das ferramentas, o que mostra a necessidade de uma melhor preparação técnica para as atividades práticas; assim como disciplinas abordando conceitos teórico-práticos sobre o desenvolvimento

de projetos. Partindo do princípio que o funcionamento da impressora 3D se baseia no processo de materialização de arquivos digitais em modelos físicos, logo, é preciso obter os arquivos digitais de alguma forma. Uma das possibilidades é utilizar modelos prontos oriundos de repositórios, o que ajuda a testar e ganhar experiência no uso do equipamento, mas de nada adianta para o processo projetual. Então é preciso saber utilizar outras ferramentas, tais como *softwares* de modelagem 3D, ou então, *scanner* 3D para gerar os modelos necessários. O que deixa claro a necessidade de um aprendizado prévio destas ferramentas, de modo a poder utilizar a impressora 3D voltada ao desenvolvimento de projetos. Antes de partir para propostas ousadas e utilizações diferenciadas da ferramenta, como elemento ativo no processo cognitivo, é preciso experimentar e se habituar com as suas características mais simples. Imprimir arquivos prontos, reproduzir elementos existentes e, a cada etapa concluída, seguir avançando para novos e diferenciados desafios, evitando ficar estagnado e subutilizar a ferramenta ou mesmo o laboratório de prototipagem rápida, como aconteceu com Blikstein, na síndrome do chaveiro.

Em relação ao embasamento teórico, os experimentos realizados apontaram a necessidade de abordar alguns tópicos relacionados a projetos, tais como: os processos metodológicos de desenvolvimento; os diferentes tipos e utilização de modelos e protótipos em diferentes etapas; como e quando empregar protótipos de baixa e alta fidelidade; importância da geração de alternativas e do processo de ideação; e técnicas de criatividade. A ideia por trás desta proposta é separar, literalmente, o aprendizado entre o saber e o fazer. A base teórico-prática vai permitir que os alunos se dediquem, após ter concluído o conteúdo introdutório, de forma integral, ao desenvolvimento pleno dos projetos, utilizando as novas tecnologias.

A partir desta reestruturação, algumas propostas podem ser desenvolvidas, tais como: atividades práticas que buscam novas formas de conceber o projeto; experimentar diferentes combinações de representações híbridas no processo projetual; realizar pesquisas técnicas explorando a potencialidade das ferramentas digitais e diferentes modos de desenvolver e raciocinar que elas pressupõem; integrar todas essas atividades no ciclo ensino/pesquisa/extensão no processo de retroalimentação de resultados para promover avanços no ensino-aprendizagem da prática projetual.

Como tais práticas ainda requerem todas essas modificações no cenário vigente do ensino, a tese também propõe outras atividades mais próximas do contexto atual. As propostas a seguir podem ser definidas como sugestões de pesquisa, próximos desafios e estudos futuros: dar continuidade aos estudos buscando dominar a impressão 3D como ferramenta de

representação e estudo da forma; integrar a impressão 3D no processo iterativo de materialização voltado a geração de ideias; realizar estudos e empregar as ferramentas digitais não apenas como ferramentas de representação, mas como dispositivos generativos para transformação e derivação da forma; realizar testes com metodologias voltadas ao uso das novas tecnologias, como por exemplo, CDIO ou i3.

As novas tecnologias são responsáveis pela ruptura do processo de aprendizagem, corroborando com movimentos pedagógicos que visam repensar as práticas vigentes do ensino. De maneira semelhante, alguns anos atrás, o computador passou pelo olhar de estranhamento e muitas discussões (algumas persistem até hoje) sobre como ele poderia auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. O impacto das ferramentas digitais, hoje, é notório não apenas no processo projetual, como também no cotidiano das pessoas. O advento do computador auxiliou na agilidade e eficiência das práticas profissionais e também no dia a dia das pessoas dentro de suas casas. O computador deixou de ser apenas uma ferramenta voltada ao trabalho, como também para o lazer, se tornando um dispositivo de consumo de mídias, jogos e entretenimento. O processo de miniaturização reduziu o espaço que antes tomava salas, para pequenas CPUs, que ganharam portabilidade através do uso de notebooks e, hoje, graças a constante evolução tecnológica, a expansão dos dispositivos digitais é cada vez maior, se diversificando através de *tablets*, *smartphones* e, até mesmo, dispositivos vestíveis. O armazenamento de dados nas nuvens, a capacidade de transmissão, por redes de dados e sem fio, permite que as pessoas estejam conectadas umas às outras e a toda uma rede de informações, onde quer que elas estejam. E, neste cenário, que o processo de ensino-aprendizagem precisa se atualizar e explorar o uso destas ferramentas e tecnologias em benefício do ensino. Apesar de alguns dispositivos e ferramentas estarem em fase de transição, a adoção dos recursos informatizados caminha para uma integração cada vez maior na interação humana. Seguindo este princípio, os cursos universitários precisam compreender de que forma as ferramentas digitais podem ser incorporadas, de modo a contribuir com o ensino e pesquisa, além de reduzir a distância entre as atividades práticas acadêmicas daquelas desenvolvidas na indústria.

Ao mesmo tempo, é preciso cautela ao querer sobrepor as novas tecnologias em detrimento das ferramentas tradicionais, tais como o desenho e a modelagem manual. Elas são importantes para o raciocínio projetual ao explorar, por exemplo, o processo cognitivo de retroalimentação de ideias, através de esboços, ou então, o estudo da experimentação da forma e volumetria utilizando modelagem em argila. O uso de novas ferramentas no ensino do processo projetual não busca verificar melhores alternativas que visam substituir os processos

tradicionais de representação. Pelo contrário, apesar da impressão 3D representar um processo computacional automatizado, ela não reflete necessariamente na evolução do processo tradicional de modelagem, pois ambos ainda podem coexistir como meios de representação. Apesar da abordagem maior na prototipagem rápida e o foco da pesquisa ser a impressão 3D, os experimentos pedagógicos realizados valorizaram a coexistência e hibridismo de diferentes meios de representação, estimulando os alunos a utilizarem diferentes técnicas/ferramentas durante as aulas. Deste modo, possibilita ao aluno identificar os pontos fortes e limitações de cada uma delas, seja para comparar, complementar, ou mesmo, aprender a decidir qual é a mais indicada para cada etapa do desenvolvimento de projeto. A agilidade, facilidade e eficiência no uso de cada técnica/ferramenta também vai depender do grau de experiência que o aluno possui em cada uma delas. Mas, o simples fato de ter o domínio no uso de uma ferramenta não a transforma automaticamente numa solução de projeto, é preciso aprender a utilizá-la, conhecer suas características e compreender o melhor modo de adequá-la a metodologia vigente, mesmo que isso resulte em mudanças no processo projetual e, até mesmo, na maneira de se pensar o objeto.

O uso cada vez mais intenso de computadores no ensino acadêmico, hoje, já acarreta em mudanças no processo de ensino-aprendizagem. O desenvolvimento da atividade projetual, centralizada apenas no computador, apesar de trazer agilidade nas tarefas, possui o efeito negativo de restringir o conhecimento, a utilização e, conseqüentemente, o domínio de outras ferramentas de representação, limitando as alternativas para expressar e executar as ideias. Com isso, acaba acomodando o desenvolvimento do projeto exclusivamente em ambiente virtual, inibindo o uso das práticas manuais, levando ao desuso e o eventual desaparecimento de espaços como as oficinas e os ateliês dentro dos cursos acadêmicos. A pequena quantidade de alunos, que não demonstraram dificuldade alguma ao executar modelos manualmente, nas atividades realizadas, acaba refletindo essa mudança.

Neste cenário, a impressora 3D representa a oportunidade de combinar o uso dos protótipos físicos, assim como já era feito, através de métodos tradicionais de modelagem em argila, madeira, poliuretano, entre outros materiais, em conjunto com os recursos digitais dos computadores. Essa releitura de ferramentas digitais, atuando de forma similar aos processos tradicionais, foi o que inspirou o uso da impressora 3D como ferramenta de materialização de ideias através de modelos físicos, de modo a auxiliar no processo iterativo de validação de alternativas em projetos de design. Além disso, as oficinas e os ateliês podem ser reinventados,

através dos laboratórios de prototipagem rápida, impulsionados pelo movimento *maker* e inseridos nas instituições de ensino.

Porém, por ser um período de transição, é preciso tomar cuidado em como as novas tecnologias serão incorporadas no processo ensino-aprendizagem. A base desta tese, por exemplo, foi feita a partir de alguns modelos e autores clássicos do design que, no decorrer da pesquisa, se mostraram inadequados, com visões retrógradas e, até mesmo, ultrapassadas, a respeito do uso de protótipos e das novas tecnologias no PDP. Ao basear, por exemplo, o uso das novas tecnologias como alternativas às ferramentas tradicionais, empregadas nas disciplinas de projeto, torna o aprendizado limitado aos antigos modelos de ensino, praticados em todos esses anos dentro dos cursos de design. O uso da impressora 3D, termina se restringindo a ser apenas mais uma opção de ferramenta utilizada para modelagem física, igual a tantas outras dos ateliês tradicionais. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), por exemplo, estão sendo reconhecidas como ferramentas capazes de proporcionar experiências pessoais, a interação humana e fabricar artefatos diferenciados, rompendo com o padrão estabelecido do ensino tradicional. Um dos grandes ganhos das ferramentas de prototipagem rápida é conseguir integrar o uso de objetos físicos com os recursos de modelagem digital. Neste caso, torna-se imprescindível explorar os elementos que os diferenciam das práticas tradicionais, tais como o uso do design paramétrico para gerar e executar modelos otimizados utilizando geometrias complexas. As novas tecnologias não devem ser vistas como formas de substituir os meios de representação tradicionais. Pelo contrário, a prototipagem rápida passa por um momento de ressignificação e que não deve ser justificada a partir de critérios do processo tradicional, pois ela se mostra mais complexa que isso, sendo um importante meio para buscar diferentes formas de pensar e executar projetos de design.

Os experimentos pedagógicos realizados mostraram o potencial do uso da impressora 3D, assim como também suas limitações. Entretanto, o aprendizado maior está em identificar a necessidade de estudos e pesquisas relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem, ao trabalhar com as novas tecnologias nos cursos acadêmicos, não apenas para preparar os alunos no sentido técnico do uso das ferramentas, mas também na abordagem teórica em repensar e atualizar o raciocínio projetual, através do uso de recursos contemporâneos de prototipagem rápida. A atualização ferramental no ensino de design foi apontada diversas vezes, na etapa de fundamentação teórica, como sendo um dos primeiros passos no processo de atualização das práticas projetuais. Embora, os experimentos, relacionados à inclusão da impressora 3D FDM,

acabaram se transformando em um meio de promover discussões sobre a inclusão das novas tecnologias nas atuais práticas de ensino nos cursos acadêmicos de design.

Através da busca em como integrar a impressora 3D no ensino da prática projetual, esta pesquisa conseguiu abordar diversos outros assuntos tais como: o ensino de *softwares* nas disciplinas acadêmicas; a revisão da estrutura hierárquica do professor como detentor e centro das informações em sala de aula; a necessidade do papel mais ativo do aluno na construção do conhecimento; a revisão dos métodos para incluir novas tecnologias no ensino de disciplinas de projeto; a importância de repensar a prática e o raciocínio projetual ao utilizar as novas tecnologias como parte do processo cognitivo e não apenas como simples ferramentas de representação; entre outras discussões.

Para concluir, é interessante notar a contradição que, para se obter o novo, é preciso, primeiro, resgatar as antigas práticas do ensino. Ou seja, ao buscar adotar novas tecnologias integradas às práticas pedagógicas das disciplinas de projeto, se faz necessário resgatar o antigo modelo de ensino o qual o professor atua como guia e o aluno constrói o conhecimento através do processo de repetição. Apesar de datado e bastante criticado, ele ainda é bastante eficiente no aprendizado técnico, promovendo o ensino dos fundamentos necessários e, finalmente, poder avançar para as demais (e principais) discussões das práticas projetuais. Por fim, a pesquisa demonstrou que o desenvolvimento de projetos e a atividade de design não se resumem a ter um domínio pleno sobre a utilização de determinadas técnicas e ferramentas. Conforme abordado, na introdução deste trabalho, a exploração formal, realizada através de ferramentas tecnológicas, estimula os alunos a buscarem inovações. A discussão e incentivo da experimentação de técnicas e ferramentas de representação da forma, apesar de importantes, não representam o objetivo em si, elas são apenas diferentes meios voltados a mesma finalidade, o desenvolvimento pleno de um projeto. Portanto, apenas depois de obter uma fluência técnica na linguagem digital e fundamentação teórica projetual que será possível promover a ferramenta de impressão 3D, não apenas como meio de representação, mas como parte do raciocínio das novas práticas de se executar o projeto.

REFERÊNCIAS

ALCAIDE-MARZAL, J; DIEGO-MÁS, J. A.; ASENSIO-CUESTA, S; PIQUERAS-FISZMAN, B. An exploratory study on the use of digital sculpting in conceptual product design. In: **Design Studies**. v.34. n.2. Março, 2013. p.264-284.

ALCOFORADO NETO, M. G. **Comunicação intermediada por protótipos**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.

ALCOFORADO NETO, M. G. **Metodologia de Design Mediada por protótipos**. Tese (Doutorado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2014.

ALCOFORADO NETO, M. G.; PASCHOARELLI, L. C.; SILVA, J. C. Metodologia centrada nos protótipos: um caminho para inclusão de usuários no processo de design. In: **15º ERGODESIGN – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-tecnologia / 15º USIHC – Congresso Internacional de Ergonomia e Usabilidade de Interfaces Humano-computador**. Recife, 2015.

ALENCAR, F. de. A Virtualidade no Projeto do Produto e a Prototipagem Rápida no Design. In: **60. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. São Paulo, 2004.

ANDERSON, C. **Makers: a nova revolução industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ARAUJO, N. S. de. Importância dos modelos físicos e digitais no ensino de projeto. In: **Projetar. Projeto como investigação: Ensino, pesquisa e prática**. São Paulo, 2009.

BARBOSA, R. T. **Design & Prototipagem: Conhecimento e uso da prototipagem rápida no design brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2009.

BARBOSA FILHO, A. N. **Projeto e desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Atlas, 2009.

BATISTELLO, P.; BALZAN, K. L.; PIAIA, L. P.; MIOTTO, J. Prototipagem rápida e fabricação digital em ateliê vertical: do processo à materialização. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2015. São Paulo: Blucher, 2015. p.137-142.

BAXTER, M. **Projeto do produto: Guia Prático para o desenvolvimento de novos produtos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

BAZZO, W. A. **Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998.

BEAL, V. E. **Avaliação do uso de insertos obtidos por estereolitografia na moldagem de pós metálicos por injeção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

- BERTOLDI, C. A. Cerâmica e ensino de modelos físicos como ferramenta de projeto. In: **Actas de Diseño**. IX Encuentro Latinoamericano de Diseño 2014 - Diseño en Palermo. n.17. Buenos Aires, 2014. p.45-50.
- BLIKSTEIN, P. Digital Fabrication and Making in Education: The Democratization of Invention. In **FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors**. Bielefeld: Transcript Publishers, 2013.
- BONSIEPE, G.; KELLNER, P.; POESSNECKER, H. **Metodologia Experimental**: desenho industrial. Brasília: CNPq/ Coordenação editorial, 1984.
- BRAIDA, F. Da Aprendizagem Baseada em Problemas à Aprendizagem Baseada em Projetos: estratégias metodológicas para o ensino de projeto nos cursos de Design. In: **Actas de Diseño**. Diseño en Palermo. Ano IX, n.17. v.17, Buenos Aires: Julho, 2014. p.142-146.
- BRASIL, I; RITTO, A. C. de A. Design & Gestão: desenvolvimento organizacional, inovação e Design. In: **75o. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Curitiba: UFPR, 2006.
- BROWN, Tim. Design Thinking. In: **Harvard Business Review**. p. 86-97. Jun 01, 2008.
- BUSWELL, R. A.; SOAR, R. C.; GIBB, A. G. F.; THORPE, A. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. In: **Automation in construction**, n.16, 2007. p.224-231.
- CÂNDIDO, L. H.; KINDLEIN JÚNIOR, W. **Design de produto e a prática de construção de modelos e protótipos**. v. 1. Brasília: MEC - Biblioteca Digital - Domínio Público, 2009.
- CARVALHO, G. L. de. **Ambientes cognitivos para projeção: um estudo relacional entre as mídias tradicional e digital na concepção do projeto arquitetônico**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.
- CARVALHO, J.; VOLPATO, N. Prototipagem rápida como processo de fabricação. In: **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo, 2007.
- CELANI, G. Digital fabrication laboratories: pedagogy and impacts on architectural education. In: **Nexus Network Journal**. v.14. n.3, 2012. p.469-482.
- CELANI, G.; BERTHO, B. C. A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura. In: **Graphica**. Curitiba, 2007.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- CROSS, N. **Engineering design methods: strategies for product design**. 3a edição. London: John Wiley & Sons, 2000.
- CUNHA, F. C. I. da; PEREIRA, R. M. Reflexões sobre o ensino de um ofício. In: **Seminários sobre Ensino de Design**. v.2. n.10. São Paulo: Blucher, 2016. p. 34-42.

DEININGER, M.; DALY, S. R.; SIENKO, K. H.; LEE, J. C. Novice designers use of prototypes in engineering design. In: **Design Studies**. v.51. n. C, Julho, 2017. p.25-65.

DENIS, R. C. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

EL_ZANFALY, D. I3, Imitation, Iteration and Improvisation: Embodied interaction in making and learning. In: **Design Studies**. v. 41. Part A. Novembro, 2015. p.79-109.

FERNANDES, S. H.; SILVA, T. L. K. A prática do desenho e seu papel no desenvolvimento de projeto de produto. In: **XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico - GRAPHICA**. Florianópolis, 2013.

FERROLI, P. C. M.; LIBRELOTTO, L. I. Uso de modelos e protótipos para auxílio na análise da sustentabilidade no Design de Produtos. In: **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Ano 7, n. 3, p. 107-125. 2012.

FLORIO, W. Modelagem paramétrica, criatividade e projeto: duas experiências com estudantes de arquitetura. In: **Gestão e Tecnologia de Projetos**. v.6. n.2. São Carlos, 2011. p.43-66.

FLORIO, W.; SEGALL, M. L.; ARAÚJO, N. S. A contribuição dos protótipos rápidos no processo de projeto em arquitetura. In: **Graphica**. Curitiba, 2007.

FONTOURA, A. M. **EdaDe : a educação de crianças e jovens através do design**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

FONTOURA, A. M. O desenho e o design. In: **abcDesign**, 8 de abril de 2009. Disponível em: <<http://www.abcdesign.com.br/por-assunto/teoria/o-desenho-e-o-design/>>. Acesso em: 14 abril 2015.

FORTI, F. S. D. **Uma avaliação do ensino da prototipagem virtual nas graduações de design de produto do estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

GERHARDT, T.; RAMOS, I. C. A.; RIQUINHO, D. L.; SANTOS, D. L. Estrutura do projeto de pesquisa. In: **Métodos de pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS; Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GO, J.; HART, A. J. A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation. In: **Additive Manufacturing**. n.10, 2016. p.76-87.

GOMES, Luiz Vidal Negreiros. **Criatividade: projeto, desenho, produto**. Santa Maria: Schds, 2004.

GORNI, A. A. Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos. In: **Revista Plástico Industrial**, p. 230-239, mar., 2011. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

GUEDES, F. R. **Influência dos fatores de obtenção das imagens de tomografia computadorizada na acurácia de modelos produzidos por prototipagem rápida.** Tese (Doutorado em Radiologia Odontológica) – Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas. Piracicaba, 2007.

HUANG, T.; LIN, C. From 3D modeling to 3D printing: Development of a differentiated spatial ability teaching model. In: **Telematics and Informatics**. n. 34, 2017. p.604-613.

JUNK, S.; MATT, R. New Approach to Introduction of 3D Digital Technologies in Design Education. In: **Procedia**. CIRP 36, 2015. p.35-40.

KAMINSKI, P.C.; OLIVEIRA, J.H.S.A. A Prototipagem Rápida Inserida nas Diferentes Fases de um Projeto como Instrumento de Inovação. In: **Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Natal, 2000.

KELLEY, T.; LITTMAN, J. **A arte da inovação**. São Paulo: Futura, 2001.

KOSTAKIS, V.; NIAROS, V.; GIOTITSAS, C. Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. In: **Telematics and Informatics**. n.32, 2015. p.118-128.

LARA-PRIETO, V.; BRAVO-QUIRINO, E.; RIVERA-CAMPA, M. A.; GUTIÉRREZ-ARREDONDO, J. H. An Innovative Self-Learning Approach to 3D Printing Using Multimedia and Augmented Reality on Mobile Devices. In: **Procedia Computer Science**. n.75, 2015. p.59-65.

LARA, A. H.; MOURA, N. C. da S. Implicações da Fábrica Digital nos Processos de Representação em Design. In: **1º Seminário do Curso de Design da FAUUSP**. São Paulo: FAUUSP, 2008. p.177-184.

LEDO, R. Z.; PEREIRA, A. T. C. Objetos de Aprendizagem voltados ao ensino de modelagem digital 3D para arquitetura baseado no estilo cognitivo visual, In: **Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. SIGRADI 2014. São Paulo: Blucher, 2014. p.86-90.

LEE, Y. Re-informative design media in design emergence. In: **Automation in Construction**. n.61, 2016. p.66-72.

LIMA, C. B. L. **Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida Estudos de Casos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

LIRA, V. M. **Desenvolvimento de processo de prototipagem rápida via modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente de materiais alternativos**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LÖBACH, B. **Design Industrial: Bases para a configuração de produtos industriais**. 1ª Ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

- MACEDO, G. M. A. A utilização de tecnologias de prototipagem rápida no processo de desenvolvimento de produto: um estudo de caso. In: **VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro, 2011.
- MAKERT, R.; ALVES, G. Entendendo o Design Digital: o designer nos processos digitais de projeto. In: **Proceedings of the XX Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2016. São Paulo: Blucher, 2016. p.34-41.
- MALTEMPI, M.V.. Novas Tecnologias e Construção de Conhecimento: Reflexões e Perspectivas. In: **V Congresso Ibero-americano de Educação Matemática (CIBEM)**. Porto, Portugal, 17 a 22 de julho, 2005.
- MEDEIROS, I. L.; PUPO, R.; KEGLER, A. J. M.; BRAVIANO, G. Prototipagem rápida e design de produto assistivo. In: **Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Gramado, 2014.
- MELO, C. H. **Os desafios do designer & outros textos sobre design gráfico**. São Paulo: Rosari, 2003.
- MESTRINER, F. A Integração do Ensino de Design com a Indústria. In: **Portal Design Brasil**, Agosto 2005. Disponível em: <<http://www.designbrasil.org.br/entre-aspas/a-integracao-do-ensino-de-design-com-a-industria>>. Acesso em: 16 abril 2015.
- MILINCU, C. O.; FEIER, I. Improving Industrial Design through Hands-on Experimentation. In: **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. n.197, 2015. p.1796-1802.
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Agência de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil). **Diagnóstico do design brasileiro**. Brasília: Centro Brasil Design, 2014.
- MORRIS, R. **Fundamentos do design de produto**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- MOURA, M. **O Design de Hipermídia**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Comunicação e Semiótica, Pontifícia Universidade Católica. São Paulo, 2003.
- MÜLLERKEGLER, A. J.; PUPO, R. T.; MEDEIROS, I. L. de. Prototipagem rápida como ferramenta ergonômica para um design de produto assistivo. In: **14º Ergodesign**. 14 ed. Joinville, 2014.
- NETTO, A. V.; OLIVEIRA, M. C. F. Desenvolvimento de um protótipo de um torno CNC utilizando Realidade Virtual. In: **Notas técnicas, Instituto de Ciências Matemáticas de Computação - ICMC/USP**, n. 65, 13 pp. São Carlos, maio 2002.
- NIEMEYER, L. **Design no Brasil: Origens e Instalação**. Rio de Janeiro: Ed. 2AB, 1997.
- NUNES, C.; BORDA, A.; SILVA, J. Entre a Geometria, as Tecnologias de Representação e o Projeto: Reflexões sobre um Discurso Didático para a Arquitetura. In: **Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. SIGRADI 2014. Montevideú, 2014.

OLIVEIRA, M. F. de. **Aplicações da Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

ORCIUOLI, A. O impacto das tecnologias de fabricação digital nos processos de design. In: **Arquitetura e Urbanismo**. ed. 183. Junho, 2009.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. In: **Design Studies**. v.27. n. 3. Maio, 2006. p.229-265.

PANTAZIS, A.; PRAVOLOU, C. 3D printing as a means of learning and communication: The 3Ducation project revisited . In: **Telemat**. Informat, 2017.

PAULA, F. B. R. de; BARRETO, L. S.; SILVA, F. A.; LIMA, F.; MORAIS, V.; Maquetes Híbridas: Diálogos Entre as Técnicas Tradicionais e as Tecnologias Digitais no Processo Projetual. In: **Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. SIGRADI 2013. São Paulo: Blucher, 2014. p. 49-53.

PAULA, F. B. R. de; LIMA, F. T. de A. Modelagem Digital, Prototipagem e Ensino de Arquitetura e Urbanismo: Impactos e Desdobramentos de uma Intervenção Curricular. In: **Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Knowledge-based Design**. v.1, n.7. São Paulo: Blucher, 2014. p. 577-580.

PENNA, E. **Modelagem, modelos em design**. São Paulo: Catálise, 2002.

PETRUSCH, G.; SILVA, J. V. da S.; VOLPATO, N.; AHRENS, C. H.; CARVALHO, J. de. Realidade, desafios e Perspectivas. In: **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2007.

PIZZOLITO, E. A. **Enquadramento da Prototipagem Rápida na Metodologia de Projetos de Grandes Empresas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PUPO, R. T. **A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

PUPO, R.; CELANI, G. Implementando a fabricação digital e a prototipagem rápida em cursos de arquitetura: dificuldades e realidades. In: **XII Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital - SIGraDi 2008**. Havana, 2008.

PUPO, R.; CELANI, G. Técnicas de prototipagem digital para arquitetura. In: **Graphica**, Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico / International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. Bauru, 2009.

- RIGHI, T. A. F. **Displays Interativos como ferramentas de comunicação no processo de projeto de arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.
- RIGHI, T.; CELANI, G. Esboços na era digital – Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico. In: **XII Congresso Iberoamericano de Gráfica Digital - SIGraDi 2008**. Havana, 2008.
- RIVERA-CHANG, J. Case study: Use of online tools in the classroom and their impact on industrial design pedagogy. In: **Procedia Manufacturing**. n.3, 2015. p.2275-2280.
- ROCHA, I. A. M.; STRALEN, M. S. V.; ABREU, S. C. O uso de parâmetros dinâmicos como princípios estruturantes do espaço arquitetônico. A experimentação no ateliê de projeto: prototipia e fabricação digital. In: **Proceedings of the XX Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2016. São Paulo: Blucher, 2016. p.816-823.
- ROMCY, N. M. S.; TINOCO, M. B. M. Reflexões sobre as interfaces entre a modelagem paramétrica e outros processos de representação no projeto de arquitetura. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2015. São Paulo: Blucher, 2015. p.322-327.
- RUFCA, S. **Design de produto: técnicas e tecnologias de representação visual**. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Anhebi Morumbi. São Paulo, 2012.
- RYBERG, M. C.; STORCHI, M.; PUPO, R.; MEDEIROS, I. A fabricação digital como ferramenta de processo de projeto: conectando design e arquitetura. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital - SIGRADI 2015**. Florianópolis, 2015.
- SAORÍN, J. L.; MELIAN-DÍAZ, D.; BONNET, A.; CARRERA, C. C.; MEIER, C.; TORRE-CANTERO, J. D. L. Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. In: **Thinking Skills and Creativity**. n.23, 2017. p.188-198.
- SASS, L.; OXMAN, R. Materializing design - the implications of rapid prototyping in digital design. In: **Design Studies**. v. 27, n. 3, p. 325–355. Maio, 2006.
- SAURA, C. E. **Aplicação da prototipagem rápida na melhoria do processo de desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- SEELY, J. C. K. **Digital fabrication in the architectural design process**. 2004. 77 f. Dissertação (Master of Science in Architecture Studies) – Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Architecture, Massachusetts, 2004.
- SILVA, J. C. P.; SILVA, J. C. R. P.; KAWAUCHI, P. O expressar gráfico atual na Arquitetura e no Design - as novas ferramentas. In: **Revista Assentamentos Humanos**. vol. 2, p.09-23. Marília, 2014.

SMITH, R. C.; IVERSEN, O. S.; HJORTH, M. Design thinking for digital fabrication in education. In: **International Journal of Child-Computer Interaction**. n.5, 2015. p.20-28.

SOUTO, A. G. G. **Design**: do virtual ao digital. São Paulo: Demais Editora; Rio de Janeiro: Rio Books, 2002.

SUN, L.; XIANG, W. X.; CHAI, C.; WANG, C.; HUANG, Q. Creative Segment: A descriptive theory applied to computer-aided sketching. In: **Design Studies**. v. 35. n. 1. Janeiro, 2014. p.54-79.

SWEETING, B. Conversing with drawings and buildings: from abstract to actual in architecture, In: **Kybernetes**, v. 40. n. 7/8, 2011. p.1159-1165.

TAROUCO, F. O Design Gráfico e as Novas Tecnologias. In: **Actas de Diseño**. No. 11. VI Encuentro Latinoamericano de Diseño 2011 - Diseño en Palermo. p. 215-220. Buenos Aires, 2011.

TRAMONTANO, M.; Quando pesquisa e ensino se conectam: design paramétrico, fabricação digital e projeto de arquitetura. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2015. São Paulo: Blucher, 2015. p.544-550.

TRAMONTANO, M.; PEREIRA JUNIOR, A. Ressignificando o modelo físico: impressão 3D e ensino de projeto de arquitetura. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital**. SIGRADI 2015. São Paulo: Blucher, 2015. p.350-354.

TVERSKY, B.; SUWA, M.; AGRAWALA, M.; HEISER, J.; STOLTE, C.; HANRAHAN, P.; PHAN, D.; KLINGER, J.; DANIEL, M. P.; LEE, P.; HAYMAKER, J. Sketches for Design and Designs of Sketches. In: **Human Behaviour in Design: Individuals, Teams, Tools**. 2003.

VASCONSELOS, T.; DALLA VECCHIA, L. R. F.; SILVA, A. B. da. A parametrização como experiência prévia para a estruturação de métodos projetuais em arquitetura. In: **Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**: SIGRADI 2014 - Design in Freedom. Montevideu, 2014.

VEIGA, J.; VIZIOLI, S. H. T. Processo criativo digital: do croqui à impressão 3D. In: **Proceedings of the XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital** - SIGRADI 2015. Florianópolis, 2015. p. 771-775.

VERNER, I.; MERKSAMER, A. Digital design and 3D printing in technology teacher education. In: **Procedia**. CIRP 36, 2015. p.182-186.

VIEIRA, R. S. O Papel das tecnologias da informação e comunicação na educação a distância: um estudo sobre a percepção do professor/tutor. In: **Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância**. Vol. 10, 2011.

VIZIOLI, S., CASTRAL, P., LANCHETA, J., MEDEIROS, G., Desenho digital: workshop de projeto para um sistema expositivo móvel. In: **Proceedings of the XVIII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**: SIGRADI 2014. Montevideu, 2014.

VOLPATO, N.; FERREIRA, C. V.; SANTOS, J. R. L dos. Integração da prototipagem rápida com o processo de desenvolvimento de produto. In: **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

YANG, M. C.; EPSTEIN, D. J. A study of prototypes, design activity, and design outcome. In: **Design Studies**. v. 26. n. 6. Novembro, 2005. p.649-669.

APÊNDICE I

Questionário e compilação das respostas – Disciplina I

Olá, este questionário está sendo realizado como parte da pesquisa para a minha tese de Doutorado. Gostaria de contar com alguns minutos de sua atenção e agradeço o interesse em ajudar em minha coleta de dados. Muito obrigado!

1.) Qual o seu curso? Em que semestre do curso você está?
Q1. Arquitetura e Urbanismo, 8.º período
Q2. Licenciatura em Expressão Gráfica, 7.º período
Q3. Licenciatura em Expressão Gráfica, 3.º período
Q4. Arquitetura e Urbanismo, 6.º período
Q5. Licenciatura em Expressão Gráfica, 5.º período
Q6. Licenciatura em Expressão Gráfica, 3.º período
Q7. Arquitetura e Urbanismo, 4.º período
Q8. Licenciatura em Expressão Gráfica, 7.º período
Q9. Licenciatura em Expressão Gráfica
Q10. Arquitetura e Urbanismo, 4.º período
Q11. Licenciatura em Expressão Gráfica, 7.º período
Q12. Arquitetura e Urbanismo, 4.º período
Q13. Arquitetura e Urbanismo, 4.º período
Q14. Arquitetura e Urbanismo, 6.º período
Q15. Licenciatura em Expressão Gráfica, 5.º período
Q16. Licenciatura em Expressão Gráfica, 5.º período
Q17. Licenciatura em Expressão Gráfica, 5.º período
Q18. Licenciatura em Expressão Gráfica, 7.º período
Q19. Arquitetura e Urbanismo, 6.º período
Q20. Arquitetura e Urbanismo
Q21. Arquitetura e Urbanismo, 6.º período
Q22. Engenharia Civil, 10.º período
Q23. Arquitetura e Urbanismo, 4.º período

2.) Qual técnica de prototipagem digital abaixo você já conhecia antes da disciplina? () apenas corte a laser () apenas impressão 3D () as duas () nenhuma delas
Q1. nenhuma delas
Q2. as duas
Q3. as duas
Q4. apenas impressão 3D
Q5. as duas
Q6. as duas
Q7. as duas
Q8. as duas
Q9. apenas corte a laser
Q10. apenas impressão 3D
Q11. as duas
Q12. apenas impressão 3D
Q13. apenas impressão 3D
Q14. nenhuma delas
Q15. nenhuma delas
Q16. as duas

Q17. as duas
Q18. as duas
Q19. as duas
Q20. apenas corte a laser
Q21. apenas impressão 3D
Q22. as duas
Q23. as duas

3.) Você já utilizava algum software de modelagem 3D antes da disciplina?
 não sim. Qual ou quais? _____

Q1. Sim. Revit, Sketchup
Q2. Sim. Sketchup
Q3. Não.
Q4. Sim. Revit, Sketchup
Q5. Sim. AutoCAD 3D, Rhinoceros, Sketchup
Q6. Não.
Q7. Sim. Sketchup
Q8. Sim. Sketchup, AutoCAD, Rhinoceros.
Q9. Sim. AutoCAD 3D
Q10. Sim. Sketchup
Q11. Não.
Q12. Sim. Sketchup
Q13. Sim. Sketchup e ArchiCAD
Q14. Sim. Sketchup
Q15. Sim. AutoCAD
Q16. Sim. Atlantis e Sketchup
Q17. Sim. AutoCAD
Q18. Sim. AutoCAD 3D
Q19. Sim. Sketchup
Q20. Sim. Sketchup
Q21. Sim. Sketchup
Q22. Não.
Q23. Sim. Sketchup

4.) O uso das técnicas de prototipagem digital (corte à laser e impressão 3D) ajudou:
a.) na etapa de geração de ideias? Sim ou não? Especifique.

Q1. Não especificamente, já que só utilizamos esses métodos para a concepção final do produto.
Q2. Sim, a concretização das ideias mostraram os possíveis problemas do projeto.
Q3. Sim, pois pude prever como ocorreria as situações que o objeto enfrentaria (pelo menos a nível mecânico e de design).
Q4. Geração de ideias não. Porque utilizamos materiais simples para a concepção de ideia como massa, palito, etc.
Q5. Das ideias, na parte da criação do modelo não. Porque inicialmente só testamos o design a base de croquis. Depois da prototipagem manual que começamos a pensar na prototipagem digital.
Q6. Sim, depois do protótipo impresso, pudemos ver ajustes/ melhorias à serem feitas.
Q7. Sim, ajudou a perceber se a ideia funcionaria e qual seria a melhor forma de construção.
Q8. Sim, o uso do corte à laser facilitou muito, pois antes de projetar para o corte fizemos alguns modelos e sentimos dificuldade em montar.
Q9. Não, não pensamos muito nisso na hora de criar o produto.
Q10. Sim, mostrou o que seria possível e o que geraria problemas.
Q11. Não.
Q12. Não.

Q13. Não, porque para a concepção, o desenho à mão é muito mais rápido, as técnicas de prototipagem criam limitações no momento de criação, é melhor fazer uma adaptação do modelo desenhado na hora de utilizar essas técnicas.

Q14. Sim. Ver se as peças que planejamos dariam certo ou não nos fez procurar novas formas e novos materiais.

Q15. Sim, pois podemos analisar os erros dos protótipos para o produto final.

Q16. Não posso especificar porque até o exato momento não consegui imprimir em 3D e também no corte à laser.

Q17. Sim. Ajudou a visualizar o que iria dar certo e errado.

Q18. Não, desenhamos depois que partimos para a modelagem.

Q19. Sim, facilita a compreensão lógica do projeto trabalhado.

Q20. Sim. A impressão 3D ajudou na definição da forma do protótipo.

Q21. Não, a etapa de geração de ideias foi realizada no papel.

Q22. Não, em geral as ideias eram somente aplicadas nos softwares.

Q23. Não, a ideia já estava pronta quando foram utilizadas.

b.) na etapa da criação do protótipo? Sim ou não? Especifique.

Q1. - sem resposta -

Q2. Sim, os testes feitos à laser e na impressora 3D mostraram quais os melhores materiais a serem utilizados.

Q3. Sim, pois pudemos raciocinar como seria a funcionalidade do protótipo de acordo com a modalidade de materialização do projeto (utilizar bem a área do MDF ou economizar o produto da 3D Printer).

Q4. Sim, na impressão 3D conseguimos ter uma noção do tamanho do objeto, mas o corte à laser que foi a melhor opção para o produto.

Q5. Sim, apenas quando fomos testar o que tínhamos rascunhado.

Q6. Sim, tanto a impressão quanto o corte dão uma precisão incrível, que seria muito difícil conseguir manualmente.

Q7. Sim. Ajudou no desenvolvimento da escala e na percepção do protótipo.

Q8. Sim, o uso do corte à laser facilitou muito, pois antes de projetar para o corte fizemos alguns modelos e sentimos dificuldade em montar.

Q9. Na etapa de criação ajudou, principalmente com o acabamento.

Q10. Sim, mostrou o que estava errado e deveria mudar.

Q11. Não.

Q12. Sim.

Q13. Sim, pois podíamos ver, com o objeto físico, como resolver determinados problemas.

Q14. Sim. Nos ajudou a perceber erros de planejamento.

Q15. Sim, pois podemos analisar os erros dos protótipos para o produto final.

Q16. Também não utilizei nestes processos.

Q17. Não, o produto final foi feito todo em corte a laser.

Q18. Sim, muito importante nessa fase, pois foi nessa etapa que vimos os erros.

Q19. Sim, ajuda na liberdade de criação através da análise realizada com os protótipos impressos.

Q20. Sim, ver que a ideia estava se tornando viável.

Q21. Sim, para reconhecer os erros presentes no projeto.

Q22. Sim, pois possibilitou a criação de peças específicas mais facilmente.

Q23. Sim, foi essencial na criação do protótipo, pois a partir dela, foram identificados os erros a serem corrigidos.

5.) Qual o(s) maior(es) obstáculo(s) para conseguir conceber a forma através da técnica:

5a.) de modelagem manual?

Q1. - sem resposta -

Q2. Encontrar materiais adequados para cada objetivo.

Q3. Obter uma precisão aceitável para representar uma ideia: a parte visual e funcionalidade da mesma.

Q4. A colagem.

Q5. O maior obstáculo foi em relacionar de fato o que estávamos imaginando para poder representar, por falta de proporção, às vezes, no modelo. Podemos melhorar isso no digital por maior afinidade.
Q6. Precisão, tempo e pessoas (alunos) com habilidades necessárias para a criação.
Q7. Não houve.
Q8. Na modelagem manual tivemos dificuldades qual tipo de material para montar.
Q9. Consegui dar um acabamento legal.
Q10. A pessoa não tem muita noção de escala.
Q11. - sem resposta -
Q12. Colagem, material.
Q13. Encontrar materiais adequados, o tempo gasto, e o trabalho manual.
Q14. As limitações de técnicas.
Q15. Não vi obstáculo.
Q16. As dificuldades encontradas no meu grupo foi trabalhar com a ideia de um produto pronto, desvalorizando a ideia do protótipo.
Q17. Colagem, detalhes que deram errados.
Q18. A modelagem manual parte da digital, então tendo uma modelagem digital, a manual flui.
Q19. Não teve obstáculo.
Q20. A utilização dos materiais não resistentes não dá precisão em relação a sua viabilidade e funcionamento.
Q21. A diferença entre a resistência dos materiais.
Q22. Saber as limitações que o modelo geraria na montagem.
Q23. O tamanho dos detalhes, muito pequenos.
5b.) de modelagem digital?
Q1. - sem resposta -
Q2. Compatibilidade dos arquivos com o programa usado em ambas, corte à laser e impressão 3D.
Q3. Dominar as possibilidades e a limitação do Rhinoceros.
Q4. Saber mexer no programa.
Q5. Só questão de incompatibilidade dos diferentes softwares que trabalhamos. Às vezes as medidas alteravam. Mas por falta de diálogo entre os produtores.
Q6. Conhecer bem os softwares necessários para gerar os arquivos.
Q7. O uso de programas que não sabia mexer.
Q8. Tivemos algumas dificuldades em projetar no Rhinoceros quando exportado para o formato "STL" pois quando aberto no "123Maker" ele não lia o arquivo por completo.
Q9. Saber mexer no software.
Q10. Restringe a liberdade de pensamento e criação.
Q11. Foi na utilização dos softwares.
Q12. Saber utilizar o programa.
Q13. Entender como funcionam as ferramentas do programa de modelagem.
Q14. Falta de conhecimento nos programas.
Q15. Qual programa ficaria melhor para o acabamento final.
Q16. Na modelagem digital, encontramos obstáculos na elaboração do produto no Rhinoceros e os professores dando apoio superficial, perante um programa que exigia prática maior.
Q17. Impressão e escalas.
Q18. Foi complicado as transferências dos arquivos, de um programa para o outro, mudava a escala e isso atrasava bastante.
Q19. O total domínio do programa para realizar-se as formas, certas vezes não ocorre e gera cansaço e demanda muito tempo.
Q20. O conhecimento mais aprofundado dos programas utilizados, gerando erros na concepção do modelo.
Q21. Alguns problemas que podem ocorrer nos programas, além do conhecimento necessário a diversos programas.
Q22. Idealizar todas as peças necessárias, pois só se sentia a necessidade de uma peça específica com problemas anteriores.
Q23. Dominar o programa, ao invés de ser dominado por ele.

5c.) do corte à laser?

Q1. - sem resposta -

Q2. Compatibilidade de arquivos.

Q3. Conhecer o comportamento do trajeto do laser de corte. Ter consciência da composição do arquivo PDF de impressão, quanto a linhas sobrepostas e o funcionamento dos encaixes.

Q4. Não sei.

Q5. Dificuldades em relação ao arquivo por falta de revisão dos orientadores, talvez. Atraso no desenvolvimento do projeto.

Q6. Conhecer bem os softwares necessários para gerar os arquivos.

Q7. A princípio tivemos dificuldades para desenvolver o protótipo no arquivo correto para imprimir.

Q8. Não tivemos nenhum problema.

Q9. Colocar a peça em escala.

Q10. Restringe o tamanho das espessuras.

Q11. Nenhuma.

Q12. - sem resposta -

Q13. Compartilhar o arquivo gerado pelo programa que faz as pranchas com o programa que passa as informações para a cortadora.

Q14. A limitação da forma das peças, a escala do corte.

Q15. Não gostei pois os programas davam erros nos projetos.

Q16. Para o corte a laser, deve refazer uma reprograma na fase de elaboração do arquivo e o tempo para ser cortado o material.

Q17. Nenhum.

Q18. O corte é o mais fácil, porém tem que prestar atenção nos detalhes, um erro pode queimar o seu projeto.

Q19. A demora, a inalação da fumaça da máquina.

Q20. As pranchas e arquivos gerados não estavam compatíveis com a máquina, dando problema nos arquivos.

Q21. Houveram diversos problemas no arquivo ao serem passados para o programa da cortadora.

Q22. Obter peças maleáveis.

Q23. - sem resposta -

5d.) da impressão 3D?

Q1. - sem resposta -

Q2. Demora da impressão.

Q3. Ter que pensar na impressão 3D quando existem buracos e volumes vazios. O que inclusive pode modificar a modelagem.

Q4. A falta de precisão em pequenos detalhes.

Q5. Por desconhecer a compatibilidade do arquivo com a impressora, às vezes, precisava alterar a escala.

Q6. Conhecer bem os softwares necessários para gerar os arquivos.

Q7. O tempo de realização da impressão, a escala menor para diminuir o tempo de impressão.

Q8. Tivemos quando estávamos projetando pois na hora da impressão a escala ficou errada e o projeto ficou pequeno.

Q9. Colocar em uma escala e fazer os encaixes.

Q10. Tem uma margem de erro maior.

Q11. Manejar o software.

Q12. Imprecisão.

Q13. Modelar de maneira que não cause confusão na interpretação da impressora.

Q14. A falta de variedade de texturas e a imprecisão da máquina.

Q15. - sem resposta -

Q16. Mesma opinião do corte a laser.

Q17. Nenhum.

Q18. É interessante, porém dá muita imprecisão nos pequenos detalhes.

Q19. O tempo, as falhas geradas com certas configurações dos modelos.

Q20. No tempo de impressão.

Q21. Em algumas áreas percebemos que estavam finas provocando algumas pequenas falhas em algumas camadas.
Q22. Tempo de espera e precisão (em uma rosca que fizemos, o encaixe só ficou perfeito após muito tempo lixando).
Q23. Domínio dos programas.

6.) Pretende voltar a utilizar a impressão 3D em seus projetos? Sim ou não? Especifique.

Q1. - sem resposta -
Q2. Depende, pois o custo é alto.
Q3. Creio que a impressão se faz necessária em ocasiões bastante específicas. Modelos em escalas super reduzidas para apresentações, modelos 1:1 possíveis que compensem as horas de impressão, impressões de formas orgânicas e precisas.
Q4. Sim, depende do objeto, mas o corte à laser irei usar com certeza, por ser mais fácil de fazer encaixes.
Q5. Sim.
Q6. - sem resposta -
Q7. Não, o custo alto e o tempo de impressão fazer a melhor opção para o desenvolvimento de projeto a cortadora à laser.
Q8. Sim, como também a de corte a laser, para teste do protótipo.
Q9. Sim, pois a impressão 3D é um facilitador.
Q10. Talvez, mas a cortadora a laser pela precisão é mais interessante.
Q11. Sim vivenciar na prática de como funciona a impressão 3D fez abrir a mente para desenvolver novas ideias.
Q12. Não.
Q13. Inicialmente não, por conta do custo alto, talvez no futuro.
Q14. Sim. A impressão 3D facilita a visualização da volumetria e dos encaixes.
Q15. Não. Porque não gosto.
Q16. Sim, porque este tipo de impressão facilita a criação do produto de uma forma prática e com ótima estrutura final.
Q17. Sim, pois facilita bastante você ver como o produto pode ficar em tamanho real e estudar o que pode mudar, o que pode ficar, etc.
Q18. Sim, facilita bastante nas criações dos projetos, questões de visualização.
Q19. Sim, facilita a compreensão do modelo estudado.
Q20. Sim, facilita na precisão, criação e composição.
Q21. Sim, para a visualização e acabamento é uma opção bastante viável comparada aos materiais que usamos atualmente.
Q22. Na minha área de atuação é difícil ser utilizado, a não ser em maquetes, mas caso seja possível, certamente usarei.
Q23. Sim, para maquetes da faculdade, assim como a cortadora a laser.

7.) E por fim, comente a sua experiência ao longo da disciplina. O que gostou, o que não gostou. Fiquem à vontade para comentar e até mesmo oferecer sugestões.

Q1. - sem resposta -
Q2. A ideia de unir várias áreas em uma só disciplina foi útil, pois cada área pôde contribuir com suas experiências, a maneira em que os projetos foram feitos foi inovador.
Q3. Adoraria a introdução ao ato de projetar e pensar em uma solução, em um produto. Nota 10 para a abertura da utilização da 3D Printer e no FabLab da cortadora à laser. Sem pontos negativos. O grupo é que determina até onde vai o projeto durante a disciplina e depois da disciplina.
Q4. A disciplina foi ótima, poder ter contato com a impressão 3D e o corte à laser e tudo que é necessário por tal fim, foi uma excelente experiência. Gostaria de ter tido mais aulas de Rhino, que acredito que foi somente isso que faltou.
Q5. É muito massa você idealizar algo e conseguir concretizar a formar isso. Mais uma vez, foi muito interessante compartilhar esta experiência apesar dos estresses, às vezes não dá certo por alguma besteira. Sempre é prazeroso aplicar os estudos. Gostaria de ter aprofundado mais as formas geométricas no

produto, no entanto, existiam discordâncias no grupo. Peço que os orientadores participem mais do processo de ensino dos arquivos. Como utilizar alguns softwares, porque mesmo sabendo, falta um pouco de revisão dos arquivos.

Q6. Foi uma experiência muito boa. Eu pude conhecer várias formas de desenvolver a criatividade e colocar as ideias em prática. Minha maior dificuldade foram os programas utilizados, já que eu não tinha nenhum conhecimento prévio. Isso também foi bom pelo conhecimento que atribui sobre os programas.

Q7. Em geral a experiência foi boa, principalmente no sentido de desenvolvimento projetual. Senti dificuldade de trabalhar com membros de turmas diferentes, apesar da intenção ser boa, há dificuldade em relação aos horários.

Q8. O que mais gostei da disciplina foi que os professores deixaram livre para cada grupo escolher, mas ficamos tão livres que faltou um auxílio maior dos professores, ficamos um pouco voando.

Q9. A experiência foi boa conhecemos métodos de criação, de desenvolvimento. Senti dificuldade com o calendário da cadeira.

Q10. A disciplina poderia ter oferecido mais horas de aprendizado dos softwares para modelagem.

Q11. - sem resposta -

Q12. - sem resposta -

Q13. A disciplina foi boa, mas senti falta de aprender mais sobre como funcionavam as ferramentas de modelagem e os programas vinculados à impressora 3D e cortadora a laser. Passamos muito mais tempo na concepção do produto do que na materialização dele, por isso tantos problemas com as impressões.

Q14. A disciplina foi bastante interessante, especialmente para ver as diferentes possibilidades para maquetes. Talvez se houvesse mais tempo para desenvolver melhor o produto, teríamos a oportunidade de pensar peças mais complexas.

Q15. - sem resposta -

Q16. A disciplina teve altos e baixos, normal para o início de uma nova disciplina. Podendo citar como ponto positivo o aprendizado na impressão a laser e corte a laser. Como ponto negativo (ficou sem completar)

Q17. Faltaram mais dicas de como o arquivo tinha que ser para o corte a laser, mais tempo para o corte, mais tempo para mais testes. Pelo pouco tempo que tínhamos foi usada a impressão 3D poucas vezes podendo a mesma ser mais explorada. Foi boa a experiência, pois com ela vimos formas para testes de produtos que é criando um protótipo e ver o que vai dar certo ou errado, o que pode mudar ou não.

Q18. Os programas utilizados deviam ser apresentados mais à turma. Uma aula não é o suficiente para entender as ferramentas e o programa de imprimir não foi ensinado para a turma, o que faz ela imprimir.

Q19. A partir de minha experiência, assumo ter gostado do projeto final, no entanto achei o tempo de aula bastante intercalado (lê-se muitas horas corridas, porém de produção relativamente lenta).

Q20. Foi bastante enriquecedora sobre os conceitos, formação de ideias e técnicas. No entanto, ela deveria ter dado mais espaço para os workshops dos softwares para que seja realmente aprendido e evitado problemas na modelagem.

Q21. Numa disciplina bastante longa e por ser a primeira vez realizada tiveram alguns trabalhos não previstos. Bastante enriquecedora no que se trata de tecnologia e softwares, uma das maiores deficiências do curso de Arquitetura.

Q22. Em geral foi uma boa experiência, pois me mostrou que mesmo projetos simples podem apresentar diversos problemas que só podem ser verificados em sua execução. Por isso é de extrema importância a prototipagem.

Q23. A disciplina foi muito produtiva, porém acredito que prazos e atividades mais rígidos teriam potencializado na produção. No próximo período, deixem os alunos escolherem os grupos, será mais produtivo.

APÊNDICE II

Questionário e compilação das respostas – Atividade 1 - Disciplina II

A atividade 01 buscou reproduzir o processo de "fatiar" um objeto de forma manual e digital. Primeiro, desconstruir um objeto real. Depois, reconstruir através de ferramenta de modelagem digital. Por fim, reproduzir o objeto através da impressão 3D.

Qual o seu curso? Em que semestre do curso você está?

Q1. Design, 7.º período

Q2. Design, 9.º período

Q3. Design, 10.º período

Q4. Design, 4.º período

Q5. Design, 3.º período

Q6. Design, 8.º período

Q7. Design, 8.º período

Q8. Design, 6.º período

Q9. Design, 4.º período

Q10. Design, 5.º período

Q11. Design, 5.º período

Q12. Design, 4.º período

Q13. Design, 7.º período

Q14. Design, 13.º período

1.) Em relação a atividade 01, quais foram as suas maiores dificuldades?

Q1. Documentar as etapas de forma eficiente. Aprender o básico de Rhinoceros. Repetier ainda é coisa de outro mundo.

Q2. A montagem digital no programa Rhinoceros.

Q3. Utilização do software Rhinoceros.

Q4. Utilizar o comando *loft* no 3D Studio Max.

Q5. Dispor as fatias de legumes com o angulamento exato para a fotografia. Fechamento das extremidades do legume no software 3D.

Q6. Não tinha muita experiência em modelagem 3D e não sabia mexer no programa.

Q7. Na modelagem 3D, pela falta de uma orientação mais técnica.

Q8. A principal dificuldade foi manipular o software, não sei se com todos foi assim, mas vi que não sou apenas eu, como algumas pessoas não tiveram nenhuma base.

Q9. O desconhecimento do programa e de nunca ter tido contato com impressão 3D, isso dificultou a modelagem à princípio.

Q10. A maior dificuldade foi a manipulação do software 3D pois não tinha conhecimento. Em segundo lugar fica a dificuldade de fatiar a fruta paralelamente com a mesma medida.

Q11. Conhecimento de programa 3D.

Q12. A única dificuldade foi com a modelagem digital, porque eu ainda não havia tido contato com nenhum dos softwares utilizados para este tipo de trabalho.

Q13. Preparar os arquivos para impressão (era uma tarefa muito simples que acabou durando muito, pois haviam muitas pessoas e poucos computadores).

Q14. Combinar as camadas para fazer o *loft* posteriormente no Rhinoceros.

2.) Quais suas expectativas e o que espera aprender ao longo da disciplina?

Q1. Noções de modelagem e criação em 3D. Criar intimidade com o hardware. Aprender técnicas.

Q2. Aprender os processos para a utilização da impressora 3D.

Q3. O uso correto dos softwares e aplicação para impressão 3D.

Q4. Espero entender os processos adequados à cada necessidade desejada nos projetos de impressão.
Q5. Espero aprender noções básicas de prototipação na impressora 3D, ampliando o conhecimento acerca das alternativas propostas pela fabricação digital.
Q6. Espero ganhar mais experiência com modelagem e aprender mais sobre o uso da impressora 3D.
Q7. Aprender a usar uma impressora 3D.
Q8. Espero aprender a manipular os softwares e as impressoras.
Q9. A expectativa é criar um contato maior com a tecnologia e aprender o básico para descobrir se no futuro a área pode ser uma opção a seguir na vida.
Q10. Minha expectativa é abrir a cabeça para a possibilidade da forma com a tecnologia de impressão 3D que rompe as limitações das máquinas de produção em escala.
Q11. Projetar para impressão 3D, software 3D.
Q12. Espero deter um maior entrosamento com o software de modelagem digital, compreender melhor cada processo até a impressão 3D, saber resolver problemas que ocorreram na modelagem e na impressão, compreender melhor os diversos tipos de impressão 3D.
Q13. Espero praticar mais os softwares 3D e me aperfeiçoar.
Q14. Aprender o processo de impressão 3D, e como os modelos podem ser usados posteriormente como base para a produção dos produtos.

3.) Após concluir a disciplina, pretende utilizar a impressão 3D no curso? De que forma?

Q1. Vou usar na vida... No curso não vai rolar, não vai dar tempo.
Q2. Talvez na realização do modelo do trabalho de conclusão.
Q3. Sim, apenas para prototipagem de produtos.
Q4. Acredito que sim, em prototipagem de produtos em projetos.
Q5. Provavelmente não. As áreas que mais me interessam no curso são as de gráfico.
Q6. Ainda não sei, mas com certeza aprender o processo de impressão 3D facilitaria as coisas.
Q7. Pretendo me formar no próximo período, então poderia ser uma ferramenta para realizar meu projeto de conclusão.
Q8. Sim, para facilitar e encurtar o tempo de trabalhos futuros.
Q9. A princípio sim, fazer pesquisa com impressão 3D e jogos ou saúde.
Q10. Sim, para a prototipação nas cadeiras de produto.
Q11. Prototipação de eventuais projetos.
Q12. Sim, na execução de protótipos de produtos.
Q13. Sim, para modelagem dos meus projetos.
Q14. Não, já estou me formando.

4.) Pretende utilizar a impressão 3D em sua atividade profissional? De que forma?

Q1. Sim, prototipagem e fabricação de produtos.
Q2. Sim, na prototipagem de modelos para testes.
Q3. Sim, apenas para prototipagem de produtos e análises volumétricas.
Q4. Talvez mais para o uso pessoal mesmo.
Q5. Talvez. A impressão 3D amplia as alternativas de fabricação de protótipos e até mesmo produtos. Portanto é provável que surjam projetos que demandem essa tecnologia.
Q6. Minha área é mais voltada para interfaces, mas também gosto muito de realidade virtual e inovações tecnológicas. Em algum momento pode ser útil.
Q7. Vai depender muito das oportunidades que surgirem.
Q8. Sim, elaboração de modelos em 3D.
Q9. Sim, se a questão anterior for concretizada, usa impressão 3D para criar produtos e artefatos.
Q10. Sim, na prototipação de embalagens plásticas para cosméticos.
Q11. Sim, para prototipagem e produção de objetos de uso.
Q12. Sim, também na execução de protótipos de produtos.
Q13. Sim, para prototipação.
Q14. Se a tecnologia melhorar no Brasil, e o resultado final tiver uma melhor qualidade, pretendo utilizar para a produção de moldes.

APÊNDICE III

Questionário e compilação das respostas – Atividade 2 - Disciplina II

A atividade 02 teve como objetivo utilizar diferentes meios de representação (desenho, modelagem manual, modelagem digital orgânica e impressão 3D) para a criação de um personagem. Cada meio deveria contribuir com diferentes formas de representar, visualizar e expressar as ideias, e experimentar cada uma delas através de diversas ferramentas e técnicas. Com isso, é esperado obter um resultado final diferenciado por ter explorado o potencial individual de cada meio de representação além de combinar todas as técnicas resultando em uma criação mista.

Qual o seu curso? Em que semestre do curso você está?
Q1. Design, 4.º período
Q2. Design, 5.º período
Q3. Design, 7.º período
Q4. Design, 4.º período
Q5. Design, 6.º período
Q6. Design, 10.º período
Q7. Design, 7.º período
Q8. Design, 8.º período
Q9. Design, 8.º período
Q10. Design, 5.º período
Q11. Design, 5.º período
Q12. Design, 8.º período
Q13. Design, 9.º período
Q14. Design, 4.º período

1.) Em relação a atividade 02, quais foram as suas maiores dificuldades?
Q1. Na etapa da modelagem orgânica, no uso dos <i>softwares</i> . Os <i>softwares</i> que são mais intuitivos são muito limitados, já os mais completos possuem uma interface muito poluída e complicada de aprender.
Q2. Modelagem 3D no ZBrush.
Q3. Criar um personagem com a massa de modelar.
Q4. A maior dificuldade continua sendo a falta de familiaridade com os <i>softwares</i> de modelagem.
Q5. A maior dificuldade foi o escaneamento do objeto.
Q6. A modelagem via Rhinoceros, por exemplo. O uso de <i>softwares</i> orgânicos ainda não domino.
Q7. Bolar algum boneco realmente criativo (não rolou). Mexer com massinha de modelar. <i>Software</i> que transforma imagens em modelos.
Q8. Assim como na primeira atividade, uma dificuldade foi modelar o personagem em programa 3D já que tive pouco contato com esses <i>softwares</i> .
Q9. Persiste a dificuldade em modelar. Neste caso a complexidade da representação e a interpretação do desenho dentro do espaço 3D foram outros pontos críticos.
Q10. A maior dificuldade foi a modelagem orgânica em programa 3D.
Q11. O conhecimento prévio dos <i>softwares</i> de modelagem 3D na hora de reproduzir o personagem.
Q12. A retirada dos suportes de impressão, devido a ser um modelo detalhado e sensível.
Q13. Realização do modelo no software 3D.
Q14. Meu personagem possui partes finas, o que dificultou a impressão 3D.

2.) Já utilizava algum *software* de modelagem orgânica antes da disciplina?

não sim. Qual ou quais? _____

Q1. Não.

Q2. Não.

Q3. Não.

Q4. Não.

Q5. Sim. ZBrush.

Q6. Não.

Q7. Não.

Q8. Não.

Q9. Sim. Blender.

Q10. Não.

Q11. Não.

Q12. Não. (Modelo feito no Maya).

Q13. Não.

Q14. Sim. ZBrush.

3.) Você chegou a utilizar algum *software* de modelagem orgânica na atividade 02?

não sim. Qual ou quais? _____

Q1. Sim. Sculptris e ZBrush.

Q2. Sim. ZBrush.

Q3. Sim. Um pouco de Maya.

Q4. Sim. Sculptris e ZBrush.

Q5. Sim. Sculptris.

Q6. Sim. Rhinoceros.

Q7. Sim. Sculptris.

Q8. Sim. Sculptris.

Q9. Sim. Blender.

Q10. Sim. ZBrush.

Q11. Sim. ZBrush e Rhinoceros.

Q12. Não.

Q13. Sim. Rhinoceros.

Q14. Sim. Sculptris.

4.) Os cursos universitários devem ensinar como utilizar *softwares*? Dê a sua opinião.

Q1. Sim. No decorrer do curso são exigidas atividades que precisam ser executadas em *softwares* (tanto na modelagem, quanto vetorização ou ilustração), porém nem todos os alunos têm contato prévio com esses programas (eu, por exemplo), o que torna mais dificultosa e dispendiosa a execução das atividades.

Q2. Sim. Pelo menos uma base, numa introdução e indicação de *softwares*.

Q3. Sim, principalmente Rhinoceros para design de produto ou Illustrator e Photoshop para gráfico.

Q4. Sim, não saber os *softwares* dificulta o acompanhamento de algumas disciplinas e seus projetos e ensinar ajudaria os alunos nesses desafios.

Q5. Sim, alguns *softwares* não são fáceis de se encontrar aulas (tutoriais), ou as aulas são muito caras.

Q6. Sim, se há um pré-requisito em algumas disciplinas, onde o uso desses *softwares* se fazem necessários.

Q7. Devem pelo menos introduzir esses *softwares*, apresentá-los como possíveis alternativas.

Q8. Com certeza, desde o começo do curso não entendo o porque de não termos cadeiras assim.

Q9. Tive experiência de frequentar e estudar em uma Universidade na qual era ensinado e percebi que é essencial para a formação e atividade profissional. São ferramentas poderosas indispensáveis na profissão.

Q10. Acho que indiretamente através de projetos e atividades que utilizem o *software*, mas não uma disciplina apenas de *software*.

Q11. Com certeza. Não é a primeira vez que uma disciplina do curso demanda esse tipo de conhecimento técnico. Portanto é extremamente necessário que haja algum meio dos alunos aprenderem a utilizar esses *softwares*.

Q12. Sim, especialmente os cursos de design. Ter conhecimento de modelagem, mesmo não sendo orgânica, foi a chave para a execução em tempo adequado da atividade.

Q13. Sim, eu vejo como essencial para apresentação de ideias.

Q14. Acredito que recomendar cursos *online* já é suficiente.

5.) Você chegou a utilizar alguma técnica de escaneamento de objetos?

não sim. Qual ou quais? _____

Q1. Não.

Q2. Sim. 123D Catch.

Q3. Não.

Q4. Não.

Q5. Sim. 123D Catch e Remake.

Q6. Sim. 123D Catch.

Q7. Sim. Remake (não funcionou).

Q8. Não.

Q9. Não.

Q10. Sim. 123D Catch.

Q11. Não.

Q12. Não.

Q13. Sim. 123D Catch.

Q14. Sim. 123D Catch e Recap 360 (mas não para o personagem).

6.) Caso tenha utilizado, quais foram as maiores dificuldades ao escanear um objeto?

Q1. - sem resposta -

Q2. Conseguir tirar as fotos da melhor forma, mas o resultado foi melhor que o esperado.

Q3. - sem resposta -

Q4. - sem resposta -

Q5. Resultados insatisfatórios.

Q6. Precisão no escaneamento e qualidade da câmera do próprio celular.

Q7. Talvez as diferenças de iluminação entre as fotografias. Tirar fotos regulares.

Q8. - sem resposta -

Q9. - sem resposta -

Q10. Um suporte que permitisse capturar as imagens com raio de distância fixo entre a câmera e o objeto a ser escaneado.

Q11. - sem resposta -

Q12. - sem resposta -

Q13. Não chegou num resultado satisfatório.

Q14. Tirar as fotos corretas em grande quantidade.

7.) Você conseguiu utilizar diferentes meios de representação na etapa de geração de ideias? O que achou desta experiência?

Q1. Sim, utilizei o desenho, a modelagem manual em massa, a modelagem digital e a impressão 3D. Achei uma experiência muito boa, principalmente a etapa da modelagem manual que deu pra ver mais ou menos como o objeto ficaria após a impressão.

Q2. Sim, foi tranquilo. Já tinha interesse em desenho e criação de personagens e um pouco de prática com massa.

Q3. Sim, achei interessante "sair da caixa" utilizando métodos diferentes do que eu normalmente uso.

Q4. Sim, foi bom para a ideação do mascote.

Q5. - sem resposta -

Q6. Sim, apenas desenhos e modelagem manual foram ótimos pois senti maior liberdade para sair do lugar comum (fora da caixa).

Q7. Não. Apenas massinha e desenhos simples. É uma etapa com grande potencial e pode ser mais explorada.

Q8. Sim. Gostei, pois temos uma ideia mais clara de como ficaria o produto final e assim podem surgir novas ideias e melhorias.
Q9. Prefiro o desenho e a modelagem 3D, mas utilizar a massinha é interessante porque te dá mais uma possibilidade de exploração, apesar de não me interessar tanto.
Q10. Sim. Achei muito bom para explorar novas possibilidades. Utilizamos desenho e massa de modelar.
Q11. - sem resposta -
Q12. Não. Para mim, o <i>blueprint</i> da representação do personagem já foi o suficiente, pois já estou acostumado a modelar aeronaves usando apenas <i>blueprints</i> de 3 vistas.
Q13. Sim, ajudou bastante na visualização da ideia.
Q14. - sem resposta -

8.) Qual técnica você teve uma maior liberdade para expressar suas ideias e qual teve maior dificuldade? Conte suas experiências.

Q1. A que eu tive maior liberdade foi na modelagem manual com massa, pois tenho bastante facilidade com esse processo de trabalho manual. A que eu tive maior dificuldade foi a modelagem digital por não ter conhecimento prévio dos <i>softwares</i> .
Q2. Desenhar foi mais tranquilo, embora a modelagem manual também tenha sido. Já o 3D foi mais complicado pela falta de experiência com o software.
Q3. Maior liberdade = desenho. Maior dificuldade = software 3D.
Q4. Maior liberdade no desenho, maior dificuldade na massinha, a massinha é uma técnica muito avançada para adultos.
Q5. A modelagem virtual dá mais liberdade para as ideias. A dificuldade mesmo foi no escaneamento.
Q6. Considerei como de menor dificuldade os desenhos manuais e os modelos em massa de modelar. Já como de maior dificuldade foi a modelagem em <i>software</i> .
Q7. Desenho foi muito tranquilo. A massinha já introduziu limitações. Modelar no Sculptris foi tranquilo, bacaninha.
Q8. Desenhar as primeiras ideias foi mais fácil já que possuo experiência com desenhos há mais tempo. A maior dificuldade foi a modelagem no computador.
Q9. O desenho à mão livre sempre foi mais natural, ao passo que a massinha me pareceu demorado o processo.
Q10. Desenho é mais livre provavelmente pela experiência. Massa de modelar a partir do desenho foi bom, porém do zero foi mais complicado.
Q11. - sem resposta -
Q12. A massa de modelar foi o meu maior calcanhar de aquiles pois não consigo trabalhar bem com modelagem manual. Já a produção de <i>blueprint</i> foi fácil pois já havia feito <i>blueprints</i> antes.
Q13. Não tive grandes dificuldades, utilizei desenho e massa de modelar.
Q14. - sem resposta -

9.) A impressão 3D ajudou de alguma forma na etapa de geração de ideias? Explique.

Q1. Talvez, porque foi possível ter uma noção do que seria possível de fazer, do que seria mais complicado pra executar na impressão.
Q2. A praticidade e a forma de impressão foram levadas em consideração para as ideias.
Q3. Não, a impressão foi só o último passo do processo.
Q4. Sim, porque já é necessário gerar ideia pensando no processo de impressão, para não fazer nada muito absurdo.
Q5. - sem resposta -
Q6. Não muito, os modelos manuais e os desenhos ajudaram mais.
Q7. Ajudou a não viajar na maionese na geração de ideias, conhecendo as limitações da máquina.
Q8. Na verdade acho que ela só limitou um pouco nossas ideias, o processo de criação se deu antes da impressão.
Q9. No caso da disciplina a impressão se tornou o objetivo e não o meio para concretizar um projeto, então por hora, não pude experimentar a inserção da impressão dentro de um contexto de projeto.
Q10. Não utilizamos na geração de ideias. Acredito que pela limitação de tempo e trabalho extra para imprimir "pré-protótipos".

Q11. - sem resposta -
Q12. Sim, me fez perceber que nem sempre modelar coisas por fora sem medir dá certo. É necessário ver o que cabe com o quê, e abusar de <i>booleans</i> para buracos.
Q13. A noção de escala ajuda na percepção da ideia fisicamente.
Q14. - sem resposta -

10.) De que forma a impressão 3D pode auxiliar na etapa de geração de ideias em projetos de design? Explique.

Q1. Proporcionar protótipos o mais próximo possível ao produto final em prazo menor do que uma prototipagem manual, bem como mais fidedigno com relação aos detalhes.
Q2. Ajuda na percepção de espaço e volume dos protótipos e ideias.
Q3. Para criar protótipos/ modelos, tornando mais fácil a visualização de um projeto de produto.
Q4. Prototipagem rápida, é possível prototipar rapidamente projetos antes de fazer a finalização. Isso pode ajudar na correção de erros que teria na etapa final.
Q5. Ajuda na pré-visualização do resultado final.
Q6. Não diria que auxilia na geração de ideias e sim na verificação e prototipação de ideias.
Q7. Prototipagem e fabricação de produtos. Fazer testes para prevenir possíveis falhas.
Q8. A partir de testes com protótipos, onde os produtos podem ser testados antes de serem produzidos.
Q9. Diminuir a fase de prototipação e teu contato real com o projeto de forma mais rápida e eficiente.
Q10. Acredito que para validar funções, encaixe, ergonomia de uma ideia que já esteja mais madura.
Q11. - sem resposta -
Q12. Não só auxilia no refino do design por referência, mas também na representação e desenho em perspectiva, além de permitir uma ponte entre o PC e a vida real.
Q13. Na prototipagem das ideias auxiliando no processo de escolha da ideia, visualização da factibilidade também.
Q14. - sem resposta -

APÊNDICE IV

Questionário e compilação das respostas – Atividade 3 - Disciplina II

A atividade 03 buscou aplicar a impressão 3D em um cenário real através do desenvolvimento de uma órtese ou dispositivo de proteção para qualquer parte do corpo. A partir de técnicas de captura foi possível transformar partes do corpo em modelos digitais e, com isso, realizar estudos manuais e digitais de dispositivos de imobilização ou proteção. O uso de softwares paramétricos também possibilita gerar estudos de formas e diferentes alternativas para, posteriormente, verificar qual deles é o mais adequado para o projeto. Através destes estudos, com o auxílio de protótipos digitais e físicos, é esperado obter a melhor solução possível para o modelo final a ser impresso.

Qual o seu curso? Em que semestre do curso você está?

Q1. Design, 6.º período
Q2. Design, 4.º período
Q3. Design, 7.º período
Q4. Design, 8.º período
Q5. Design, 12.º período
Q6. Design, 7.º período
Q7. Design, 4.º período
Q8. Design, 8.º período
Q9. Design, 4.º período
Q10. Design, 5.º período
Q11. Design, 5.º período
Q12. Design, 12.º período
Q13. Design, 9.º período
Q14. Design, 9.º período

1.) Em relação a atividade 03, o seu maior obstáculo foi referente ao projeto (dificuldade do tema, tempo de execução, etc.) e/ou o uso das técnicas/ ferramentas? Explique.

Q1. O tempo de execução foi a principal dificuldade, porque foi um pouco limitado, não ajudando nessa atividade que pedia um pouco mais de trabalho.
Q2. Principalmente uso das técnicas e ferramentas. A falta de habilidade com os <i>softwares</i> atrapalhou bastante na concepção tanto da ideia quanto do produto final. O tempo de execução foi bastante curto.
Q3. Tive todos os obstáculos possíveis, para uma aluna com nível básico de Rhinoceros, modelar uma prótese/ órtese é uma tarefa extremamente complexa. Visto que é preciso um bom conhecimento anatômico e nós não tivemos qualquer aula de modelagem 3D durante toda a disciplina (apenas uma pequena intro de Grasshopper).
Q4. O maior obstáculo foi realmente o tempo, pois achei a proposta interessante, porém é uma área que não temos nenhuma experiência e precisaríamos de um tempo maior de pesquisa para um trabalho mais elaborado, principalmente no uso do design paramétrico.
Q5. Acredito que tenha sido o <i>software</i> . Por não estar muito familiarizada com o Rhinoceros, algumas impressões se tornaram difíceis de serem executadas. A complexidade do modelo (manual) também se tornou um obstáculo com relação ao tempo de execução do modelo.
Q6. O tema não é amigável, requer pesquisas e estudos aprofundados, foi muito limitador. Acho que a turma não tinha conhecimento técnico das ferramentas para esta atividade.
Q7. A maior dificuldade foi lidar com o <i>software</i> paramétrico e pensar numa solução adequada para adaptar uma órtese a diferentes usuários.

Q8. Em primeiro lugar, tempo. A relação tempo x complexidade era desfavorável. Segundo, técnica. A relação técnica x tempo de aprendizagem era inviável para o desafio proposto (parametrização, ergonomia, etc).
Q9. Tive dificuldade em relação ao tempo de execução (muito curto diante da complexidade do projeto), e com o uso do software para modelagem paramétrica.
Q10. Principalmente o uso das técnicas e ferramentas não conseguimos viabilizar o design paramétrico sozinhos. Tentamos aprender no youtube, mas não conseguimos aplicar na forma capturada com o kinect. Outra dificuldade foi tentar fazer o 3D sem uso do kinect, apenas com foto e fita métrica não conseguimos.
Q11. A maior dificuldade foi em relação ao uso das técnicas/ ferramentas. O projeto bem como a disciplina exigiram conhecimentos acerca do <i>software</i> (Rhinceros) que eu e o grupo ainda não possuímos.
Q12. O tempo de execução e definição de conceito. Para a criação do modelo em CAD bem mais definido e estruturado, precisaria de mais tempo para desenvolver as formas e estruturas.
Q13. O tempo foi escasso pelo menos para mim, quanto às ferramentas, não tive tanta dificuldade.
Q14. Tempo de execução, pois o laboratório estava em reforma e a Universidade estava em greve, o que reduziu e dificultou muito o tempo de entrega e o projeto da órtese.

2.) Você chegou a criar protótipos físicos?

() não () sim. Como foram criados? _____

Q1. Não.
Q2. Não.
Q3. Não.
Q4. Não.
Q5. Sim. Através da massa de modelar durante a segunda atividade.
Q6. Não.
Q7. Não.
Q8. Sim. Através de termo modelagem do EVA. Era o processo mais importante para o projeto em questão.
Q9. Sim. Com EVA mais fita adesiva mais plástico filme. Envolvemos plástico filme no local (mão), passamos fita adesiva, aquecemos o EVA e moldamos na mão depois que o mesmo foi recortado na forma pré-estabelecida.
Q10. Não. Nosso foco era prototipar com impressão 3D, mas não deu tempo.
Q11. Não. Nosso foco era prototipar com impressão 3D, mas não deu tempo.
Q12. Não.
Q13. Não.
Q14. Não.

***** **EM RELAÇÃO À DISCIPLINA** *****

3.) A disciplina conseguiu atender às suas expectativas? O que foi legal e o que ficou faltando?

Q1. Atendeu em certa parte, mas esperava que tivesse um pouco mais de base, antes de executar os exercícios pedidos.
Q2. Não exatamente. O primeiro contato com a disciplina foi bacana, mas a difusão do trabalho, além da greve atrapalhou bastante. Faltou talvez uma metodologia mais linear de abordagem da cadeira. No caso, o excesso de liberdade foi prejudicial à cadeira.
Q3. Não, senti falta do contato com a impressora 3D, aprender a mexer no programa. Também senti falta da ajuda técnica na parte de modelagem. Vocês poderiam promover algumas aulas de Rhinceros. Muitas pessoas desistiram da cadeira por não saber mexer em nenhum <i>software</i> , nem ter a oportunidade de aprender.
Q4. Atendeu em parte. Esperava ter tido mais contato direto com a impressora. Também acho que as aulas podiam ter mais atividades, pois muitas vezes os trabalhos podiam ser feitos em casa e as pessoas iam embora mais cedo por falta do que fazer.
Q5. A disciplina foi bastante útil para se ter a compreensão do que é possível ser feito através da impressora 3D e de como deve ser feito, só acredito que mais tempo poderia ter sido gasto na impressão.

Q6. Sim, poder imprimir os projetos foi bacana e mostrou que esse tipo de trabalho pode ser mais simples do que se imaginava. Seria bom ter mais tempo aprendendo a configurar a impressão e mais atividades que proporcionem liberdade de criação.
Q7. Na verdade, superou as minhas expectativas. Foi legal ter a oportunidade de operar no maquinário e entender as várias alternativas e formas de produzir um objeto complexo. Acredito que expandir as utilidades do projeto para coisas mais pessoais aumentaria a participação da turma nas atividades.
Q8. Em uma escala de 1 a 10, o atendimento das minhas expectativas está no nível 7. Foi muito bom ter liberdade no processo, de poder decidir cada ponto a ser experimentado. Infelizmente, devido o que aconteceu na etapa final (ocupações), somada a dificuldade técnica, alguns pontos acabaram se transformando em frustração. Acho que o ideal seria focar em um ou dois experimentos para poder realizá-los com mais cuidado.
Q9. Em parte foi legal pelo contato com a impressão 3D e as diferentes técnicas de impressão (softwares de modelagem e impressora, bem como materiais). Faltou um pouco mais de estrutura para acompanhamento da disciplina, bem como aulas mais detalhadas no decorrer da mesma.
Q10. Em parte. Foi bom explorar o 3D, porém acredito que o espaço físico não proporcionou um trabalho em sala de aula adequado. A sala 3 é mais espaçosa e tem pranchetas. Outro ponto é que existe uma limitação na configuração da impressão 3D que inibiu um uso livre da impressora.
Q11. Sim. Tive a oportunidade de aprender técnicas e processos que ainda não tinha visto. O contato direto com a impressão 3D expandiu minhas visões de alternativas para prototipação. Quanto aos problemas, acredito que seja mais um problema de como do que da disciplina que é a capacidade de utilização dos softwares.
Q12. A proposta da disciplina é interessante, em partes ela foi como eu esperava. Porém, preferiria que fossem aplicados os exercícios em design de produto.
Q13. Quase totalmente, achei muito interessante só alguns problemas causados por reformas na sala que estávamos.
Q14. Sim, a possibilidade de criação e modelagem dentro do projeto criativo de design sempre foi um sonho, que realizado com a impressão 3D. Ficou faltando prazo, material e a impossibilidade do uso da impressora para testes e impressões pessoais.

***** **EM RELAÇÃO À IMPRESSÃO 3D** *****

4.) Você utilizou a impressão 3D durante as etapas de desenvolvimento ou apenas para criar os modelos finais? Conte a sua experiência de uso da impressão 3D ao longo dos três projetos.
Q1. A impressão foi usada apenas para modelos finais. Em relação à impressão, o contato foi pouco e a explicação sobre os programas de configuração foi bem por cima, não deixando muito a noção de impressão. O foco ficou mais no projeto e não na impressão.
Q2. Nos exercícios 1 e 2 utilizei a impressão 3D apenas para os modelos finais. O processo de impressão foi um tanto terceirizado, basicamente só concebíamos o arquivo e depois era entregue o modelo impresso. Na dinâmica da aula é o único modo, mas com mais tempo seria bacana colocar a mão no PLA.
Q3. Só para os modelos finais. Não tive a experiência, nós apenas enviávamos os arquivos e eles apareciam impressos na outra aula.
Q4. Apenas no segundo exercício usamos durante o desenvolvimento para testar tamanho e estabilidade do personagem.
Q5. A impressão só foi utilizada no final do processo, mas apesar disso, esta auxiliou na compreensão do volume do modelo físico, e da transferência de uma ideia abstrata em concreta. O primeiro exercício ao meu ver foi o mais complexo, por ter que reproduzir algo que já existia, qualquer erro de cálculo poderia levar o objeto a parecer com outra coisa, já nos casos dos outros dois exercícios, por se tratarem de artefatos imaginados, o grau de complexidade pareceu menor.
Q6. Apenas no final, tive dificuldades em trabalhar proporções do objeto, o primeiro e segundo projetos foram tranquilos e agradáveis de fazer. O terceiro me deixou perdido em como começar a produção.
Q7. Houveram muitas equipes, então considerando o tempo de impressão, somente imprimimos os modelos finais das atividades 1 e 3 e não imprimimos a 3.
Q8. As dificuldades com a modelagem acabaram se sobrepondo os esforços de aprender a usar de fato a impressão 3D, de modo que o uso desta restou-se aos passos finais.

Q9. Apenas para os modelos finais. A experiência foi um pouco estranha inicialmente por não compreender bem o processo, porém o segundo projeto permitiu uma melhor aproximação da técnica. Infelizmente não houve tempo hábil para a execução da impressão 3D do terceiro projeto.
Q10. Apenas nos modelos finais para as atividades 1 e 2. Na atividade 3, tivemos a intenção de usar, mas não houve tempo.
Q11. Apenas nos modelos finais. Em razão do curto tempo e do pouco conhecimento nos <i>softwares</i> , não foi possível imprimir muitos modelos de teste.
Q12. Apenas os modelos finais, foi bom ver o avanço no modo de entender a forma e volumetria.
Q13. Utilizei somente em modelos finais, em todos os 3 projetos.
Q14. Não cheguei a usar na etapa de desenvolvimento pela impossibilidade do uso contínuo da impressora. O uso limitado apenas permitiu a impressão de modelos crus finais, por haver poucas impressoras e pouca possibilidade de conseguir uma vaga para o uso da impressora 3D.

5.) Você acha que o uso da impressão 3D deve fazer parte do curso de design? Explique.

Q1. Com certeza, a impressão 3D está cada dia se ampliando e fazendo parte nas atividades do designer.
Q2. Sim, com toda certeza, para sempre. Falta ao curso de design disciplinas mais modernas e inovadoras. Essa disciplina deveria ser continuada sim. Melhorada também. Se eu passar, me disponho até a virar monitor ou pesquisar, etc.
Q3. Sim, é importantíssimo para prototipagem e precisa ser acessível para todos os alunos do departamento.
Q4. Com certeza. Design é uma área que vem se desenvolvendo bastante e caminha junto à tecnologia. Ter contato com esses equipamentos é fundamental.
Q5. Acredito que sim. É uma tecnologia que ajuda na tradução do digital para o físico e assim permite uma compreensão do que é ou não possível a ser realizado.
Q6. Sim, com certeza. Impressão 3D é uma ferramenta que substitui o trabalho de modelagem manual e marcenaria.
Q7. Sim, especialmente na área de produto, simplifica bastante a prototipação e teste de estrutura e forma, além de ser uma tendência de mercado.
Q8. Sim, porque é a tecnologia "estado da arte" de hoje, quando se trata de modelagem e prototipação. Designer precisa estar sempre atualizado com os novos processos produtivos.
Q9. Sim, com certeza. O uso da impressão 3D auxilia bastante na concepção dos projetos, bem como na agilidade de execução.
Q10. É interessante ter disponível para prototipação. Acredito que o desafio não é ter a máquina, mas sim um processo para uso bem estabelecido com regras de uso.
Q11. Certamente como uma ampla e inovadora ferramenta de prototipação, a impressão 3D deveria estar mais presente principalmente nas disciplinas de projeto de produto.
Q12. Sim, principalmente para prototipação em projetos industriais.
Q13. Sim, é um processo que facilita a etapa de experimentação e testes.
Q14. É praticamente uma ferramenta essencial para um futuro muito próximo, auxiliando na criação de produtos e nos estudos de anatomia, modelagem 3D e imagem, necessário notar que a Universidade precisa de cursos de <i>software</i> urgentemente.

6.) Você pretende utilizar a impressão 3D ao longo (ou depois) do curso? De que forma?

Q1. Sim, na execução de projetos futuros, na modelagem de objetos complementares.
Q2. Pretendo entender mais, para poder usar em protótipos e pesquisas.
Q3. Sim, prototipagem dos meus produtos.
Q4. Ainda não tenho planos concretos, mas surgindo oportunidades e necessidades, com certeza. O problema é que ainda são muito caros e encontrados em poucos lugares.
Q5. Por me focar na área de design gráfico, acredito que não terei muitos encontros com esta ferramenta no futuro.
Q6. Sim, difícil vai ser ter acesso às impressoras. Trabalhando com prototipagem e criando meus próprios produtos.
Q7. Sim, penso seriamente em comprar uma impressora 3D e fazer objetos personalizados.
Q8. Se for requisito no projeto a ser feito, sim. Entendo a impressão 3D como mais uma ferramenta.

Q9. Talvez, porque ainda não temos estrutura no departamento que ofereça esse suporte a todos os estudantes, portanto, não sei se poderei desenvolver melhor uma habilidade no uso da impressão 3D.

Q10. Sim, neste momento estou prestes a imprimir um protótipo em escala de uma cadeira para mobiliário infantil.

Q11. Provavelmente. A impressão 3D amplia as alternativas de execução de um produto. Portanto, é provável que eu use para criar peças técnicas de uma maneira mais fácil e acessível.

Q12. Sim, para testar volumetria e prototipação.

Q13. Sim! Na realização de protótipos.

Q14. Sim, para a criação de modelos reais de projetos digitais em escala para uso em trabalhos de design gráfico e de produto.